

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**Электронный курс лекций  
для студентов лесного, технологического, химического,  
механического и полиграфического профилей**

Минск 2021

УДК [355.58+614.8.084](034.2)  
ББК 68.69я34  
3-40

**Авторы:**

*Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин, А. В. Домненкова,  
С. В. Киселев, Н. О. Азовская, М. В. Балакир*

**Рецензенты:**

кафедра безопасности жизнедеятельности  
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»  
(доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
заведующий кафедрой *В. Н. Босак*);  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Управление охраной труда» УО «Белорусский государственный  
аграрный технический университет» *Л. В. Мисун*

**Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций.**

3-40 **Радиационная безопасность** : электронный курс лекций для студентов лесного, технологического, химического, механического и полиграфического профилей / Г. А. Чернушевич [и др.]. – 2-е изд., перераб. – Минск : БГТУ, 2021. – 260 с.  
ISBN 978-985-530-933-9.

В электронном курсе лекций рассмотрены чрезвычайные ситуации, характерные для Республики Беларусь, назначение Государственной системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, ее задачи и способы защиты населения. Приведены основные данные о радиоактивных излучениях, взаимодействии излучений с веществом, основы биологического действия ионизирующей радиации на организм человека, основные характеристики Белорусской АЭС, радиологические и медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС.

УДК [355.58+614.8.084](034.2)  
ББК 68.69я34

**ISBN 978-985-530-933-9**

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2021

# **ВВЕДЕНИЕ**

---

Второе издание электронного курса лекций переработано в соответствии с Типовой программой дисциплины «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность».

Дисциплина относится как к государственному компоненту, так и к компоненту учреждения образования БГТУ и входит в учебных планах в различные модули: «Безопасность жизнедеятельности человека», «Экология и безопасность», «Инженерное обеспечение», «Экология и безопасность жизнедеятельности» и другие для всех специальностей университета.

Она играет важную роль для формирования знаний, которые необходимы специалисту в области защиты населения и территорий Республики Беларусь от чрезвычайных ситуаций (ЧС) мирного и военного времени.

Электронное издание включает 17 лекций. В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- потенциальные опасности окружающего мира, классификацию ЧС природного, техногенного и экологического характера;
- природу радиоактивных превращений и источники радиационной опасности для человека, объектов и окружающей среды, основы дозиметрии ионизирующих излучений, приборы дозиметрического и радиометрического контроля;
- структуру, задачи, функции и возможности Государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (ГСЧС) и других государственных органов по обеспечению защиты населения и объектов в условиях ЧС;
- основные принципы и способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях, защитные сооружения гражданской обороны;
- комплекс мероприятий по обеспечению устойчивости работы объектов экономики в условиях ЧС;
- мероприятия по радиационной защите и радиационной безопасности в условиях радиоактивного загрязнения местности после аварии на радиационно-опасных объектах, в том числе последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС и др.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных студентами при изучении социально-гуманитарных, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин.

# ЛЕКЦИЯ 1

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

- 1.1. Цели и структура дисциплины. Понятие опасности, классификация опасностей.
- 1.2. Источники опасности для человека, объектов и природной среды Республики Беларусь.

### **1.1. Цели и структура дисциплины. Понятие опасности, классификация опасностей**

Целью изучения дисциплины является теоретическое и практическое обучение студентов основам безопасности жизнедеятельности в условиях современной природной, техногенной, экологической, социальной и биологического-социальной обстановки и основам организации защиты людей и объектов при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Дисциплина состоит из двух разделов: «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций» и «Радиационная безопасность». В зависимости от специальностей для дневной формы обучения на дисциплину по плану отводится 34 или 36 аудиторных часов занятий, в том числе 18 ч лекций и 16 ч лабораторных, а по некоторым специальностям по 18 ч лекций и 18 ч лабораторных занятий. Для специальностей факультета ТОВ биотехнология и технология лекарственных препаратов по плану предусмотрены и практические занятия в объеме 16 ч.

Форма контроля знаний – зачет.

Современный человек живет в мире опасностей – природных, техногенных, антропогенных, экологических, социальных и др.

**Опасность** – негативное свойство живой и неживой материи, способное причинять ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям.

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически активные компоненты, а также характеристики, не соответствующие условиям жизнедеятельности человека.

Опасность имеет потенциальный, или скрытый, характер, который проявляется лишь при определенных условиях, причиняя вред здоровью человека. Опасность есть следствие действия некоторых факторов.

Приведем примеры. Опасность ошпариться кипятком всегда связана с какой-то неосторожностью, невнимательностью самого пострадавшего или окружающих.

Опасность падения при езде на велосипеде зависит от опыта, умений велосипедиста или каких-то других причин.

Большинство несчастий связано с незнанием, некомпетентностью.

Понятие «опасность» употребляется по отношению к живым и неодушевленным предметам. Мы будем говорить лишь об опасностях, угрожающих человеку. Человек – часть природы, и в самой природе скрыты опасности, от которых страдает человек.

*Природные опасности*: землетрясения, вулканы, наводнения, грозы и другие – вызывали у древних людей панический ужас, так как они разоряли их жилища, вызывали гибель целых племен. Со временем человек понял сущность этих явлений, но они не перестали представлять опасность. В настоящее время мы постоянно получаем информацию о гибели людей в результате оползней, циклонов, паводков, цунами.

Цивилизация породила новый вид опасностей – *техногенные*. Первые машины, электрический ток, автомобили, самолеты и многие другие технические достижения наряду с благами принесли с собой новые, ранее невиданные опасности. Аварии, пожары, катастрофы стали причиной массовой гибели людей, появления большого числа инвалидов.

Да и сам человек нередко является источником опасности. Допуская ошибки, не справляясь иногда со своими функциями, люди становятся источником *антропогенных опасностей*. Защищаясь от опасностей, человек сам стал опасностью.

В последние годы человечество озабочено нарушениями природных систем, вызванных деятельностью человека. Ученые предрекают экологическую катастрофу, если люди не изменят своего отношения к Природе. Глобальные загрязнения атмосферы, воды, почв, истребление лесов – все это *экологические опасности*, угрожающие не только отдельным людям, но и всему человечеству.

Отношения между людьми в обществе тоже небезопасны. Политические конфликты, война, алкоголизм, наркомания, драки, убийства – это опасные пороки, недостойные звания *Homo Sapiens*. Такие опасности называются *социальными*.

В итоге можно выделить 5 групп опасностей по природе происхождения: *природные, техногенные, антропогенные, экологические и социальные*.

Опасности можно классифицировать по другим признакам:

- 1) по времени проявления отрицательных последствий – импульсивные и кумулятивные;
- 2) локализации – связанные с литосферой, гидросферой, атмосферой, космосом;
- 3) вызываемым последствиям – утомление, заболевания, травмы, аварии, пожары, летальные исходы и т. д.;
- 4) моменту возникновения – прогнозируемые, спонтанные;
- 5) длительности действия – постоянные, переменные, периодические, кратковременные;
- 6) приносимому ущербу – социальные, технические, экологические и экономические;
- 7) объектам негативного воздействия – действующие на человека, действующие на природную среду, действующие на материальные ресурсы, комплексного воздействия;
- 8) численности людей, подверженных опасному воздействию – личные, групповые (коллективные), массовые;
- 9) размерам зоны воздействия – локальные, региональные, межрегиональные, глобальные;
- 10) способности человека идентифицировать опасности органами чувств – ощущимые, неощущимые.

**Потенциальная опасность** представляет угрозу общего характера, не связанную с пространством и временем воздействия.

Наличие потенциальных опасностей находит свое отражение в аксиоме: *любая деятельность потенциально опасна*.

Аксиома определяет тот факт, что действия человека и компоненты среды обитания, прежде всего техника и технологии, кроме позитивных свойств и результатов, обладают способностью генерировать травмирующие и вредные факторы. При этом любое новое позитивное действие человека или его результат неизбежно приводят к возникновению новых негативных факторов.

**Реальная опасность** всегда связана с конкретной угрозой воздействия на человека, она координирована в пространстве и времени. Например, движущаяся по шоссе автоцистерна с надписью «Огнеопасно» представляет собой реальную опасность для человека, идущего вдоль дороги. 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, приведшей к потере здоровья или летальному исходу человека, материальным потерям. Если взрыв

автоцистерны привел к ее разрушению, гибели людей и / или возгоранию строений, то это реализованная опасность.

При идентификации опасностей необходимо исходить из принципа «все воздействует на все», т. е. все живое и неживое может быть источником опасности и подвергаться опасности.

*Признаками*, определяющими опасность, являются: угроза для жизни, возможность нанесения ущерба здоровью, нарушение условий нормального функционирования органов и систем человека.

По *признаку непосредственного воздействия* на организм человека опасности делятся на 4 группы: физические, химические, биологические, психофизиологические.

К *физическому* относятся электрический ток, шум, вибрация, механические воздействия, электромагнитные излучения и другие, оказывающие сложное отрицательное воздействие на человека.

*Химические* опасности, оказывающие токсическое, сенсибилизирующее, канцерогенное и другие воздействия, представлены различными химическими веществами.

*Биологические* опасности, объединяющие микро- и макроорганизмы, могут быть причиной разных заболеваний и травм.

Особую группу образуют *психофизиологические* опасности, вызывающие нервное перенапряжение организма в целом и отдельных анализаторов.

По *характеру воздействия* на человека опасности можно разделить на три группы: 1) активные; 2) пассивно-активные; 3) пассивные.

*Активные* опасности могут оказать непосредственное воздействие на человека за счет заключенных в них энергетических ресурсов.

*Пассивно-активные* – опасности, активизирующиеся за счет энергии, носителем которой является сам человек или оборудование: острые (колющие и режущие) неподвижные элементы; неровности поверхности, по которой перемещаются человек и машины в процессе деятельности, уклоны, подъемы; незначительное трение между соприкасающимися поверхностями (малый коэффициент трения). Проявляются эти опасности в таких явлениях, как ранение и падение людей, опрокидывание машины и т. п.

К *пассивным* относятся опасности, проявляющиеся опосредованно. К ним относятся опасные свойства, связанные с коррозией металлов, накипью, недостаточной прочностью конструкций, повышенными нагрузками на механизмы и машины, использованием давления и т. п.

Формой проявления этих опасностей являются разрушения, взрывы и другие виды аварий.

Условия, при которых реализуются потенциальные опасности, называются *причинами*.

Другими словами, причины характеризуют совокупность обстоятельств, из-за которых опасности проявляются и вызывают те или иные нежелательные последствия, ущерб. Формы ущерба, или нежелательные последствия, разнообразны: травмы различной тяжести, заболевания, определяемые современными методами, урон окружающей среде и др.

Опасность, причины, следствия являются основными характеристиками таких событий, как несчастный случай, ЧС, пожар и т. д.

Триада «*опасность – причины – нежелательные следствия*» – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальный ущерб (следствие).

Приведем несколько примеров.

*Яд (опасность) – ошибка провизора (причина) – отравление (нежелательное последствие).*

Электроток – короткое замыкание – ожог.

Жажда – посадка самолета в пустыне – обезвоживание организма.

Алкоголь – употребление чрезмерного количества – смерть.

Отношение людей к той или иной опасности определяется тем, насколько она им знакома. Например, люди мало знают об облучении, связанном с радоном, или о неоправданно больших дозах облучения при рентгеновских обследованиях и др.

## **1.2. Источники опасности для человека, объектов и природной среды Республики Беларусь**

Республика Беларусь по площади занимает 207,6 тыс. км<sup>2</sup>. Протяженность территории с севера на юг составляет 560 км и с востока на запад 650 км. Рельеф преимущественно равнинный. Самая высокая точка – гора Дзержинская – 346 м над уровнем моря. На юге – заболоченная Полесская низменность.

В республике 99 городов, 25 городских и 118 сельских районов, в которых проживают около 9,5 млн чел. со средней плотностью 49 чел. на километр квадратный. Около 35% населения проживают в сельской местности. Республика расположена в лесной среднеширотной зоне и характеризуется умеренным климатом.

На территории Республики Беларусь проложено около 4500 км магистральных газопроводов, 1460 км нефтепроводов, около 1000 км продуктопроводов, гарантийные сроки эксплуатации которых истекли в большинстве введенных в строй в 1967 г.

В республике нету объектов с атомными энергетическими установками, но в непосредственной близости от ее границ расположены 4 атомные электростанции.

**Радиационная безопасность.** Существует вероятность аварий на ближайших атомных электростанциях (АЭС) и других радиационно опасных объектах Республики Беларусь.

В настоящее время по типу захоронения различают четыре вида хранилищ:

- хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ);
- хранилища ядерных отходов и материалов (ХЯОиМ);
- пункты захоронения радиоактивных отходов (ПЗРАО);
- пункты временной локализации РАО, включая отстойники зараженной техники (ПВЛ РАО).

Рассмотрим состояние и характеристики атомных электростанций, находящихся вблизи границ Республики Беларусь.

**Игналинская АЭС** располагалась на северо-востоке Литвы в 7 км от границы Республики Беларусь. Данная АЭС имела два реактора типа РБМК-1500 и действовала 26 лет (с 31 декабря 1983 г. по 31 декабря 2009 г.). Игналинская АЭС была закрыта в 2009 г. по требованию Евросоюза. Затем начались работы по ее выводу из эксплуатации.

За время эксплуатации оба энергоблока выработали электроэнергии в объеме 307,9 млрд кВт·ч. Игналинская АЭС – некогда самая мощная атомная электростанция в СССР и мире – снабжала дешевой электроэнергией не только Литву, но и Латвию, Эстонию, Беларусь и Калининградскую область.

На закате советской власти один энергоблок Игналинской АЭС обеспечивал 70% потребности в электроэнергии Литвы, а второй блок работал на Латвию.

За 2020 г. на территории АЭС снесено 11 зданий, из которых три классифицируются как специальные, семь – как неспециальные и одно – несложное.

**Ровенская АЭС** находится в 65 км от границы республики. На АЭС имеются два реактора ВВЭР-440 и один – ВВЭР-1000. В случае аварии в зоне радиоактивного загрязнения окажется территория Брестской области с населением около 300 тыс. чел.

**Смоленская АЭС** расположена в 75 км от границы республики. Она имеет три реактора типа РБМК-1000. В случае аварии радиоактивно загрязненной может оказаться территория не менее чем четырех районов Могилевской области.

**Чернобыльская АЭС (ЧАЭС)** находится в 10 км от границы республики. На ней было установлено четыре реактора типа РБМК-1000.

В результате аварии на ЧАЭС в 1986 г. радиоактивному загрязнению подверглось 23% территории республики, площадь которой составляет 46,45 тыс. км<sup>2</sup>, с населением более 1 млн чел. В зоне загрязнения оказалось около 1,73 млн га лесов, или 25% лесных угодий республики.

Осенью 1993 г. после пожара остановлен 2-й энергоблок станции, в декабре 1996 г. был остановлен 1-й, а в декабре 2000 г. – 3-й энергоблок станции, выход из эксплуатации которого завершился только к 2008 г. До тех пор, пока топливо находится даже в заглушенном реакторе, объект остается ядерно- опасным.

В настоящее время принят в эксплуатацию новый саркофаг над аварийным 4-м энергоблоком, получивший название «*Новый безопасный конфайнмент*» (сокр. НБК). НБК был надвинут в проектное положение в ноябре 2016 г.; проект завершен в мае 2018 г. Окончательно НБК был сдан в эксплуатацию 10 июля 2019 г.

Арка стала крупнейшим подвижным наземным сооружением.

- ширина 257 м;
- высота 110 м;
- длина 165 м;
- вес конструкций 36,2 тыс. т;
- количество рабочих около 3000 чел.;
- время эксплуатации 70 – 100 лет;
- стоимость проекта 2,15 млрд евро.

Завершать процесс вывода станции из эксплуатации будут уже следующие поколения специалистов. Согласно графику, это должно произойти в 2064 г. Реакторы будут находиться в законсервированном виде, пока не снизится их радиоактивность. Таким образом, закрытие станции займет втрое больше времени, чем она была в эксплуатации.

**Белорусская АЭС** – первая в Беларуси атомная электростанция типа АЭС-2006. Расположена у северо-западной границы Беларуси в агрогородке Ворняны в 18 км от города Островец Гродненской области и в 50 км от столицы Литвы – Вильнюса.

Строительство АЭС начато в 2011 г. с электрической мощностью 2,4 МВт. Два энергоблока с реакторами типа ВВЭР-1200 (АЭС-2006). Основной партнер в проекте по строительству АЭС – российская компания «Атомстройэкспорт».

Физический запуск 1-го блока АЭС состоялся в августе 2020 г. На первый квартал 2021 г. запланировано полностью запустить в промышленную эксплуатацию 1-й энергоблок.

Общая стоимость строительства оценивается приблизительно в 9 млрд долл.: 6 млрд на строительство энергоблоков и 3 млрд на создание

инфраструктуры: жилого городка для работников АЭС, подъездных железнодорожных путей, линий электропередач и пр.

Предполагаемый срок окупаемости 15–20 лет.

По соглашению о сотрудничестве в строительстве АЭС, заключенному в 2011 г., Россия обязалась предоставить Беларусь кредит на сумму 10 млрд долл.; генеральным проектировщиком и подрядчиком выступит «группа компаний ASE», оборудование предполагается закупать на открытых торгах. Кредит России составил 90% от суммы строительства АЭС, остальные 10% предоставляет Беларусь. Погашение кредита начнется через полгода после ввода АЭС в эксплуатацию (но не позже 1 апреля 2021 г.) и будет осуществляться в долларах до 2035 г. равными долями каждые полгода. На половину использованной части кредита начисляется 5,23% годовых, на вторую – плавающая ставка LIBOR (около 1% или меньше) + 1,83% годовых. Ежегодные платежи по этому кредиту в 2021–2035 г. оцениваются в 1 млрд долларов.

В апреле 2019 г. начаты переговоры об увеличении срока кредита с 25 до 35 лет (с момента сдачи строительства АЭС) и уменьшении процентной ставки.

Кроме того, радиационную опасность для населения представляют радиоактивные вещества, которые используются более чем на 1000 предприятиях и в учреждениях Республики Беларусь.

**Химическая опасность.** Источником данной опасности являются предприятия химической, нефтеперерабатывающей промышленности, промышленности минеральных удобрений, а также химические вещества, перевозимые автомобильным и железнодорожным транспортом, используемые в сельском хозяйстве. В республике имеется 544 химически опасных объекта. 19 городов республики отнесены к химически опасным: Гродно, Новополоцк, Гомель, Светлогорск, Мозырь, Рогачев, Волковыск, Слоним, Новогрудок, Лида, Молодечно, Борисов, Солигорск, Слуцк, Минск, Бобруйск, Орша, Жлобин. К химически опасным районам относятся 10 районов Могилевской, Минской, Витебской и Брестской областей. Химически опасными являются Гомельская и Гродненская области. Только в Минске имеется около 40 химически опасных объектов, в том числе объекты, содержащие хлор, аммиак, кислоты. В случае аварий может быть заражено до 40% территории Минска.

Железнодорожным транспортом через территорию республики ежемесячно перевозится от 400 до 1500 вагонов и цистерн с химически опасными веществами, что создает химическую опасность практически на всей территории республики.

**Пожаровзрывоопасность.** Ее представляют более 90 складов и баз Министерства обороны со взрывчатыми веществами, а также более

120 взрывоопасных объектов других министерств и ведомств. В республике имеется более 150 крупных пожароопасных объектов.

Железнодорожный транспорт ежемесячно перевозит до 1000 вагонов и цистерн с горючей жидкостью. Кроме того, опасность представляют 8 млн га леса и около 2,5 млн га торфяников. Только в Минске находится 17 крупных пожаро- и взрывоопасных объектов, из них на трех ТЭЦ хранится более 150 тыс. т мазута, нефтебаза «Буг» имеет 450 тыс. т керосина и бензина.

**Биологическая опасность.** Сохраняется опасность заболевания людей, животных и растений инфекционными и другими болезнями. На территории республики находится до 500 природных очагов сибирской язвы, имеются природные очаги бешенства, тулеремии, наблюдаются поражения сельскохозяйственных культур бурой ржавчиной, фитофторозом, картофельной совкой, колорадским жуком и т. д.

**Гидродинамическая опасность.** Общая протяженность дамб и плотин в республике составляет более 850 км. Особая опасность прорыва дамб и плотин в Брестской и Гомельской областях. При прорыве плотины Заславского водохранилища в зону подтопления попадает территория Минска, на которой проживает более 25 тыс. чел.

**Опасность природных явлений и процессов.** В республике наиболее вероятны такие стихийные бедствия, как наводнения, ураганы, лесные и торфяные пожары, ливни, засухи, смерчи и др. Они наносят огромный материальный ущерб, иногда с человеческими жертвами. Так, в результате урагана 27.06.1997 г. было разрушено и повреждено более 10 000 домов и производственных зданий, погибло 5 чел., травмировано 52 чел., пострадало 918 населенных пунктов, 123 тыс. га посевов. Общий ущерб в Беларуси составил более 800 млрд руб. (в ценах 1997 г.).

**Экологическая опасность** – это вероятность ухудшения показателей качества природной среды под влиянием природных факторов или хозяйственной деятельности человека. В республике около 2100 только средних и крупных предприятий, которые имеют 63 тыс. источников выбросов. С учетом мелких предприятий общее количество источников выбросов составляет более 120 000. Кроме того, экологическую опасность представляют более 600 тыс. легковых и около 50 тыс. грузовых автомобилей и автобусов, каждый из которых выбрасывает в атмосферу более 40 наименований вредных веществ. Около 80% выбросов в атмосферу приходится на автотранспорт.

Все вышеназванные источники выбрасывают в атмосферу около 2 млн т в год вредных веществ.

Ежегодно в водоемы республики выбрасывается около 1 млрд м<sup>3</sup> сточных вод. Загрязняется почва, падает урожайность сельскохозяйственных

культур, изменяется климат, на грани исчезновения многие виды животных и растений.

При огромном разнообразии и несходности опасности имеют общие признаки. Как уже говорилось, любая опасность может причинить ущерб здоровью человека – это и есть тот главный признак, который относится ко всем опасностям.

Например, длительное воздействие сильного шума приводит к шумовой болезни, нарушающей нервную систему человека.

Воздействие вибрации может спровоцировать вибрационную болезнь, при которой страдает сердечно-сосудистая система.

Вдыхание воздуха, содержащего пыль, – причина болезней дыхательных путей.



1. Дайте определение опасности и назовите группы опасностей по природе происхождения.
2. Назовите группы опасностей по вероятности воздействия на организм человека.
3. Перечислите группы опасностей по признаку и характеру воздействия на человека.
4. Приведите основные опасности для человека, объектов и природной среды Республики Беларусь.

## ЛЕКЦИЯ 2

# ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИРОДНОГО, ТЕХНОГЕННОГО, ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И БИОЛОГО-СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

- 2.1. Основные термины и определения. Классификация чрезвычайных ситуаций по масштабу распространения.
- 2.2. Характеристика чрезвычайных ситуаций природного характера.
- 2.3. Характеристика чрезвычайных ситуаций техногенного характера.
- 2.4. Характеристика чрезвычайных ситуаций экологического характера.
- 2.5. Характеристика биологического-социальных чрезвычайных ситуаций.
- 2.6. Биологическое оружие.

### **2.1. Основные термины и определения. Классификация чрезвычайных ситуаций по масштабу распространения**

*Чрезвычайное событие* – это событие природного или антропогенного происхождения, заключающееся в отклонении от нормы протекающих процессов или явлений и оказывающее (могущее оказывать) отрицательное воздействие на жизнедеятельность людей, функционирование экономики, социальную сферу и природную среду.

*Экстремальное событие* – это событие в системе (социальной, техногенной и т. д.), связанное с отклонением параметров от принятых норм на опасную величину. Экстремальное событие может перейти в чрезвычайное и наоборот.

*Источник чрезвычайной ситуации* – опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, широко распространенная инфекционная болезнь людей, животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация.

*Чрезвычайная ситуация* – обстановка, сложившаяся в результате аварии, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые повлекли или могут повлечь за собой человеческие жертвы, вред здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

ЧС можно классифицировать по разным признакам. В мировой практике их делят на ЧС природного, природно-антропогенного и антропогенного происхождения.

По масштабу распространения ЧС подразделяются на *локальные, местные, региональные, республиканские (государственные) и трансграничные*.

К *локальной* относится ЧС, в результате которой пострадало не более 10 чел., либо нарушены условия жизнедеятельности не более 100 чел., либо материальный ущерб составляет не более одной тысячи минимальных заработных плат (МЗП) на день возникновения ЧС и зона которой не выходит за пределы территории объекта производственного или социального назначения.

Ликвидация локальных ЧС осуществляется силами и средствами организаций.

К *местной* относится ЧС, в результате которой пострадало свыше 10, но не более 50 чел., либо нарушены условия жизнедеятельности свыше 100, но не более 300 чел., либо материальный ущерб составляет свыше 1000, но не более 5000 МЗП на день возникновения ЧС. Зона этой ЧС не выходит за пределы населенного пункта, города, района.

К *региональной* относится ЧС, в результате которой пострадало свыше 50, но не более 500 чел., либо нарушены условия жизнедеятельности свыше 300, но не более 500 чел., либо материальный ущерб составляет свыше 5000, но не более 0,5 млн МЗП на день возникновения ЧС и зона которой не выходит за пределы области.

Ликвидация местных и региональных ЧС осуществляется силами и средствами местных исполнительных и распорядительных органов.

К *республиканской* (государственной) относится ЧС, в результате которой пострадало свыше 500 чел., либо нарушены условия жизнедеятельности свыше 500 чел., либо материальный ущерб составляет свыше 0,5 млн МЗП на день возникновения ЧС. Зона этой ЧС выходит за пределы более чем двух областей.

Ликвидация республиканских ЧС осуществляется силами и средствами республиканских органов государственного управления.

К *трансграничной* относится ЧС, поражающие факторы которой выходят за пределы республики, либо ЧС, которая произошла за рубежом и затрагивает территорию Беларуси.

По сфере возникновения ЧС делят на *природные, техногенные, биологово-социальные, экологические, социальные*.

## **2.2. Характеристика чрезвычайных ситуаций природного характера**

**Источником природной ЧС** является опасное природное явление или процесс, в результате которого на определенной территории или акватории произошла или может возникнуть ЧС.

**Природная ЧС** – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате возникновения источника природной ЧС, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

**Стихийное бедствие** – разрушительное природное и (или) природно-антропогенное явление или процесс значительного масштаба, в результате которого может возникнуть или возникла угроза жизни и здоровью людей, произойти разрушение или уничтожение материальных ценностей и компонентов окружающей природной среды.

Рассмотрим основные природные ЧС согласно ГОСТ 22.0.06-97 (введен в Республике Беларусь с 01.01.2003 г.).

**2.2.1. Опасные геологические процессы.** К таким процессам относятся: *землетрясение, вулканическое извержение, оползень, обвал (осыпь, камнепад), карст, просадка в лессовых грунтах, переработка берегов*.

**Землетрясение** – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний.

**Очаг, или гипоцентр, землетрясения** – область возникновения подземного удара в толще земной коры или верхней мантии, являющегося причиной землетрясения.

**Эпицентр землетрясения** – проекция центра очага землетрясения на земную поверхность.

Известны два главных сейсмических пояса:

1) *Средиземноморско-Азиатский*, включающий Португалию, Италию, Грецию, Турцию, Иран, Сев. Индию и далее до Малайского архипелага;

2) *Тихоокеанский*, охватывающий Японию, Китай, Дальний Восток, Камчатку, Сахалин, Курильскую гряду.

Основные критерии (параметры) землетрясения:

1) глубина очага (гипоцентра) – до 30 км, а в отдельных случаях – до 750 км;

2) продолжительность колебаний грунта – 20–25 с (до 90 с);

- 3) сейсмическая энергия;
- 4) интенсивность землетрясения.

*Сейсмическая энергия* – это энергия, излучаемая из гипоцентра землетрясения в форме сейсмических волн. Она измеряется с помощью *шкалы Рихтера* от 1 до 8,9 магнитуд (М). *Магнитуда* – величина, соответствующая десятичному логарифму максимальной амплитуды колебаний маятника сейсмографа в микронах в 100 км от эпицентра землетрясения.

Сила колебаний земной поверхности на удалении от эпицентра определяется «интенсивностью землетрясения»  $I_0$  – это степень ущерба, нанесенного подземной стихией в данном конкретном месте. Она зависит не только от сейсмической энергии, но и от расстояния до эпицентра, свойств грунта, качества строительства и других и определяется с помощью 12-балльной шкалы Меркалли (табл. 2.1).

В России и странах СНГ используется ее модификация – *шкала MSK-64*.

Таблица 2.1

**Краткая характеристика возможной интенсивности землетрясений по 12-балльной шкале Меркалли (MSK-64)**

Балл	Наименование землетрясения	Краткая характеристика землетрясений
I	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами
II	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми, находящимися в полном покое
III	Слабое	Ощущается лишь частью населения
IV	Умеренное	Легкое дребезжание и колебание предметов, посуды и оконных стекол
V	Довольно сильное	Сотрясение зданий, колебание мебели, трещины в стеклах и штукатурке
VI	Сильное	Ощущается всеми. Падают со стен картины, откалываются куски штукатурки, трескаются стены, легко повреждаются здания
VII	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов, антисейсмические и деревянные постройки остаются невредимыми
VIII	Разрушительное	Трещины на почве, сдвиг или опрокидывание памятников, сильное повреждение домов
IX	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных построек, перекосы деревянных домов
X	Уничтожающее	Разрушение каменных построек, трещины в почве до 1 м шириной, оползни, обвалы со склонов, искривание железнодорожных рельсов

Окончание табл. 2.1

Балл	Наименование землетрясения	Краткая характеристика землетрясений
XI	Катастрофическое	Оползни, обвалы, широкие трещины в земле. Каменные дома совершенно разрушаются
XII	Абсолютно или сильно катастрофическое	Все сооружения разрушены. Обширные изменения ландшафта, огромные трещины в земле, оползни и обвалы. Возникновение водопадов, подпруд на озерах, изменение течения рек

Соотношение между сейсмической энергией и интенсивностью землетрясения приведено в табл. 2.2.

Таблица 2.2

#### Соотношение между шкалой Рихтера и MSK-64

Магнитуда по Рихтеру	4,0–4,9	5,0–5,9	6,0–6,9	7,0–7,9	8,0–8,9
Интенсивность по шкале MSK-64	IV–V	VI–VII	VIII–IX	IX–X	XI–XII

#### Примеры некоторых разрушительных землетрясений:

1920 г.: Китай;  $M = 8,5$ ,  $l_0 = \text{XII}$  баллов; погибли 200 тыс. чел.;  
 1923 г.: Япония;  $M = 8,5$ ,  $l_0 = \text{X}–\text{XII}$  баллов; погибли 143 тыс. чел.;  
 1939 г.: Чили;  $M = 8,3$ ,  $l_0 = \text{X}–\text{XI}$  баллов; погибли 140 тыс. чел.;  
 1948 г.: Туркмения;  $M = 9,0$ ,  $l_0 = \text{XI}$  баллов; погибли 110 тыс. чел.;  
 1988 г.: Армения;  $M = 7,0$ ,  $l_0 = \text{IX}$  баллов; погибли 25 тыс. чел.;  
 1990 г.: Иран;  $M = 7,7$ ,  $l_0 = \text{X}$  баллов; погибли 50 тыс. чел.;  
 1995 г.: Япония;  $M = 7,2$ ,  $l_0 = \text{IX}$  баллов; погибли 6 тыс. чел.;  
 1999 г.: Турция;  $M = 7,7$ ,  $l_0 = \text{X}$  баллов; погибли 17 тыс. чел.;  
 2003 г.: Иран;  $M = 6,3$ ,  $l_0 = \text{VIII}–\text{IX}$  баллов; погибли 41 тыс. чел.;  
 2004 г.: Юго-Восточная Азия;  $M = 8,9$ ,  $l_0 = \text{XII}$  баллов; погибли около 300 тыс. чел.;

2010 г.: на острове Гаити, в Карибском бассейне Атлантического океана;  $M = 7,0$ ,  $l_0 = \text{IX}$  баллов; погибли более 230 тыс. чел.

**Вулканическое извержение** – это постоянные активные процессы, происходящие в Земле в разогретом состоянии на глубине от 10 до 30 км, где накапливаются расплавленные горные породы или магма. Вулканические шлаки, пемза, пепел, горные породы образуют конусообразную форму, которая и называется *вулканом*.

**Оползень** – смещение масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и нагрузки вследствие подмытия склона, сейсмических толчков и других процессов.

**Карст** – явления, возникающие в растворимых водой осадочных горных породах (известняки, гипс), в результате которых образуются углубления в виде воронок, котлованов, пещер и т. п.

**Просадка в лессовых грунтах** – уплотнение и деформирование при увлажнении (замачивании) лессов с образованием просадочных деформаций (провалов, трещин проседания, воронок).

**2.2.2. Опасные гидрологические явления и процессы.** К данным процессам относятся: *подтопление, русловая эрозия, цунами, штормовой нагон воды, сель, наводнение, половодье, паводок, катастрофический паводок, затор, зажор, лавина снежная*.

**Подтопление** – повышение уровня грунтовых вод, нарушающее нормальное использование территории, строительство и эксплуатацию расположенных на ней объектов.

**Цунами** – морские волны, возникающие при подводных и прибрежных землетрясениях.

Цунами происходит от японского слова, означающего «большая волна, заливающая бухту». Волны цунами имеют длину 150–300 км и более, а высота – несколько десятков сантиметров. На мелководном шельфе волна становится выше, вздымается и превращается в движущуюся стену. Скорость цунами тем выше, чем больше глубина океана. Максимальная скорость цунами может достигать до 1000 км/ч.

26 декабря 2004 г. в Индийском океане (Юго-Восточная Азия) в 150 км от северной оконечности острова Суматра произошло сокрушительное подводное землетрясение силой 8,9 балла (магнитуд) по шкале Рихтера (XII баллов по шкале MSK-64). Оно породило волны цунами, от которых погибло около 300 тыс. человек в Индонезии, Таиланде, Индии, Бангладеш, Малайзии, Мьянме, Шри-Ланке, на Мальдивских островах. Около 5 млн чел. лишились кровя и каких бы то ни было средств к существованию.

**Наводнение** – затопление территории водой, являющееся стихийным бедствием. Наводнение может происходить в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки, а также при прорыве гидротехнических сооружений.

**Половодье** – фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников.

**Паводок** – фаза водного режима реки, которая может многократно повторяться в различные сезоны года, характеризующаяся интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызываемая дождями или снеготаянием во время оттепелей.

**Затор** – весенне (осенне) скопление льда шуги в заторообразующих узкостях русел рек при низких температурах воздуха, образующих частичное перекрытие стока рек.

**Зажор** – скопление льдин в русле реки во время ледохода, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды.

**Паводки и наводнения на реках.** В Республике Беларусь наиболее сильные паводки наблюдаются в пойме реки Припять и ее притоков: Горынь, Пина, Ясельфа, Убороть. При их разливе возможно частичное затопление Пинска, Давид-Городка, в зону паводка попадают 50 населенных пунктов Столинского, Лунинецкого, Ивановского, Пинского районов Брестской области, 80 населенных пунктов Житковичского, Петриковского, Мозырского, Лельчицкого районов и прибрежных районов городов Речицы, Турова, Петрикова, Мозыря.

Возможно затопление некоторых городов, населенных пунктов при разливе Немана, Березины и Западной Двины.

### 2.2.3. Опасные метеорологические явления и процессы.

К таким явлениям и процессам можно отнести: *сильный ветер, штурм, шквал, ураган, смерч, вихрь, пыльную бурю, продолжительный дождь (ливень), сильный снегопад, сильную метель, гололед, град, туман, заморозок, засуху, суховей, грозу.*

**Ветры** – причина многих стихийных бедствий, а причина ветров – неравномерный нагрев различных областей вращающейся Земли. Экватор нагревается больше, полюса меньше. Нагретый воздух поднимается вверх, образуя область пониженного давления.

Для классификации ветра по силе используется международная шкала Бофорта в баллах (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Классификация ветров по шкале Бофорта

Балл	Скорость ветра		Наименование ветрового режима	Признаки
	м/с	км/ч		
0	0	0	Затишье	Дым идет прямо
1	0,9	3,24	Легкий ветерок	Дым изгибается
2	2,4	8,64	Легкий бриз	Листья шевелятся
3	4,4	15,84	Слабый бриз	Листья двигаются
4	6,7	24,12	Умеренный бриз	Листья и пыль летят

Окончание табл. 2.3

Балл	Скорость ветра		Наименование ветрового режима	Признаки
	м/с	м/с		
5	9,3	28,48	Свежий бриз	Тонкие деревья качаются
6	12,3	43,30	Сильный бриз	Качаются толстые ветви
7	15,5	55,80	Сильный ветер	Стволы деревьев изгибаются
8	18,9	68,40	Буря	Ветви ломаются
9	22,60	79,41	Сильная буря	Крыши разрушаются
10	26,4	95,0	Полная буря	Везде повреждения
11	34,8	109,8	Шторм	То же
12	39,2	122,28	Ураган	Опустошительные разрушения
13	39,5	144,6	Сильный ураган	То же
14	43,8 и более	157,68	То же	—<—

**Сильный ветер** – это движение воздуха относительно земной поверхности со скоростью выше 14 м/с. При дальнейшем усилении ветра возникают бури, ураганы, шквалы, смерчи.

**Шторм** – длительный, очень сильный ветер со скоростью выше 20 м/с, вызывающий сильные волнения на море и разрушения на суше.

**Шквал** – резкое кратковременное усиление ветра до 20–30 м/с и выше, сопровождающееся изменением его направления, связанное с конвективными процессами.

**Ураган** – ветер разрушительной силы и значительной продолжительности, скорость которого превышает 32 м/с (12 баллов по шкале Бофорта). По своему пагубному воздействию ураганы не уступают землетрясениям.

**Смерч** – сильный атмосферный вихрь, в котором воздух вращается со скоростью до 100 м/с, обладающий большой разрушительной силой. Высота смерча достигает 800–1500 м, диаметр у поверхности земли 30–2000 м. Окружная скорость ветра в вихре достигает 200 м/с (720 км/ч), скорость перемещения 30–80 км/ч, среднее время «жизни» смерча 20–30 мин.

Один из мощных ураганов XX в. в Республике Беларусь произошел 23 июня 1997 г. с 18.15 до 20.00, охватив территорию 16 районов Минской области, 7 районов Брестской области и Кореличский район Гродненской области. Скорость ветра местами достигала 32 м/с.

**Вихрь** – атмосферное образование с вращательным движением воздуха вокруг вертикальной или наклонной оси.

**Пыльная буря** – атмосферное явление в виде переноса больших количеств пыли (частиц почвы, песчинок) ветром с земной поверхности в слое высотой несколько метров со значительным ухудшением горизонтальной

видимости. Возникает обычно при сухой поверхности почвы и скорости ветра 10 м/с и более.

**Продолжительный дождь (ливень)** – атмосферные осадки, выпадающие непрерывно или почти непрерывно в течение нескольких суток, могущие вызвать паводки, затопление и подтопление.

**Сильный снегопад** – продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков, приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта.

**Сильная метель** – перенос снега над поверхностью земли сильным ветром, приводящий к ухудшению видимости и заносу транспортных магистралей.

**Гололед** (устаревший – **ожеледь**) – нарастающие атмосферные осадки в виде слоя плотного стекловидного льда (гладкого или слегка бугристого), образующегося на растениях, проводах, предметах, поверхности земли в результате десублимации (переход из газообразного состояния в твердое, минуя жидкое) водяного пара на охлажденных до 0°C и ниже поверхностях.

**Град** – атмосферные осадки, выпадающие в теплое время года, в виде частичек плотного льда от 5 мм до 15 см, обычно вместе с ливневым дождем при грозе.

**Туман** – атмосферное явление, скопление воды в воздухе, образованное мельчайшими частицами воды (при температуре воздуха выше  $-10^{\circ}\text{C}$  – капельки воды, от  $-10$  до  $-15^{\circ}\text{C}$  – сверкающие в солнечных лучах или в свете луны и фонарей). Согласно Рекомендациям по метеорологии «туман есть взвесь очень мелких капель жидкой воды в газе, уменьшающая его прозрачность, а изморозь – взвесь очень мелких кристаллов льда (снега) в газе, уменьшающая его прозрачность».

**Заморозок** – понижение температуры воздуха и (или) поверхности почвы до нуля и ниже при положительной средней суточной температуре воздуха.

**Засуха** – комплекс метеорологических факторов в виде продолжительного отсутствия осадков в сочетании с высокой температурой и понижением влажности воздуха, приводящей к угнетению или гибели растений.

**Суховей** – это тип погоды, характеризуемый высокой температурой воздуха и низкой относительной влажностью воздуха, часто в сочетании с умеренным (6 – 9 м/с) или сильным (10 м/с и более) ветром.

**Гроза** – атмосферное явление, связанное с развитием мощных кучево-дождевых облаков, сопровождающееся многократными электрическими разрядами между облаками и земной поверхностью, звуковыми явлениями, сильными осадками, в том числе градом.

**2.2.4. Природные пожары.** К природным относятся *ландшафтный пожар, торфяной, лесной*.

**Ландшафтный пожар** – пожар, охватывающий различные компоненты географического ландшафта.

**Торфяной пожар** – возгорание торфяного болота, осушенного или естественного, при перегреве его поверхности лучами солнца или в результате небрежного обращения людей с огнем.

**Лесной пожар** – пожар, распространяющийся по лесной площади.

В Республике Беларусь чаще бывают лесные, торфяные и реже полевые (горят хлеба) пожары, которые возникают как по вине человека (по статистике 80%), так и в результате самовозгорания от солнца или от удара молний (20%).

В зависимости от характера возгорания и состава леса лесные пожары подразделяются на *низовые, верховые и почвенные*.

По скорости распространения пожары бывают *слабые, средние и сильные*. Скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 м/мин, среднего – от 1 до 3 м/мин, сильного – свыше 3 м/мин.

Лесные и торфяные пожары наносят огромный материальный и экологический ущерб. В результате таких пожаров разрушаются целые экологические системы.

## **2.3. Характеристика чрезвычайных ситуаций техногенного характера**

Источником техногенной ЧС является опасное техногенное происшествие, в результате которого на объекте, определенной территории или акватории произошла техногенная ЧС. Рассмотрим основные понятия и определения в соответствии с ГОСТ 22.0.05-97 «Техногенные чрезвычайные ситуации» (введен в действие в качестве государственного стандарта Республики Беларусь с 01.07.1999 г.).

**Техногенная ЧС** – состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизнедеятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, объектам и окружающей природной среде.

**Авария** – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного и транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

**Катастрофа** – крупная авария, чаще всего с человеческими жертвами.

**Техногенная опасность** – состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника техногенной ЧС на человека и окружающую среду при его возникновении либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов.

**Промышленная авария** – авария на промышленном объекте, в технической системе или в промышленной установке.

**Промышленная катастрофа** – крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей либо разрушения и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей природной среды.

В порядке убывания в Республике Беларусь техногенные ЧС распределяются следующим образом: аварии на промышленных объектах, дорожно-транспортные происшествия, аварии в зданиях жилого и социально-бытового назначения, химические аварии и т. д.

Рассмотрим основные ЧС техногенного характера.

**2.3.1. Транспортные аварии (катастрофы).** К таким авариям относятся аварии (катастрофы) пассажирских и товарных поездов, электропоездов, поездов метрополитена; пассажирских и грузовых судов, в том числе нефтеналивных; аварии на автомобильном и других видах общественного транспорта, на мостах, в туннелях на железнодорожных переездах; аварии на магистральных, газо-, нефте-, продуктопроводах; авиационные катастрофы.

**Транспортная авария** – это авария на транспорте, повлекшая за собой гибель людей, причинение пострадавшим тяжелых телесных повреждений, уничтожение и повреждение транспортных сооружений и средств или ущерб окружающей природной среде.

**Опасный груз** – опасное вещество, материал, изделие и отходы производства, которые вследствие их специфических свойств при транспортировании или перегрузке могут создать угрозу жизни и здоровью людей, вызвать загрязнение окружающей природной среды, повреждение и уничтожение транспортных сооружений, средств и иного имущества.

**Дорожно-транспортное происшествие (ДТП)** – это транспортная авария, возникшая с участием транспортного средства и повлекшая за собой гибель людей и (или) причинение им тяжелых телесных повреждений, повреждения транспортных средств, дорог, сооружений, грузов или иной материальный ущерб. В Республике Беларусь ежегодно происходит

7000–8000 ДТП, в которых погибает 1,5–2 тыс. чел., травмы и ранения получают несколько тысяч человек, многие становятся инвалидами.

**Железнодорожная авария** – авария на железной дороге, повлекшая за собой повреждение одной или нескольких единиц подвижного состава железных дорог до степени капитального ремонта и (или) гибель одного или нескольких человек, причинение пострадавшим телесных повреждений различной тяжести либо полный перерыв движения на аварийном участке, превышающий нормативное время.

Общая протяженность железных дорог в Республике Беларусь составляет более 5,6 тыс. км. Их средняя грузонагруженность в нашей стране самая высокая в СНГ. Она в 5 раз выше, чем в США, и в 8–15 раз выше по сравнению с другими развитыми странами. В республике в месяц по железной дороге перевозится примерно 400–1500 вагонов с ядовитыми и взрывопожароопасными веществами, их годовой грузооборот составляет 80 млн. т км.

**Авиационная катастрофа** – опасное происшествие на воздушном судне, в полете или в процессе эвакуации, приведшее к гибели или прощаже без вести людей, причинению пострадавшим повреждений, разрушению или повреждению судна и материальных ценностей.

В Республике Беларусь имеется 7 аэропортов со статусом международных. Случай полного или частичного разрушения воздушного судна, имеющего на борту пассажиров, принято называть *авиационными происшествиями*. Они могут произойти как в воздухе, так и на земле. Авиапроисшествия делят на катастрофы, аварии и поломки.

**Авария на трубопроводе** – это авария на трассе трубопровода, связанная с выбросом или выливом под давлением опасных химических или пожаровзрывоопасных веществ, приводящая к возникновению техногенной ЧС.

Общая протяженность магистральных нефтепроводов и продуктопроводов на территории республики составляет почти 6000 км, газопроводов – 5000 км.

**2.3.2. Пожары и взрывы.** Пожары и взрывы происходят на пожаровзрывоопасных объектах и в жилых массивах: в зданиях, на коммуникациях и технологическом оборудовании промышленных объектов, на транспорте, в шахтах и подземных выработках, в зданиях и сооружениях общественного назначения.

К пожароопасным объектам на территории республики относятся 24 предприятия по добыче и переработке торфа; 24 предприятия деревообрабатывающей промышленности; 46 льнозаводов и 23 других объектов. Возможная площадь зоны поражения в среднем может доходить до 10 км<sup>2</sup>.

На территории республики расположено 50 взрывоопасных объектов Министерства обороны. Зона разлета осколков может составлять до 1,5 км, полет реактивных снарядов – от 3 до 20 км.

Кроме того, к взрывопожароопасным объектам относятся 18 газобаллонных заправочных станций, 5 предприятий тепловой энергетики, 47 зернохранилищ.

К объектам, содержащим взрывопожароопасные вещества, относятся ПО «Лакокраска», г. Лида; завод порошковой металлургии, г. Молодечно; центральная база Госснаба, г. Витебск; 53 нефтебазы. При ЧС площади опасных зон могут составить до 2,5 км<sup>2</sup>.

**2.3.3. Аварии с выбросом (угрозой выброса) сильнодействующих ядовитых веществ.** Данные аварии происходят при образовании и распространении сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) во время производства, при их переработке или хранении (захоронении).

Крупными потребителями СДЯВ являются промышленные холодильники, водоочистные сооружения, которые, как правило, находятся в крупных городах. Всего на территории республики имеется 544 химически опасных объекта с общим запасом СДЯВ около 40 тыс. т, в т. ч. аммиака – 26 тыс. т, акрилонитрила – 5 тыс. т, ацетонциангирина – 1,5 тыс. т, хлора – 300 т и др.

Степень химической опасности хозяйственных объектов определяется количеством населения, которое при авариях попадает в зону воздействия СДЯВ:

*I степень* – в зону попадает 75 тыс. чел. – на территории республики 3 объекта: ПО «Минскводоканал», Новополоцкое ПО «Полимир», ПО «Азот», г. Гродно;

*II степень* – в зону попадает от 40 до 75 тыс. чел. – таких объектов в Республике Беларусь 11, в т. ч. области: Витебская – 2, Гомельская – 1, Гродненская – 2, Минск – 6;

*III степень* – в зону попадает до 40 тыс. чел. – 228 объектов, в т. ч. области: Брестская – 22, Витебская – 30, Гомельская – 43, Гродненская – 37, Минская – 47, Могилевская – 26, Минск – 23;

*IV степень* – зона не выходит за пределы объекта – всего 103 объекта, в т. ч. по областям: Брестская – 1, Витебская – 5, Гомельская – 10, Гродненская – 34, Минская – 4, Могилевская – 38, Минск – 11.

Наиболее опасные в химическом отношении города республики – это Гродно, Новополоцк, Волковыск.

При ЧС на химически опасных объектах в зонах заражения может оказаться до 5 млн чел., из них 4,5 млн чел. – городское население.

Наиболее сложная химическая обстановка может сложиться:

- в Гродно и Гродненском районе при аварии на ПО «Азот», на котором содержится около 20 тыс. т аммиака, что составит по глубине заражения до 24 км, площадь зоны заражения до 900 км<sup>2</sup>, стойкость СДЯВ до 80 ч;
- в Новополоцке, в котором сосредоточено 11 000 т различных СДЯВ, глубина зоны заражения до 20 км, площадь зоны заражения до 1000 км<sup>2</sup>, стойкость 40–50 ч.

**2.3.4. Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ.** К таким авариям можно отнести аварии с источниками ионизирующего облучения, радиоактивными отходами, на транспорте с выбросом радиоактивных веществ, ядерные или радиологические аварии за пределами государства, угрожающие загрязнением территории государства.

**2.3.5. Внезапное разрушение зданий и сооружений.** Могут быть разрушены здания и сооружения производственного и общественного назначения, разрушены элементы транспортных коммуникаций.

**2.3.6. Аварии на системах жизнеобеспечения.** К данным авариям причисляют аварии на канализационных системах с массовым выбросом загрязняющих веществ, на тепловых сетях (системах), системах централизованного водоснабжения, на коммунальных газопроводах.

**2.3.7. Аварии на очистных сооружениях.** Происходят аварии на очистных сооружениях сточных вод, промышленных газов с массовым выбросом загрязняющих веществ.

**2.3.8. Гидродинамические аварии.** К данным авариям относят прорывы плотин, дамб, шлюзов, перемычек с образованием волн прорыва и катастрофических затоплений или прорывного паводка, аварийный сброс воды из водохранилищ ГЭС в связи с угрозой прорыва гидроплотин.

В республике имеется 18 водохранилищ емкостью от 2 до 260 млн м<sup>3</sup> воды. Наиболее крупные – Вилейское и Заславское.

Емкость Вилейского водохранилища составляет 260 млн м<sup>3</sup>, площадь возможного подтопления – 188 км<sup>2</sup>. На этой территории расположено 28 населенных пунктов с населением примерно 6,5 тыс. чел.

Заславское водохранилище имеет объем 108 млн м<sup>3</sup>, площадь затопления – 39 км<sup>2</sup>, возможно подтопление 5 населенных пунктов и частично Минска.

## **2.4. Характеристика чрезвычайных ситуаций экологического характера**

Источниками экологических ЧС могут быть как природные, так и антропогенные процессы, явления и события.

*Экологическое бедствие* – чрезвычайное событие, вызванное изменением под действием антропогенных факторов состояния суши, атмосферы и биосфера и заключающееся в проявлении резкого отрицательного влияния этих изменений на здоровье людей, их духовную сферу, среду обитания, экономику или генофонд.

По происхождению экологические ЧС делятся:

- на ЧС, вызванные естественными изменениями в природной среде;
- ЧС, вызванные антропогенными экологическими загрязнениями природной среды и потреблением ресурсов, и др.

*Естественные* процессы и аномалии в природной среде воздействуют на весь биологический мир. Это воздействие Космоса (солнечная радиация, гравитационные поля, галактическое излучение, полеты комет, астероидов и т. д.), Луны (гравитационное поле, отраженный свет), геофизической среды (магнитное поле Земли, электрические поля, радиация и т. д.) на человека и биологический мир. Кроме того, на человека и биологический мир воздействуют геологическая среда: химические соединения неживого происхождения (вода, камни, металлы и другие химические соединения) и химические соединения продуктов жизнедеятельности живого вещества (глина, торф, нефть, уголь, сланцы, гумус, мрамор).

ЧС, вызванные *антропогенными* экологическими загрязнениями природной среды, в основном связаны с хозяйственной и социальной деятельностью человека, т. е. с результатом воздействия техногенной и социальной среды на окружающую природную среду.

*Экологические* ЧС, вызванные некоторыми авариями и катастрофами на хозяйственных объектах, опасными явлениями и процессами в неживой природе, болезнями животных и растений, представляют особую опасность для биологического мира.

### **2.4.1. Чрезвычайные ситуации, связанные с изменением состояния литосферы (почвы, недр, ландшафта).** К ним относят:

- катастрофические просадки, оползни, обвалы земной поверхности из-за выработки недр при добыче полезных ископаемых и другой деятельности человека;
- наличие тяжелых металлов (в т. ч. радиоактивных) и других вредных веществ в почве сверх предельно допустимых норм.

В результате хозяйственной деятельности человека почва загрязнена пестицидами, тяжелыми металлами (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть и др.), канцерогенными веществами (оксиды азота, алюминий, асбест и другие минеральные волокна), нитратами, диоксинами и их соединениями;

– интенсивная деградация почв, опустынивание на обширных территориях из-за эрозии, заболачивания и т. д;

– кризисные ситуации, связанные с истощением невозобновляемых природных ископаемых;

– критические ситуации, связанные с переполнением хранилищ (свалок) промышленных и бытовых отходов (мусора) и загрязнением ими среды.

В Республике Беларусь ежегодно выбрасывается на свалки более 40 млн т отходов, в том числе 30 млн отходов от производства минеральных удобрений, 2 млн т древесных отходов, 48 тыс. т стеклобоя, более 2 млн т бытовых отходов. Экологические последствия загрязнений отходами проявляются не только в создании дискомфорта для населения, но и ЧС, опасных для всего живого.

Литосфера загрязняется человеком как непосредственно, так и в результате выпадения атмосферных осадков.

#### **2.4.2. Чрезвычайные ситуации, связанные с изменением состояния и свойств атмосферы (воздушной среды).** К данным ЧС причисляют:

– резкие изменения погоды или климата в результате антропогенной деятельности человека;

– превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных примесей в атмосфере;

– температурные инверсии над городами;

– острый «кислородный голод» в городах;

– значительное превышение предельно допустимого уровня производственного и городского шума;

– образование обширной зоны кислотных осадков;

– разрушение озонного слоя атмосферы;

– значительное изменение прозрачности атмосферы.

Загрязнение атмосферы неравномерное и определяется не только местонахождением источников загрязнения, но и особенностями строения атмосферы. Основные загрязнения (газообразное – 90%, аэрозольное – 10%) сосредоточены в тропосфере, т. е. на высотах до 18 км на экваторе и до 10 км над полюсами. Частично загрязнения распространяются и на стратосферу.

Каждый автомобиль выбрасывает более 40 вредных веществ, из них 70% составляет оксид углерода.

Предприятия и транспорт Республики Беларусь ежегодно выбрасывают в атмосферу около 1 млн 240 тыс. т оксида углерода, более 170 тыс. т оксидов азота, более 300 тыс. т углеводородов и летучих органических соединений.

#### **2.4.3. Чрезвычайные ситуации, связанные с изменением состояния гидросфера (водной среды).** К таким ЧС относят:

- резкая нехватка питьевой воды вследствие истощения вод или их загрязнения;
- истощение водных ресурсов, важных для организации хозяйственно-бытового водоснабжения и обеспечения технологических процессов;
- нарушение хозяйственной деятельности и экологического равновесия вследствие критического загрязнения зон внутренних морей и мирового океана.

Наиболее распространенными загрязнителями являются нефть и нефтепродукты, а также фенолы, нитраты, формальдегид, соединения фтора, аммиак, марганец, соли серной кислоты. На некоторых участках рек Беларусь предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязнителей превышают нормы в 3–14 раз, а количество нитратов в колодцах – в 3–4 раза.

#### **2.4.4. Чрезвычайные ситуации, связанные с изменением состояния биосфера.** Это такие ЧС, как:

- исчезновение отдельных видов животных и растений в результате изменения условий среды обитания;
- массовая гибель животных;
- гибель растительности на обширной территории;
- резкое изменение способности биосфера к воспроизведству возобновляемых ресурсов.

### **2.5. Характеристика биолого-социальных чрезвычайных ситуаций**

Чрезвычайные ситуации, вызванные загрязнением окружающей среды биологическими средствами, возникают при авариях на предприятиях, производящих, хранящих или использующих биологические средства, а также при применении биологического оружия.

*Источником биолого-социальной ЧС является особо опасная или широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, в результате которой на определенной территории произошла или может возникнуть биолого-социальная ЧС.*

**Биолого-социальная ЧС** – состояние, при котором в результате возникновения источника биолого-социальной ЧС на определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, существования сельскохозяйственных животных и произрастание растений, возникает угроза жизни и здоровью людей, широкого распространения инфекционных болезней, потерю сельскохозяйственных животных и растений.

**2.5.1. Классификация болезнестворных микробов.** *Микробы* – мельчайшие живые существа различных форм и размеров. Микробная клетка состоит из ядра (молекулы ДНК), оболочки и цитоплазмы. Многие микробы имеют органы движения. Размножаются простым делением пополам. Болезнестворные микробы выделяют ядовитые вещества – токсины, которые поражают организм человека, животного и растения.

По типу приспособленности к питательной среде болезнестворные микробы делят на условно-патогенные и патогенные.

*Условно-патогенные (условно-болезнестворные)* микробы в обычных условиях вреда человеку не приносят, но при определенных состояниях (например, при охлаждении, голодании, переутомлении, облучении радиацией, наличии стресса) могут проявить себя (например, ангину).

*Патогенные (болезнестворные)* микробы вызывают инфекционные заболевания человека, животных и растений. Все патогенные микробы – паразиты, т. е. живут и размножаются в других организмах и могут вызывать болезни.

**Возбудитель инфекционной болезни** – патогенный микроорганизм, паразитирующий в организме человека или животного и потенциально способный вызывать инфекционное заболевание.

В зависимости от форм и размеров различают: бактерии, вирусы, риккетсии, грибки, простейшие, прионы.

**Бактерии** – одноклеточные организмы растительной природы, весьма разнообразные по своей форме. При благоприятных условиях питания, температуры и влажности они быстро размножаются простым делением, цикл деления 20–30 мин. Их размеры от 0,5 до 8–10 мкм. Они вызывают такие заболевания, как сибирская язва, чума, сап, туляремия, столбняк, гангрена и др. Инкубационный период большинства болезней – 1–6 сут, смертность составляет 80–100%. Разновидностью бактерий являются *спирохеты*, которые не имеют оболочки и вызывают такие заболевания, как сифилис, возвратный тиф.

**Вирусы** – мельчайшие микробы, во много раз меньше бактерий, имеющих размеры от 0,08 до 0,35 мкм. Они способны жить и размножаться только в живых клетках за счет использования биосинтетического аппарата клетки хозяина, т. е. являются внутриклеточными паразитами.

Не имеют клеточного строения. Тело вируса состоит из нуклеиновой кислоты и белковой оболочки. После проникновения в клетку вирус освобождается от оболочки и размножается, используя материал клетки и подавляя ее функции.

Устойчивость вирусов во внешней среде превосходит устойчивость бактерий.

К вирусным заболеваниям относят грипп, корь, энцефалиты, натуральную оспу, бешенство, СПИД, ящур, рак и др. Есть данные, что атеросклероз и инфаркт миокарда также являются результатом действия вирусов.

**Риккетсии** – группа микроорганизмов (внутриклеточные паразиты), занимающая промежуточное положение между бактериями и вирусами. Размеры их – от 0,3 до 0,5 мкм. Риккетсии спор не образуют, устойчивы к высушиванию, замораживанию и колебаниям относительной влажности воздуха. Достаточно чувствительны к действию высоких температур и дезинфицирующих средств. Заболевания, вызываемые риккетсиями, называются *риккетсиозами*; среди них такие высоко опасные, как сыпной тиф, пятнистая лихорадка и др. В естественных условиях риккетсиозы передаются человеку в основном через кровососущих членистоногих, в организме которых возбудители обитают часто как безвредные паразиты.

**Грибки** – одно- или многоклеточные микроорганизмы растительного происхождения с размерами от 3 до 50 мкм и более. Грибки могут образовывать споры, обладают высокой устойчивостью к замораживанию, высушиванию, действию солнечных лучей и дезинфицирующих средств. Заболевания, вызываемые патогенными грибками, носят название *микозов*.

**Простейшие** – одноклеточные организмы животного происхождения: амебы, лямблии, плазмодии малярии и др. Это паразиты человека, животных и растений.

**Прионы** (патологические белки) более примитивны, чем вирусы. В них нет даже нуклеиновых кислот. Прионы вызывают «медленные» инфекции. В частности, они разрушают нейроны головного мозга, человек постепенно теряет память, его поражает паралич, проявляется старческий маразм, сильный психоз. Прионы имеют большой инкубационный период, поэтому и проявляются в возрасте более 60 лет.

**Особо опасная инфекция** – состояние зараженности организма людей или животных, проявляющееся в виде инфекционной болезни, прогрессирующей во времени и пространстве и вызывающей тяжелые последствия для здоровья людей и сельскохозяйственных животных либо летальные исходы.

**2.5.2. Характеристика особо опасных инфекционных болезней людей.** Ежегодно в мире от инфекционных болезней погибают 13–15 млн чел., преимущественно детского и среднего возраста. Распространение таких болезней происходит в форме эпидемии.

**Эпидемия** – массовое, прогрессирующее во времени и пространстве в пределах определенного региона распространение инфекционной болезни людей, значительно превышающее обычно регистрируемый на данной территории уровень заболеваемости. Эпидемия обычно распространяется в населенных пунктах и на определенной территории, т. е. в очагах.

**Эпидемический очаг** – место заражения и пребывания заболевших инфекционной болезнью людей либо территория, в пределах которой в определенных границах времени происходит заражение людей и сельскохозяйственных животных возбудителями болезни.

С 2019 г. в мире наблюдается **коронавирусная инфекция COVID-19** – это **пандемия**, необычайно сильная эпидемия, распространившаяся на территории стран, континентов. Высшая степень эпидемического процесса.

По состоянию на 10.02.2021 г. во всем мире насчитывается почти 106 млн заболевших коронавирусом, 2,3 млн человек умерли. В Беларусь на 10 февраля этого года статистика такова: 259 тыс. заболевших коронавирусом и 1792 летальных исходов.

Вспышка пневмонии COVID-19 впервые была зафиксирована в декабре 2019 г. в Китае (Ухань).

«Экспертная группа Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) изучила *четыре потенциальные гипотезы* того, как вирус мог попасть к человеку», – заявил 9 февраля 2021 г. на пресс-конференции в Ухани глава международной группы экспертов ВОЗ Питер Бен Эмбарек.

*Первая* – это прямая передача от животного к человеку.

*Вторая* гипотеза о том, что вирус мог передаться от промежуточного животного, потенциально близкого к человеку, в котором вирус мог адаптироваться и циркулировать до передачи человеку.

*Третья* версия – это цепочка продуктов, в особенности замороженных, чья поверхность, возможно, могла быть источником передачи вируса к человеку или через еду.

*Четвертая* – инцидент в лаборатории Уханьского института вирусологии.

Наиболее вероятными являются версии передачи вируса через промежуточного носителя и возможность передачи вируса через поверхности замороженных продуктов. Версии прямой передачи вируса от летучих мышей и передачи вируса человеку по причине лабораторной утечки эксперты считают маловероятными.

Китай обвиняют в сокрытии вспышки болезни, попытках заставить замолчать медиков, которые хотели поднять тревогу, а также в запоздалом информировании мира о произошедшем. На Пекин также возлагают вину за препятствование внешнему расследованию происхождения вируса.

Далее рассмотрим наиболее опасные инфекционные болезни.

**Сибирская язва** – острое инфекционное заболевание, которое передается при контакте с больными животными, распылением в воздухе, через зараженные продукты питания, предметы домашнего обихода. Инкубационный период составляет 1–7 дней. Возбудитель – спорообразующий микроб, сохраняющий жизнеспособность во внешней среде в течение нескольких лет.

Сибирская язва в зависимости от пути проникновения возбудителя в организм человека может быть кожной, легочной и кишечной формы.

**Кожная форма** сибирской язвы без лечения заканчивается смертью в 5–15% случаев заболеваний. При **легочной и кишечной форме** температура тела высокая и болезнь на 3–5-е сут часто заканчивается смертью.

По остроинфекционным заболеваниям сельхозживотных в Республике насчитывается 500 очагов возникновения сибирской язвы, имеются природные очаги бешенства в Слонимском, Ивановском, Пинском районах Брестской области; Дубровенском, Лиозненском, Докшицком, Глубокском районах Витебской области; Волковысском, Ошмянском районах Гродненской области.

**Чума** – острое инфекционное заболевание, которое вызывается чумными палочками, способными распространяться по всему организму. Инкубационный период 2–6 дней. Распространяется блохами, воздушно-капельным путем, заражением воды и пищи. Возбудитель устойчив во внешней среде. Характеризуется сильнейшей интоксикацией организма, тяжелым поражением сердечно-сосудистой системы, иногда пневмонией, кожной язвой. Смертность составляет 80–100%, при лечении – до 10%. Может протекать в трех формах: кожной, легочной и кишечной.

**Холера** – острое инфекционное заболевание желудочно-кишечного тракта. Скрытый период 1–5 дней. Заражение происходит через воду, пищу, насекомых, при контакте с больными. Возбудитель – холерный вибрион, устойчив в воде до 1 мес., в пищевых продуктах 4–20 дней. Смертность составляет 10–80%.

**СПИД** – синдром приобретенного иммунного дефицита, вызываемый вирусом. Попадая в кровь, вирус внедряется в Т-лимфоциты, в которых проходит цикл его размножения, ведущий к гибели клетки-хозяина. Источник вируса – больной человек. Вирус передается через кровь или половым путем. Инкубационный период составляет от нескольких месяцев до 5 лет. Летальность при заболевании СПИДом достигает 65–70%.

**Натуральная оспа** – острое инфекционное заболевание. Инкубационный период 5–21 день. Возбудитель – вирус, устойчивый во внешней среде. Смертность среди вакцинированных – до 10%, среди непривитых – до 40%.

**Менингит** – инфекционное заболевание, вызывающее воспаление оболочек спинного и головного мозга. В случае выздоровления влечет задержку умственного развития.

**Туляремия** – острое бактериальное заболевание. Инкубационный период – 2–8 сут. Передается человеку от больных грызунов и зайцев, через загрязненную ими воду, продукты, насекомыми, клещами при укусах. Смертность людей без лечения – до 30%. Для защиты используется вакцина.

**Гепатит типа А** – инфекционное вирусное заболевание. Поражается печень, происходит расстройство обмена веществ. Имеют место и смертные случаи.

Сегодня особо опасными заболеваниями остаются: *брюшной тиф, склератина, грипп, столбняк, свинка, оспа ветряная, корь, тиф возвратный* и др.

Для возникновения инфекционного заболевания необходимо наличие и взаимодействие следующих трех основных элементов: источника возбудителя инфекции, механизма передачи и восприимчивого организма.

Под *источником возбудителя инфекции* понимают объект, который является местом естественного пребывания и размножения возбудителей и в котором идет процесс их накопления. Имея паразитическую природу, объектом своего существования возбудители избирают живые организмы (ими являются человек и животное).

*Механизм передачи инфекции* представляет совокупность эволюционно сложившихся способов перемещения возбудителя болезни из зараженного организма в незараженный. Такое перемещение необходимо возбудителю потому, что бесконечно долго находиться в одном организме он не может, так как организм вырабатывает к нему невосприимчивость (иммунитет) и рано или поздно освобождается от возбудителей. Приспособившись к паразитированию в организме одного биологического хозяина, он может переходить и в другой организм.

**2.5.3. Характеристика особо опасных инфекционных болезней животных.** Распространение инфекционных болезней животных происходит в форме эпизоотий, панзоотий и энзоотий.

**Эпизоотия** – одновременное прогрессирующее во времени и пространстве в пределах определенного региона распространение инфекционной болезни среди большого числа одного или многих видов сельскохозяйственных животных, значительно превышающее обычно регистрируемый на данной территории уровень заболеваемости.

**Панзоотия** – массовое одновременное распространение инфекционной болезни сельскохозяйственных животных с высоким уровнем заболеваемости на огромной территории с охватом целых регионов, нескольких стран и материков.

**Энзоотия** – одновременное распространение инфекционной болезни среди сельскохозяйственных животных в определенной местности, хозяйстве или пункте, природные и хозяйствственно-экономические условия которых исключают распространение данной болезни.

Наиболее опасными инфекционными заболеваниями животных являются следующие.

**Ящур** – вирусное заболевание крупного рогатого скота, свиней. Характеризуется лихорадкой и автозными поражениями слизистой оболочки ротовой полости, кожи, вымени и конечностей. Ящуром может заболеть человек.

**Can** – контагиозное заболевание однокопытных животных, от которых оно может передаваться человеку. Инкубационный период – 2–14 дней. Распространяется распылением в воздухе, заражением воды, пищи, предметов домашнего обихода. Возбудитель во внешней среде неустойчив. Смертность – 50–100%. Все больные животные подлежат уничтожению, так как средств лечения нет.

**Чума крупного рогатого скота** – заразное вирусное заболевание. Возбудитель передается с инфицированной водой, фуражом, путем распыления в воздухе. Смертность составляет 80–100%.

**Чума свиней** – вирусная болезнь. Источник инфекции – больные и переболевшие свиньи. Вирус устойчив во внешней среде. Смертность составляет 60–100%.

**Бешенство** – острое вирусное заболевание многих видов животных, особенно собак, лисиц и др. Характеризуется тяжелыми поражениями центральной нервной системы и очень опасно для человека. Поражение наступает при укусах, а также при попадании слюны животного в организм других животных и человека.

**Бруцеллез** – инфекционное заболевание домашних и некоторых диких животных, представляющее опасность и для человека. Заражение животных происходит при поедании мяса, молока от больных бруцеллезом коров, овец, свиней.

Кроме того, животные *болеют сальмонеллезом, туберкулезом, колибактериозом, стригущим лишаем, паршой* и др. На животных могут паразитировать *виши, блохи, власоеды* и другие насекомые.

**2.5.4. Особо опасные болезни и вредители растений.** Распространение болезней и вредителей растений происходит в форме эпифитотий, энфитотий и панфитотий.

**Эпифитотия** – массовое, прогрессирующее во времени и пространстве инфекционное заболевание сельскохозяйственных растений и (или) резкое увеличение численности вредителей растений, сопровождающееся массовой гибелью сельхозкультур и снижением их продуктивности.

**Энфитотия** – одновременное распространение инфекционной болезни среди сельскохозяйственных растений в определенной местности, хозяйстве, пункте, природные и хозяйственно-экономические условия которых исключают повсеместное распространение данной болезни.

**Панфитотия** – массовое заболевание растений и резкое увеличение вредителей сельскохозяйственных растений на территории нескольких стран и континентов.

**Фитопатоген** – возбудитель болезни растений. Выделяет биологически активные вещества, губительно действующие на обмен веществ, поражая корневую систему, нарушая поступление питательных веществ. Восприимчивость растений к фитопатогену зависит от устойчивости сортов, времени заражения и погоды.

Болезни злаков – **стеблевая и желтая ржавчина** – это вредоносное грибковое заболевание, поражающее пшеницу, рожь, ячмень и другие виды злаков. Потери урожая могут достигать 60–70%.

Болезнь картофеля – **фитофтороз** – вредоносное заболевание, поражающее ботву в период образования клубней и способствующее их массовому гниению в земле. Заболевание, как правило, наблюдается во второй половине лета. При сильном заражении фитофторозом потери урожая составляют до 70%.

**Вредители растений.** Большой ущерб сельскому хозяйству наносит колорадский жук, уничтожающий листья и стебли картофеля; *каранча* – уничтожает любую зеленую растительность.

## 2.6. Биологическое оружие

Биологическое оружие относится к оружию массового поражения и представляет собой боеприпасы или приборы, начиненные бактериальными средствами для поражения людей, животных, сельскохозяйственных культур и запасов продовольствия.

**Бактериальные средства** – это болезнетворные микробы и их токсины, а также зараженные насекомые, предназначенные для распространения и сохранения микробов во внешней среде. Бактериальные средства могут быть в виде жидких или сухих смесей болезнетворных микробов и их токсинов с добавками веществ, обеспечивающих их устойчивость.

С учетом высокой опасности для населения использование бактериологического оружия в военных целях запрещено международным правом. В 1971 г. Генеральная Ассамблея ООН одобрила Конвенцию о запрещении разработки, производства и накопления запасов бактериологического (биологического) и токсинного оружия и об их уничтожении.

*Особенностями биологического оружия являются:*

- высокая потенциальная эффективность, т. е. способность поражать людей или животных ничтожно малыми дозами;
- наличие скрытого (инкубационного) периода, специфического для каждого инфекционного заболевания;
- контагиозность – способность инфекционных болезней передаваться от больного здоровому;
- продолжительность действия, обусловленная способностью некоторых (спорообразующих) микроорганизмов длительное время сохраняться в окружающей среде;
- трудность обнаружения;
- избирательность (целенаправленность) действия, которая связана с наличием большого количества возбудителей инфекционных заболеваний, опасных для человека, животных и растений, и возможностью осуществлять их выбор;
- сильное психологическое воздействие;
- относительная дешевизна производства биологического оружия по сравнению с химическим и ядерным оружием.

*Основными способами применения биологического оружия являются:*

- аэрозольный, позволяющий заражать обширные территории и все объекты окружающей среды;
- распространение на местности зараженных переносчиков инфекционных заболеваний (клещей, насекомых, грызунов);
- диверсионный – заражение питьевой воды и пищевых продуктов.

**Защита от биологических средств.** При чрезвычайных ситуациях, обусловленных возникновением массовых инфекционных заболеваний среди населения, применяются специальные режимно-ограничительные меры, направленные на недопущение распространения заболеваний. В зависимости от масштабов чрезвычайной ситуации и вида заболевания в очаге биологического поражения это могут быть обсервационные меры или карантинные. Границы очага биологического поражения, как правило, определяются границами населенных пунктов.

*Мероприятия, проводимые при обсервации,* имеют ограничительный характер и включают: ограничение выезда, въезда и транзитного проезда через населенный пункт, в котором возникла данная ситуация; ограничение контактирования населения с людьми вне очага.

*Карантинный режим* более строг. Он вводится при возникновении особо опасных заболеваний (чума, натуральная оспа, холера), характеризующихся очень высокой контагиозностью. Режим карантина предусматривает полную изоляцию очага с введением вооруженной охраны основных мест въезда и выставлением оцепления по периметру. Запрещаются зрелищные и другие массовые мероприятия, выезд, резко ограничивается въезд, вводится особая система снабжения продуктами питания.

Действие этих ограничительных мер заканчивается по прошествии срока, равного длительности инкубационного периода заболевания и исчисляемого с момента выявления последнего больного.

Одним из мероприятий, играющих важную роль в комплексе мер по ликвидации инфекционных заболеваний и эпидемических вспышек, служит *дезинфекция*. Она проводится с целью уничтожения возбудителей инфекционных заболеваний на объектах и в различных субстратах внешней среды.



- 
1. Дайте определение и назовите источники ЧС.
  2. Приведите классификацию ЧС по масштабу распространения.
  3. Назовите основные источники ЧС природного характера.
  4. Дайте определение следующим понятиям: авария, катастрофа, техногенная опасность, промышленная авария, промышленная катастрофа.
  5. Назовите основные источники биологического-социальных ЧС.
  6. Дайте определение и классификацию экологических ЧС (связанных с изменениями литосферы, атмосферы и биосферы).
  7. Приведите классификацию болезнестворных микробов и болезней, вызываемых ими.
  8. Дайте краткую характеристику особо опасных инфекционных заболеваний людей, животных и растений.
  9. Что такое биологическое оружие и какие существуют способы защиты от него?

## ЛЕКЦИЯ 3

# ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

- 3.1. Строение, свойства атома и ядра.
- 3.2. Энергия связи атомных ядер.
- 3.3. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада.
- 3.4. Активность и единицы ее измерения.
- 3.5. Деление тяжелых ядер и цепная реакция деления.

*Ионизирующее излучение* – излучение, которое возникает при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков. Ионизирующее излучение не воспринимается органами чувств: мы его не видим и не слышим, не ощущаем воздействия на наши тела. Ионизирующее излучение разделяют на электромагнитное и корпускулярное.

К **электромагнитным (фотонным)** относят рентгеновское и гамма-излучения, которые представляют собой поток электромагнитной энергии с разной (преимущественно короткой) длиной волны. Солнце является природным источником ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение поглощается земной атмосферой: если бы этого не происходило, то оно бы губительно действовало на все живое на Земле.

**Корпускулярное ионизирующее излучение** – поток элементарных частиц с массой, отличной от нуля, образующихся при радиоактивном распаде, ядерных превращениях либо генерируемых на ускорителях: бета-частицы (электроны и позитроны), нейтроны, протоны и альфа-частицы (ядра атома гелия), тяжелые ионы. К ионизирующему относятся также космические излучения, которые приходят на Землю из космического пространства. Воздействие ионизирующих излучений на вещества называется *облучением*.

### 3.1. Строение, свойства атома и ядра

Для того чтобы понять, каким образом при ядерных реакциях освобождается колоссальное количество энергии, заключенной в ядрах атомов, необходимо знать строение атома и его ядра.

**Атом** – это наименьшая частица химического элемента. Он состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого вращаются отрицательно заряженные частицы – электроны, составляющие электронную оболочку атома (рис. 3.1).

**Электрон** – это элементарная частица с массой покоя, равной 0,000548 а. е. м. (1 а. е. м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг).

Заряд электрона  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Электроны в атомах могут двигаться без потери энергии только по определенным орбитам (рис. 3.2). Количество орбит, по которым вращаются электроны, может быть произвольно, но они группируются в электронные слои. Слоев может быть семь: K, L, M, N, O, P, Q.

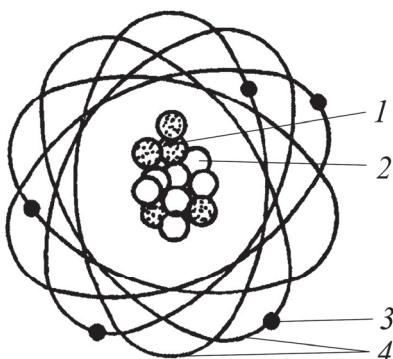


Рис. 3.1. Строение атома:  
1 – протон; 2 – нейтрон;  
3 – электрон;  
4 – орбиты

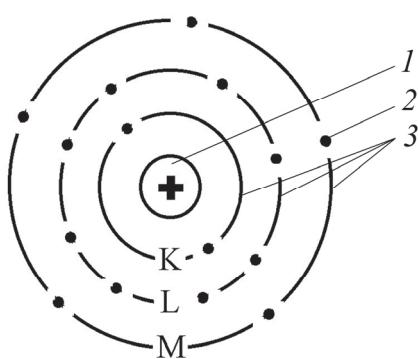


Рис. 3.2. Схема атомных электронных оболочек:  
1 – ядро; 2 – электроны;  
3 – электронные оболочки

Каждый слой содержит строго определенное число электронов. Чем он ближе к ядру, тем выше энергия связи с ядром, и наоборот. Поэтому электроны с орбит внешних электронных слоев сорвать значительно легче, чем с орбит внутренних электронных слоев. Переход электрона с ближайшей к ядру орбиты на более удаленную осуществляется с поглощением порции (кванта) энергии. При возвращении электрона на ближайшую орбиту происходит выделение такого же количества энергии.

Ядро при аналогичных переходах излучает гамма-кванты. Как и для всякой системы, наибольшая энергетическая устойчивость атома соответствует его наименьшей энергии. Состояние атома с наименьшей энергией называется нормальным или основным, ему соответствует нахождение электрона на ближайшей к ядру, нормальной орбите.

В нормальном, т. е. устойчивом, состоянии атом не выделяет и не поглощает энергии. При воздействии на атом, например, рентгеновскими лучами, происходит его возбуждение, т. е. один из электронов

переходит на какую-либо из внешних орбит, в результате чего энергия атома увеличивается.

Возбужденный атом неустойчив, поэтому он через очень короткий промежуток времени (миллионные доли секунды) вновь возвращается в устойчивое состояние, при этом восстанавливается первоначальная структура электронной оболочки. При переходе атома в энергетически более устойчивое состояние освобождается энергия в виде **фотона** – элементарной частицы, электромагнитного излучения (видимого света, ультрафиолетового или рентгеновского излучения).

Обычно атом электрически нейтрален, так как суммарный отрицательный заряд всех электронов по абсолютной величине равен заряду ядра. Если увеличить энергию, передаваемую электрону, то он может оторваться от атома, в результате чего атом превращается в положительно заряженный ион. Этот процесс называется ионизацией. На ионизацию атома затрачивается энергия, равная энергии связи электрона в атоме. Обратный процесс, т. е. захват положительно заряженным ионом свободного электрона, называется рекомбинацией: при этом выделяется энергия, равная энергии связи электрона с ядром.

**Ядро** – центральная часть атома, в которой сосредоточена практически вся масса атома и его положительный электрический заряд.

Ядро состоит из протонов – положительно заряженных частиц ( $p$ ) и нейтронов ( $n$ ), частиц, не имеющих заряда. Обе частицы, протоны и нейтроны, носят общее название – нуклоны. Диаметр ядра составляет примерно  $10^{-15}$  м. Плотность вещества в ядре  $2 \cdot 10^{14}$  г/см<sup>3</sup>, т. е. 1 см<sup>3</sup> ядерного вещества имеет массу  $10^8$  т.

**Протон** (от греч. *Protos* – первый) – это элементарная частица, имеющая положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, и массу покоя  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг =  $1836 m_e$ . Зарядом протонов объясняется положительный заряд ядра в целом.

**Нейtron** – нейтральная элементарная частица, которая не имеет электрического заряда. Он чуть тяжелее протона и имеет массу покоя  $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27}$  кг =  $1839 m_e$ . Поэтому, хотя ядро в десятки тысяч раз меньше атома, в нем сосредоточена почти вся масса атома.

Масса ядра определяется суммарным количеством нуклонов (протонов и нейтронов), а заряд ядра равен сумме зарядов входящих в его состав протонов. Число, равное общему количеству нуклонов и характеризующее массу ядра, называется массовым числом ( $A$ ), которое численно равно общему числу протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $N$ ), входящих в состав ядра  $A = Z + N$ . Заряд же ядра, выраженный в элементарных единицах, численно равен порядковому номеру элемента в периодической таблице Д. И. Менделеева и называется зарядовым числом ядра.

Поскольку  $Z$  выражает число протонов, а  $A$  число нуклонов в ядре, то число нейтронов в атомном ядре  $N = A - Z$ .

Для химических элементов принято следующее обозначение  ${}^A_Z X$ : слева вверху у символа химического элемента пишется массовое число, а внизу – зарядовое число. Например, изотоп плутония  ${}^{239}_{94}\text{Pu}$  означает, что массовое число  $A = 239$ , зарядовое число  $Z = 94$ , число нейтронов  $N = A - Z$ .

В ядре атома каждого химического элемента находится строго определенное количество протонов. Например, в ядре атома водорода содержится 1 протон, в ядре атома Не – 2 протона, Li – 3 протона и т. д. Число же нейтронов в ядрах атомов одного и того же химического элемента может быть различным.

Атомы одного и того же элемента с одинаковым числом протонов, но с различным числом нейтронов в ядре называются *изотопами*. Электронные оболочки изотопов одного и того же химического элемента одинаковые. Поэтому изотопы имеют одинаковые химические свойства и располагаются в одной клетке периодической таблицы Менделеева.

Большинство химических элементов состоит из нескольких изотопов. Так, наряду с обычным водородом существует тяжелый водород (дейтерий), ядро которого содержит один протон и нейtron, а также сверхтяжелый водород (тритий), ядро которого содержит протон и два нейтрона (рис. 3.3).

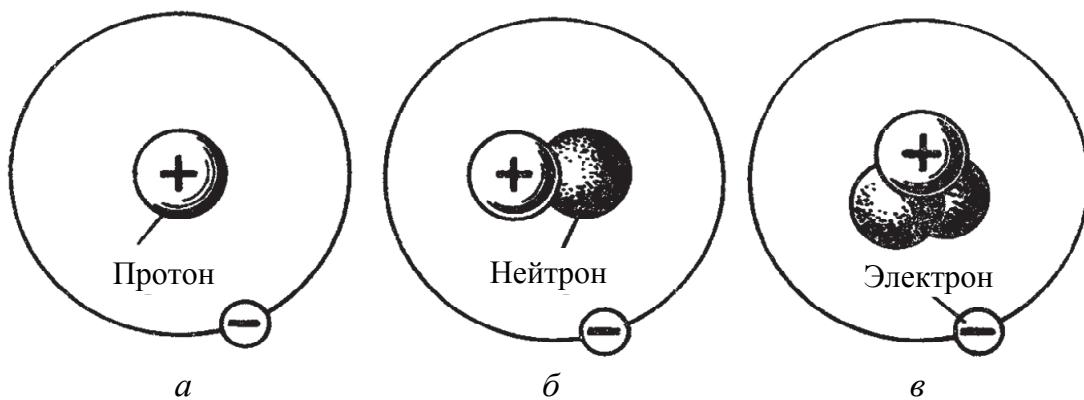


Рис. 3.3 Схема строения атомов изотопов водорода:  
а – водород; б – дейтерий; в – тритий

Изотопы водорода отличаются друг от друга по массе в два или три раза. Дейтерий нерадиоактивен, входит в качестве небольшой смеси в обычный водород. При соединении дейтерия с кислородом образуется тяжелая вода, ее физические свойства заметно отличаются от свойств обычной воды. При нормальном атмосферном давлении она кипит при

101,2°C и замерзает при –3,8°C. Тритий имеет атомную массу 3, он бетаактивен, с периодом полураспада 12 лет.

Смесью трех изотопов является природный уран, который состоит из U-238 (99,28%), U-235 (0,714%), U-234 (0,006%), ядра этих изотопов содержат соответственно 146, 143 и 142 нейтрона.

Всего известно около 2000 естественных и искусственно полученных радиоактивных изотопов. Некоторые изотопы, встречающиеся в природе, и почти все изотопы, которые получены искусственным путем, не могут существовать сколь угодно долго. Такие неустойчивые изотопы принято называть *радионуклидами*.

Термин «изотопы» следует применять только в тех случаях, когда речь идет об атомах одного и того же химического элемента. Если подразумеваются атомы разных химических элементов, рекомендуется использовать термин «нуклиды».

Например, смесь радионуклидов Sr-90, I-131, Cs-137, но изотопы углерода C-12, C-14. Природный калий представлен тремя изотопами: K-39, K-40, K-41; соответственно, 93,08%, 0,0119 и 6,91%.

Атомные ядра с одинаковым массовым числом  $A$  и разным  $Z$  называются *изобарами*, а с одинаковым числом нейтронов  $N$  ( $N = A - Z$ ) – *изотонами*.

Например: ядра  $^{40}_{18}\text{Ar}$ ,  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{40}_{20}\text{Ca}$  – *изобары* (для них  $A = 40$ ), а ядра  $^{136}_{54}\text{Xe}$ ,  $^{138}_{56}\text{Ba}$ ,  $^{139}_{57}\text{La}$  – *изотоны* (для них  $N = 82$ ).

Существование изотопов доказывает, что заряд ядра определяет не все свойства атома, а лишь его химические свойства и те физические свойства, которые зависят от электронной оболочки, например размеры. Масса же атома и его радиоактивные свойства не определяются порядковым номером в таблице Менделеева.

## 3.2. Энергия связи атомных ядер

Нуклоны в ядрах находятся в состояниях, существенно отличающихся от их свободных состояний. За исключением ядра обычного водорода, во всех ядрах имеется не менее двух нуклонов, между которыми существует ядерное сильное взаимодействие – притяжение, обеспечивающее устойчивость ядер, несмотря на отталкивание одноименно заряженных протонов, т. е. между нуклонами, составляющими ядро атома, действуют особого рода силы, называемые *ядерными*. Особенностью этих сил является то, что они действуют лишь на очень малых расстояниях только между соседними нуклонами.

Прочность ядер характеризуется *энергией связи*. По своей величине энергия связи равна той работе, которую необходимо затратить для разрушения ядра на составляющие его нуклоны без придания им кинетической энергии. Такое же количество энергии освобождается при образовании ядра из нуклонов. Энергия связи ядра является разностью между энергией всех свободных нуклонов, составляющих ядро, и их энергией в ядре.

Энергия связи нуклонов в ядре в миллионы раз превышает энергию связи атомов в молекуле. Поэтому при химических превращениях веществ атомные ядра не изменяются.

При образовании ядра происходит уменьшение его массы: масса ядра меньше, чем сумма масс составляющих его нуклонов. Уменьшение массы ядра при его образовании объясняется выделением энергии связи. Количество заключенной в веществе энергии непосредственно связано с его массой соотношением Эйнштейна:

$$E = m \cdot c^2, \quad (3.1)$$

где  $E$  – энергия, заключенная в теле, Дж;  $m$  – масса микрочастиц, кг;  $c$  – скорость света в вакууме, м/с.

В соответствии с этим соотношением масса и энергия представляют собой разные формы одного и того же явления. Ни масса, ни энергия не исчезают, а при соответствующих условиях переходят из одного вида в другой, т. е. любому изменению массы  $\Delta m$  системы соответствует эквивалентное изменение ее энергии  $\Delta E$ :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2. \quad (3.2)$$

Точнейшие измерения масс ядер показывают, что масса покоя ядра всегда меньше суммы масс покоя слагающих его протонов и нейтронов:

$$m_{\text{я}} < Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n. \quad (3.3)$$

Разность между суммой масс свободных нуклонов и массой ядра называется *дефектом массы атомного ядра*. Если ядро с массой  $m$  образовано из  $Z$  протонов с массой  $m_p$  и из  $(A - Z)$  нейронов с массой  $m_n$ , то дефект массы  $\Delta m$  определяется соотношением

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{я}}. \quad (3.4)$$

Уменьшение массы при образовании ядра из нуклонов означает, что при этом уменьшается энергия данной системы нуклонов на величину энергии связи  $E_{\text{св}}$ :

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{я}}) \cdot c^2. \quad (3.5)$$

При образовании ядра из частиц последние за счет действия ядерных сил на малых расстояниях устремляются с огромным ускорением друг к другу. Излучаемые при этом гамма-кванты как раз обладают энергией  $E_{\text{св}}$  и массой  $\Delta m$ .

Энергия связи, приходящаяся на один нуклон (т. е. полная энергия связи, поделенная на число нуклонов в ядре), называется удельной энергией связи:

$$\Delta E_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}. \quad (3.6)$$

Чем больше по абсолютной величине удельная энергия связи, тем сильнее взаимодействие между нуклонами и тем прочнее ядро. Наибольшая энергия связи, приходящаяся на один нуклон, порядка 8,75 МэВ присуща элементам средней части таблицы Менделеева.

### **3.3. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада**

Явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента называется *радиоактивностью*, а само неустойчивое ядро – *радиоактивным*.

Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер с испусканием элементарных частиц или их групп называется *радиоактивным распадом*. Если радиоактивный распад сопровождается испусканием альфа-частиц, то это альфа-распад; бета-частиц – бета-распад. Альфа- и бета-распады обычно сопровождаются гамма-излучением.

Возникающие при самостоятельных превращениях ядер атомов потоки элементарных частиц или их групп являются *ионизирующими излучениями*. Различают три вида радиоактивных излучений: альфа-, бета- и гамма-излучение.

Из общего числа (около 2 тыс.) известных ныне радиоактивных нуклидов лишь около 300 являются природными, остальные получены искусственным путем в результате ядерных реакций.

Самопроизвольные превращения радиоактивных ядер приводят к непрерывному уменьшению числа ядер атомов исходного радионуклида и образованию дочерних продуктов.

Для определенного радиоактивного вещества вероятность распада каждого ядра одинакова в любой момент времени, так как ядра распадаются независимо друг от друга.

**Закон радиоактивного распада** для любых превращений ядер устанавливает, что за единицу времени распадается всегда одна и та же доля нераспавшихся ядер данного радионуклида. Эту долю называют **постоянной распада** и обозначают  $\lambda$ . В общем виде данный закон выражается экспоненциальной зависимостью:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (3.7)$$

где  $N$  – число ядер, распавшихся за время  $t$ ;  $N_0$  – начальное число ядер радионуклида;  $e = 2,718$ ;  $\lambda$  – постоянная распада и соответствующий ей период полураспада зависят только от устойчивости ядер.

Закон, выражающий уменьшение количества ядер атомов радиоактивного вещества во времени, называется **законом радиоактивного распада** (рис. 3.4).

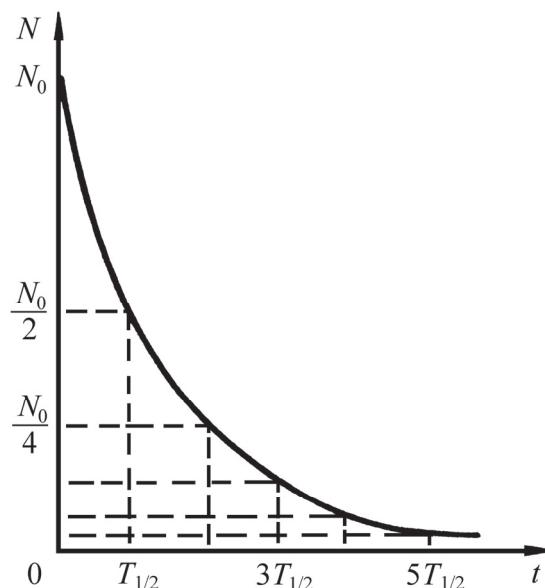


Рис. 3.4. График радиоактивного распада:  
 $N_0$  – исходное количество радиоактивного вещества;  
 $T_{1/2}$  – период полураспада вещества

Радионуклид может превращаться в другой радионуклид, что приводит к образованию так называемых радиоактивных цепочек.

Для любого момента времени

$$N_1 = N_0 \cdot e^{-\lambda_1 t}; \quad (3.8)$$

$$N_2 = \frac{N_0 \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad (3.9)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – число ядер материнского и дочернего радионуклидов;  $N_0$  – число ядер материнского радионуклида в начальный момент

времени;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – постоянные распада материнского и дочернего радионуклидов.

Для характеристики устойчивости ядер радиоактивного вещества относительно распада используется понятие «период полураспада». **Период полураспада радиоактивных веществ** – промежуток времени, в течение которого в результате радиоактивного распада количество ядер данного радиоактивного вещества уменьшается в два раза. Соответственно, вдвое уменьшается интенсивность ионизирующего излучения, испускаемого этим радиоактивным веществом. Между постоянной распада ( $\lambda$ ) и периодом полураспада ( $T_{1/2}$ ) существует соотношение

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (3.10)$$

Величина, обратная постоянной распада, называется **средним временем жизни**  $\tau$  радиоактивного ядра:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0,693} = 1,443 \cdot T_{1/2}. \quad (3.11)$$

Период полураспада для различных радионуклидов имеет протяженность от долей секунды до миллиардов лет. Соответственно, и радиоактивные вещества разделяют на короткоживущие (часы, дни) и долгоживущие (многие годы).

Например:  $^{214}_{84}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 1,6 \cdot 10^{-4}$  с);  $^{238}_{92}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 4,47 \cdot 10^{10}$  лет).

Период полураспада – одна из основных характеристик радиоактивных веществ, которую учитывают при их практическом применении. Так, при гамма-терапии предпочтение отдают радиоактивным веществам с большим периодом полураспада.

Например,  $^{137}_{55}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30$  лет),  $^{60}_{27}\text{Co}$  ( $T_{1/2} = 5,25$  г.).

При введении радиоактивных веществ в организм в диагностических целях стремятся свести к минимуму дозу облучения органов и тканей, поэтому используют радиоактивные вещества, период полураспада которых невелик.

Например,  $^{24}_{11}\text{Na}$  ( $T_{1/2} = 14,9$  ч),  $^{132}_{53}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 2,3$  ч).

### 3.4. Активность и единицы измерения

**Активность** есть мера интенсивности распада радионуклида, она определяется как количество распадов ядер атомов радиоактивного вещества в единицу времени, т. е. как скорость распада ядер.

Если радиоактивное вещество содержит  $N$  атомов и его постоянная распада, выражаящая долю распадающихся атомов в единицу времени,  $\lambda$ , то активность будет равна

$$A_n = -\frac{dN}{dt} = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = \lambda N. \quad (3.12)$$

Известно, что постоянная радиоактивного распада и период полу-распада  $T_{1/2}$  связаны соотношением

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \quad (3.13)$$

Моль вещества содержит  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомов. В массе  $m$  вещества с массовым числом  $A$  число атомов  $N$  равно

$$N = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot m}{A}. \quad (3.14)$$

Тогда активность источника выражается формулой

$$A_n = \frac{\ln 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot m}{A \cdot T_{1/2}}, \quad (3.15)$$

где  $A_n$  – активность радионуклида, Бк;  $m$  – масса радионуклида, г;  $A$  – массовое число радионуклида;  $T_{1/2}$  – период полураспада радионуклида, с.

Активность источника, в котором содержатся радиоактивные ядра одного вида, уменьшается во времени по экспоненциальному закону:

$$A_n = A_0 \cdot e^{-0,693t/T_{1/2}}, \quad (3.16)$$

где  $A_0$  – активность источника в начальный момент времени ( $t = 0$ );  $t$  – текущее время, которому соответствует активность вещества  $A_n$ .

Чем меньше период полураспада, тем большая доля ядер атомов радионуклида распадается в единицу времени. Число распадов в единицу времени в данном количестве радиоактивного вещества выражает активность вещества, поэтому количество радиоактивного вещества удобнее выражать не в весовых единицах, а в единицах активности.

Единицей измерения активности в Международной системе единиц (СИ) является **Беккерель** (Бк). Единица названа в честь первооткрывателя радиоактивности французского ученого Анри Беккереля. Беккерель равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит 1 распад, т. е.  $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$ .

В практике применяется и внесистемная единица измерения активности – **Кюри (Ки)**. Кюри равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит  $3,7 \times 10^{10}$  распадов, т. е.  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ . Такой активностью обладает 1 г радия и радиоактивность 1 г Ra была принята за единицу измерения Кюри.

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с} = 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки.}$$

Вес радионуклида активностью 1 Ки тем больше, чем медленнее распадается вещество, т. е. чем больше период его полураспада. Так, для  $^{24}_{11}\text{Na}$  ( $T_{1/2} = 15$  ч) масса = 0,1 г; для  $^{239}_{94}\text{Pu}$  ( $T_{1/2} = 24,4$  тыс. лет) масса = 16 г; для  $^{238}_{92}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 4,5$  млрд лет) масса = 3 т.

Для характеристики загрязненности продуктов питания, воды, строительных материалов, почвы и т. д. используются: удельная активность  $A_m = A_n / m$ , объемная активность  $A_v = A_n / V$  и поверхностная активность  $A_s = A_n / S$ , где  $m$  и  $V$  – соответственно масса и объем препарата пробы с активностью  $A_n$ , а  $S$  – площадь загрязненной поверхности.

Удельная активность  $A_m$  измеряется в единицах СИ в Бк/кг, объемная активность  $A_v$  – в Бк/м<sup>3</sup>, поверхностная активность – в Бк/м<sup>2</sup>. Используются внесистемные единицы активности (таблица).

#### Единицы измерения радиоактивности

Величина	Название и обозначение				Соотношение между единицами
	единица СИ	внесистемная			
Активность	$A$	Бк	$A$	Ки	$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с} = 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Удельная активность	$A_m$	Бк/кг	$A_{\text{уд}}$	Ки/кг	$1 \text{ Бк/кг} = 0,27 \cdot 10^{-10} \text{ Ки/кг}$ $1 \text{ Ки/кг} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/кг}$
Объемная активность	$A_v$	Бк/м <sup>3</sup>	$A_{\text{об}}$	Ки/л	$1 \text{ Бк/м}^3 = 0,27 \cdot 10^{-7} \text{ Ки/л}$ $1 \text{ Ки/л} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк/м}^3$
Поверхностная активность	$A_s$	Бк/м <sup>2</sup>	$A_{\text{пов}}$	Ки/км <sup>2</sup>	$1 \text{ Бк/см}^2 = 10^4 \text{ Бк/м}^2 = 0,27 \text{ Ки/км}^2$ $1 \text{ Ки/км}^2 = 37 \text{ кБк/м}^2$

Выбор единиц этих величин определяется конкретной задачей.

Например, допустимую концентрацию радионуклидов в воде (объемную активность) удобнее выражать в Бк/л, а в воздухе – в Бк/м<sup>3</sup>.

Если плотность пробы  $\rho = 1 \text{ кг/л}$  (например, воды), измеренные значения объемной активности  $A_v$ , Бк/л, численно совпадают с удельной активностью  $A_m$ , Бк/кг. Если плотность пробы отличается от 1 кг/л, удельную активность пробы можно найти по формуле

$$A_m = A_v / \rho. \quad (3.17)$$

### **3.5. Деление тяжелых ядер и цепная реакция деления**

В настоящее время многие природные легкодоступные ресурсы планеты исчерпываются. Добывать сырье приходится на большой глубине или на морских шельфах. Ограниченные мировые запасы нефти и

газа, казалось бы, ставят человечество перед перспективой энергетического кризиса. Однако использование ядерной энергии и угля дает человечеству возможность избежать этого. Результаты фундаментальных исследований физики атомного ядра позволяют отвести угрозу энергетического кризиса путем использования энергии, выделяемой при некоторых реакциях деления атомных ядер.

Между нуклонами, составляющими ядро атома, действуют особого рода силы, называемые **ядерными**. Они действуют на очень малых расстояниях – только между соседними нуклонами – и по величине намного больше гравитационных и электромагнитных сил, поэтому ядра большей части химических элементов чрезвычайно прочны.

Прочность ядер характеризуется **энергией связи**, которая зависит от общего числа нуклонов в ядре, а также от количественного соотношения в нем протонов и нейтронов. Например,  $^{238}_{92}\text{U}$  – в ядре содержит 92 протона и 146 нейтронов,  $^{235}_{92}\text{U}$  – в ядре содержит 92 протона и 143 нейтрона. Известно, что  $^{235}_{92}\text{U}$  делится в ядерных реакторах под действием медленных и быстрых нейтронов, а  $^{238}_{92}\text{U}$  не делится.

Чем больше по абсолютной величине удельная энергия связи, тем прочнее ядро. Поэтому всякое превращение одних атомов в другие, связанное с изменением числа нуклонов в их ядрах, должно сопровождаться выделением энергии, если ядра получаются более прочные (с большей энергией связи), или поглощением энергии, если образуемые ядра будут менее прочны по сравнению с исходными. Отсюда следует, что если разделить тяжелое ядро на две части (осколки) или соединить два легких ядра, то в обоих случаях должна выделиться энергия. Например, при делении ядра  $^{235}_{92}\text{U}$  (энергия связи  $E_1 = 1750 \text{ МэВ}$ ) на два примерно равных по массе осколка (энергия связи  $E_2 = 1950 \text{ МэВ}$ ) выделится энергия, равная разности  $E_2 - E_1 = 1950 - 1750 = 200 \text{ МэВ}$ .

Энергия, освобождаемая при различных превращениях ядер, называется **ядерной**. Оба пути получения ядерной энергии – *деление тяжелых ядер и соединение (синтез) легких ядер* – используются в настоящее время. Первый путь применяется в ядерных реакциях с тяжелыми элементами, например с изотопами урана, второй – в термоядерных реакциях с легкими элементами, например с изотопами водорода (действием, тритием).

Ядра атомов делятся самопроизвольно или при воздействии на них различных элементарных частиц и легких ядер.

Самопроизвольный распад ядер происходит в естественных условиях, при этом интенсивность процесса не поддается управлению и определяется исключительно индивидуальными физическими свойствами самих радионуклидов и не зависит от внешних условий.

В атомных реакторах и ядерных боеприпасах деление ядер атомов (делящихся) веществ осуществляется при помощи *нейтронов*, которые сравнительно легко проникают в ядро, поскольку им не приходится преодолевать электростатические силы отталкивания ядра.

Механизм деления тяжелых ядер под действием нейтронов состоит в следующем (на примере деления  $^{235}_{92}\text{U}$ , рис. 3.5).

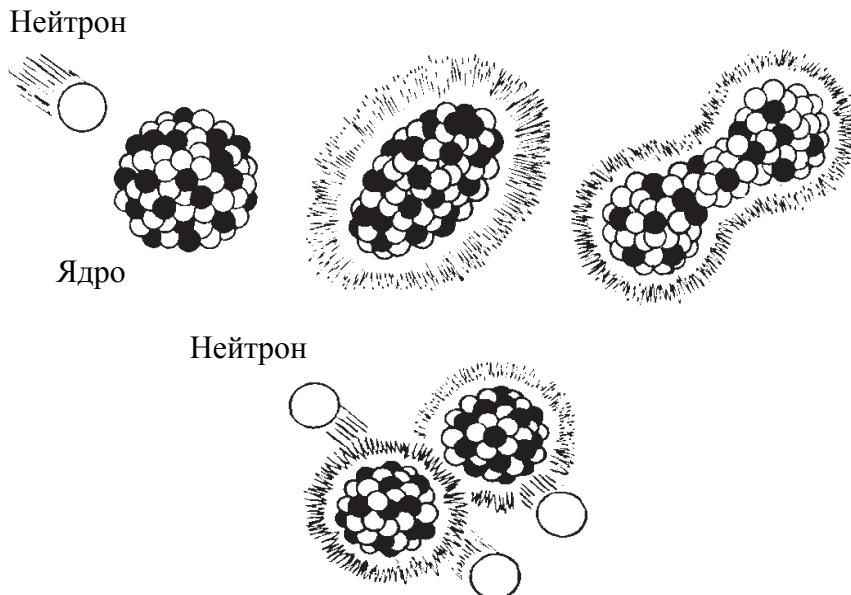


Рис. 3.5. Механизм деления тяжелых ядер

Нейтрон захватывается ядром  $^{235}_{92}\text{U}$ , при этом образуется неустойчивое промежуточное ядро ( $^{236}_{92}\text{U}$ ) вследствие получения ядром дополнительной энергии (возбуждения), равной сумме энергии связи нуклонов в ядре и кинетической энергии захваченного нейтрона  $n$ .

Если энергия возбуждения промежуточного ядра превысит определенный порог, величина которого различна для разных ядер, ядро разделится на части (осколки), т. е. произойдет реакция деления. Если же указанный порог не будет превышен, то деление не произойдет, а выделится элементарная частица или гамма-квант с определенной энергией, а ядро возвратится в основное состояние.

Из всех известных реакций деления тяжелых ядер нейtronами наибольший интерес представляют реакции деления ядер атомов  $^{233}_{92}\text{U}$ ,  $^{235}_{92}\text{U}$  и  $^{239}_{94}\text{Pu}$ . При захвате ядрами этих изотопов нейтронов даже с очень небольшой энергией (медленных нейтронов) происходит деление ядер на два осколка, обладающих большей энергией, чем исходные ядра. Кроме того, в момент деления испускаются 2–3 нейтрона, которые способны разделить 2–3 новых ядра этих же изотопов, в результате чего могут появиться еще 2–3 нейтрона на каждое разделившееся ядро и т. д. (рис. 3.6).

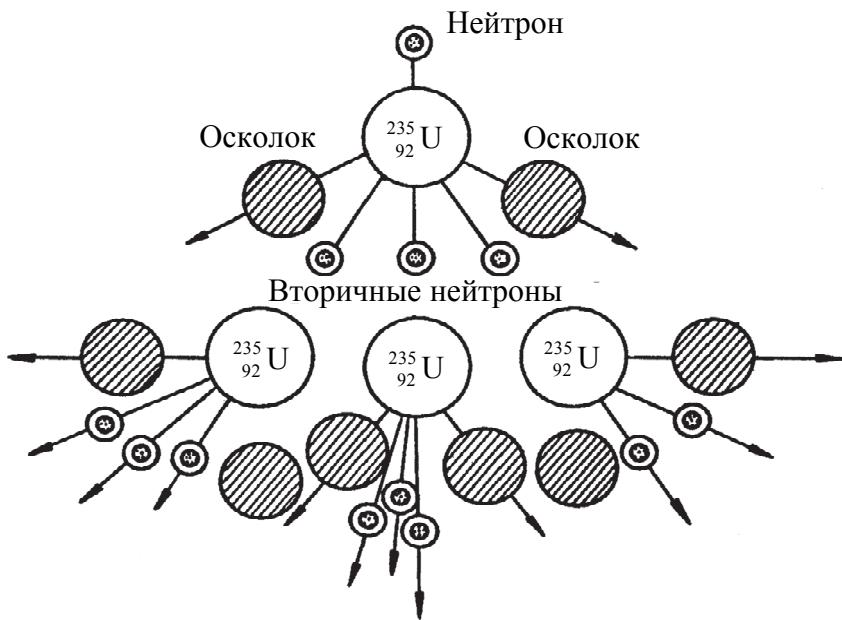


Рис. 3.6. Цепная ядерная реакция деления  $^{235}_{92}\text{U}$

Следовательно, в большой массе этих изотопов создаются условия для возникновения *саморазвивающейся цепной ядерной реакции деления*, при которой число делящихся ядер будет нарастать лавинообразно и в течение весьма малого промежутка времени выделится огромное количество энергии. Так, при делении всех ядер атомов, находящихся в 1 г  $^{235}_{92}\text{U}$ , освобождается такое же количество энергии, как при взрыве тротилового заряда весом 20 т.

В других изотопах урана и плутония саморазвивающаяся цепная реакция деления осуществлена быть не может, так как энергия нейтронов, образующихся при делении ядер атомов этих изотопов, недостаточна для последующих делений. Так, например, для деления ядра  $^{238}_{92}\text{U}$  требуются нейтроны с кинетической энергией не менее 0,9 МэВ.

Вещества, в которых возможно осуществление саморазвивающейся цепной ядерной реакции деления, называют *делящимися веществами* или *ядерным горючим*.

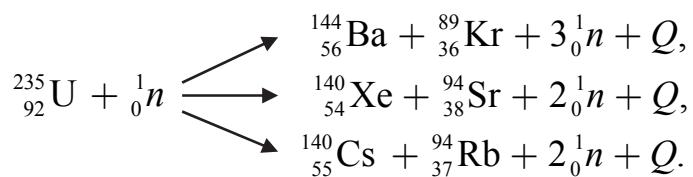
Саморазвивающаяся (цепная) реакция деления на тепловых нейтронах может носить *неуправляемый (взрывной) характер*, при этом она служит источником энергии в ядерных боеприпасах, и *управляемый характер* – служит источником получения тепловой энергии в ядерных реакторах.

Для получения управляемой цепной ядерной реакции, очевидно, необходимо создать такие условия, чтобы каждое ядро, поглотившее нейtron, при делении выделяло в среднем один нейtron, идущий на деление второго тяжелого ядра.

Основное количество энергии ядерных реакций выделяется в виде теплоты. Так, например, температура в области ядерного взрыва достигает 10 млн градусов Цельсия.

В ядерных реакторах используются не чистые изотопы, а их смеси, например природный уран ( $^{238}_{92}\text{U}$ ), обогащенный изотопами  $^{235}_{92}\text{U}$  (до 5%). С помощью специальных поглотителей нейтронов число делений в единицу времени поддерживается на заданном уровне, не приводящем к перегреву и разрушению реактора.

Процесс деления может происходить различными путями. Наиболее вероятным является деление на осколки, массы которых относятся приблизительно как 2 : 3. Реакция деления  $^{235}_{92}\text{U}$ :

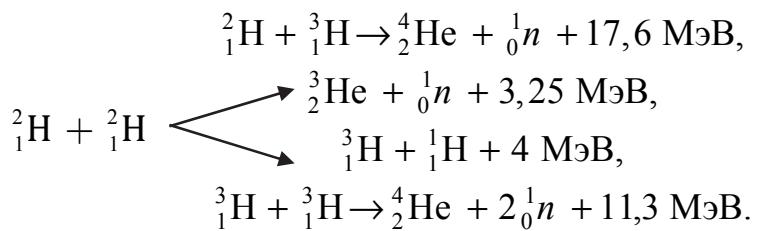


Другим способом получения ядерной энергии является соединение легких ядер (реакция синтеза). Осуществить реакцию синтеза значительно труднее, чем реакцию деления. Это объясняется тем, что соединению ядер препятствует их взаимное электростатическое отталкивание. Соединиться могут только ядра, обладающие большим запасом кинетической энергии. Такие ядра, двигаясь с огромной скоростью, могут сближаться настолько, что между ними начнут действовать ядерные силы взаимного притяжения, которые обусловливают соединение легких ядер, сопровождающееся выделением быстрых нейтронов. Необходимую скорость движения ядра могут приобрести при температуре порядка миллионов градусов. По этой причине реакции синтеза ядер называются ***термоядерными реакциями***.

В природе термоядерные реакции существуют в недрах Солнца и Звезд, где температура достигает десятков миллионов градусов. В земных условиях температура, необходимая для протекания реакции синтеза ядер, пока что достигается только в зоне ядерного взрыва, основанного на делении тяжелых ядер.

Создание высокой температуры с помощью внешнего источника необходимо лишь для начала реакции, а затем она сможет поддерживаться за счет собственной энергии. Если энергетические потери окажутся большими, чем выделяющаяся энергия, то температура понизится и термоядерная реакция прекратится.

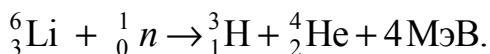
С точки зрения получения энергии представляют интерес следующие реакции:



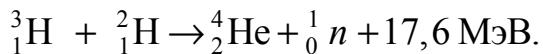
При реакции соединениядейтерия ( $^2_1\text{H}$ ) и трития ( $^3_1\text{H}$ ) обеспечивается максимальное выделение энергии и испускание нейтронов высоких энергий, способных вызвать деление изотопа  $^{238}_{92}\text{U}$ , составляющего в природной смеси урана более 99%.

Оценка энергетического эффекта термоядерной реакции показывает, что при синтезе 1 кг  $^4_2\text{H}$  выделяется в 5 раз больше энергии, чем при делении 1 кг  $^{235}_{92}\text{U}$ .

Если для реакции термоядерного синтеза использовать гидрид лития ( $\text{LiH}$ ), то реакция протекает по схеме



Далее образовавшийся тритий вступает в реакцию сдейтерием и выделяется основное количество энергии:



Применение гидрида лития в качестве термоядерного горючего дает возможность отказаться от непосредственного использования дорогоого радиоактивного трития.

## **Ядерные реакторы на медленных и быстрых нейтронах.**

Ядерные энергетические установки используются на атомных электрических станциях, спутниках Земли, крупном морском транспорте, основным элементом которых является ядерный реактор.

**Ядерным реактором** называется устройство, в котором осуществляется управляемая цепная реакция деления тяжелых ядер, сопровождающаяся выделением энергии. Как уже отмечалось ранее, условием осуществления самоподдерживающейся цепной ядерной реакции является наличие достаточного количества вторичных нейтронов, возникающих в процессе деления тяжелого ядра на более легкие ядра (осколки) и имеющих возможность участвовать в дальнейшем процессе деления тяжелых ядер.

Основными частями ядерного реактора любого типа являются:

1) активная зона, в которой находится ядерное топливо, протекает цепная реакция деления ядер и выделяется энергия;

2) отражатель нейтронов, который окружает активную зону и способствует уменьшению утечки нейтронов из активной зоны путем

их отражения обратно в зону. Материалы отражения должны обладать малой вероятностью захвата нейтронов, но большой вероятностью их упругого рассеивания;

3) *теплоноситель* используется для отвода тепла из активной зоны реактора;

4) *система управления и регулирования цепной реакции*;

5) *система биологической защиты* (радиационной защиты), предохраняющая обслуживающий персонал от вредного действия ионизирующего излучения.

В ядерных реакторах на медленных нейтронах активная зона, кроме ядерного топлива, содержит замедлитель быстрых нейтронов, образующихся при цепной реакции деления атомных ядер. Применяют замедлители (графит), а также органические жидкости и воду, которые одновременно могут служить и теплоносителем. Если замедлителя в активной зоне нет, то основная часть деления ядер происходит под влиянием быстрых нейтронов с энергией больше 10 кэВ. Реактор без замедлителя – реактор на быстрых нейтронах – может стать критическим лишь при использовании природного урана, обогащенного изотопом  $^{238}_{92}\text{U}$  до концентрации около 10%.

В активной зоне реактора на медленных нейтронах расположены тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), содержащие смесь  $^{238}_{92}\text{U}$  и  $^{235}_{92}\text{U}$  и замедлитель, в котором нейтроны замедляются до энергии около 1 эВ. **ТВЭЛ** – главный конструктивный элемент активной зоны гетерогенного ядерного реактора, содержащий ядерное топливо. В ТВЭЛАх происходит деление тяжелых ядер  $^{235}\text{U}$  или  $^{239}\text{Pu}$ , сопровождающееся выделением тепловой энергии.

В целях безопасности надежная герметичность оболочек ТВЭЛОв должна сохраняться в течение всего срока работы активной зоны (3–5 лет) и последующего хранения отработавших ТВЭЛОв до отправки на переработку (1–3 года). При проектировании активной зоны необходимо заранее установить и обосновать допустимые пределы повреждения ТВЭЛОв (количество и степень повреждения). Активная зона проектируется таким образом, чтобы при работе на протяжении всего его расчетного срока службы не превышались установленные пределы повреждения ТВЭЛОв.

Управление цепной реакцией осуществляется специальными управляющими стержнями, изготовленными из материалов, сильно поглощающих нейтроны (например, бор, кадмий). Изменяя количество и глубину погружения управляющих стержней, можно регулировать нейтронные потоки, а следовательно, интенсивность цепной реакции и выработку энергии.

В настоящее время разработано большое количество различных моделей ядерных реакторов, которые различаются по виду ядерного топлива (уран, плутоний), химическому составу ядерного топлива (уран, диоксид урана), виду теплоносителя (вода, тяжелая вода, органические растворители и др.), виду замедлителя (графит, вода, бериллий).

Реакторы, в которых деление ядер производится в основном нейтронами с энергией больше 0,5 МэВ, называются *реакторами на быстрых нейтронах*. Реакторы, в которых большинство делений происходит в результате поглощения ядрами делящихся изотопов промежуточных нейтронов, называются *реакторами на промежуточных (резонансных) нейтронах*.

Наиболее распространены на АЭС *реакторы большой мощности канальные* (РБМК) и *водо-водяные энергетические реакторы* (ВВЭР).

Активная зона РБМК диаметром 11,8 м и высотой 7 м представляет собой цилиндрическую кладку, состоящую из графитовых блоков – замедлитель. В каждом блоке имеется отверстие для технологического канала (всего 1700).

В каждом канале установлено два ТВЭЛа, имеющих форму полых трубок диаметром 13,5 мм и длиной 3,5 м, стенки которых толщиной 0,9 мм выполнены из циркониевого сплава. ТВЭЛы заполнены таблетками из диоксида урана, обогащенного до 2%  $^{235}_{92}\text{U}$ . Они объединены в тепловые сборки. Две сборки на общем опорном стержне образуют топливную кассету. Общая масса топлива в активной зоне РБМК составляет 190 т. В процессе работы реактора ТВЭЛы охлаждаются проходящими по технологическим каналам потоками теплоносителя (вода).

Принципиальная схема реактора РБМК-1000 показана на рис. 3.7.

Для управления цепной ядерной реакцией, происходящей в ТВЭЛах, в специальные каналы вводятся регулирующие и управляющие стержни, выполненные из кадмия или бора, которые хорошо поглощают нейтроны. Стержни свободно перемещаются по специальным каналам. Глубина погружения регулирующего стержня определяет степень поглощения нейтронов. По периферии активной зоны расположен слой отражателя нейтронов – те же графитовые блоки, но без каналов.

Графитовая кладка окружена цилиндрическим стальным баком с водой, который предназначен для биологической защиты от нейтронов и гамма-излучений. Кроме того, реактор размещается в бетонной шахте размером 21,6×21,6×25,5 м.

Таким образом, основными элементами РБМК являются тепловыделяющие элементы, заполненные ядерным топливом, заменитель и отражатель нейтронов, теплоноситель и регулирующие стержни, служащие для управления развитием ядерной реакции деления.

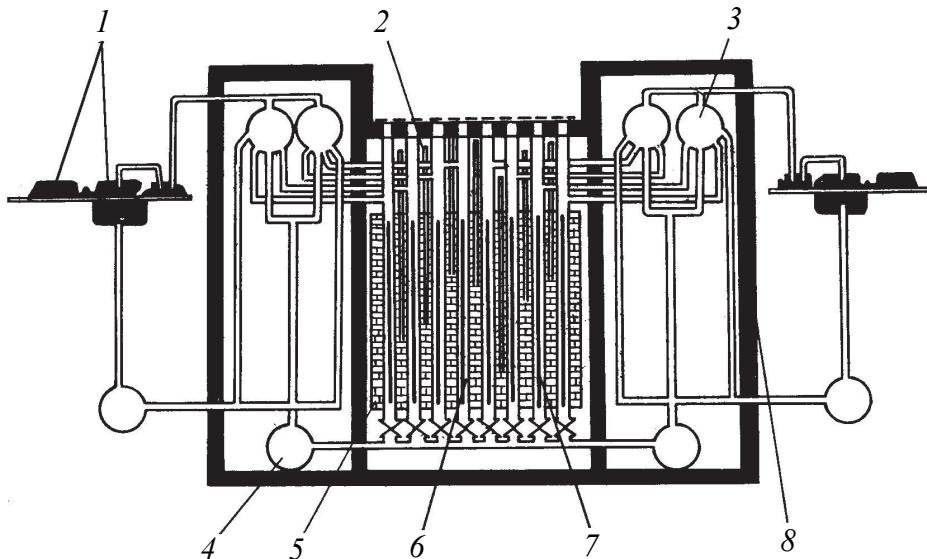


Рис. 3.7. Реактор большой мощности канальный на тепловых нейтронах РБМК-1000:

1 – турбогенератор; 2 – стержни управления; 3 – барабаны-сепараторы;  
4 – конденсаторы; 5 – графитовый замедлитель; 6 – активная зона;  
7 – ТВЭЛы; 8 – защитная оболочка из бетона

Принцип работы АЭС с реактором типа РБМК состоит в следующем. Появляющиеся в результате деления ядер  $^{235}_{92}\text{U}$  вторичные быстрые нейтроны выходят из ТВЭЛОв и попадают в графитовый замедлитель. В результате прохождения по замедлителю они теряют значительную часть своей энергии и уже являясь тепловыми вновь попадают в один из соседних ТВЭЛОв, чтобы участвовать в дальнейшем процессе деления ядер  $^{235}_{92}\text{U}$ . Энергия цепной ядерной реакции выделяется в виде кинетической энергии «осколков» (80%), вторичных нейtronов, альфа-, бета-частиц и гамма-квантов, в результате чего происходит разогрев ТВЭЛОв и графитовой кладки замедлителя. Теплоноситель, в качестве которого используется вода, двигаясь в технологических каналах снизу вверх под давлением около 7 МПа, охлаждает активную зону реактора. В результате происходит нагрев теплоносителя до температуры 285°C на выходе из реактора.

Далее пароводяная смесь транспортируется по трубопроводам в сепаратор, служащий для отделения воды от пара. Отсепарированный насыщенный пар под давлением попадает на лопасти турбины, связанной с генератором электрического тока.

Отработанный пар направляется в технологический конденсатор, конденсируется, смешивается с теплоносителем, поступающим из сепаратора, и под давлением, создаваемым циркуляционным насосом, вновь поступает в технологические каналы активной зоны реактора.

Преимуществом таких реакторов являются возможность замены ТВЭЛОв без остановки реактора и поканального контроля состояния реактора. К недостаткам реакторов РМБК следует отнести низкую стабильность работы на малых уровнях мощности, недостаточное быстродействие системы управления защиты и использование одноконтурной схемы, в которой имеется реальная возможность радиоактивного загрязнения турбогенератора.

Среди реакторов, работающих на тепловых нейтронах, наиболее широкое распространение во многих странах мира получили **водо-водяные энергетические реакторы**.

Реакторы этого типа состоят из следующих основных конструктивных элементов: корпус с крышкой, в котором размещаются ТВЭЛы, собранные в кассеты; органы управления и защиты, тепловой экран, выполняющий одновременно роль отражателя нейронов и биологической защиты (рис. 3.8).

Корпус ВВЭР представляет собой вертикальный толстостенный цилиндр из высокопрочной легированной стали высотой 12–25 м и диаметром 3–8 м (в зависимости от мощности реактора). Сверху корпус реактора герметично закрывается массивной стальной сферической крышкой.

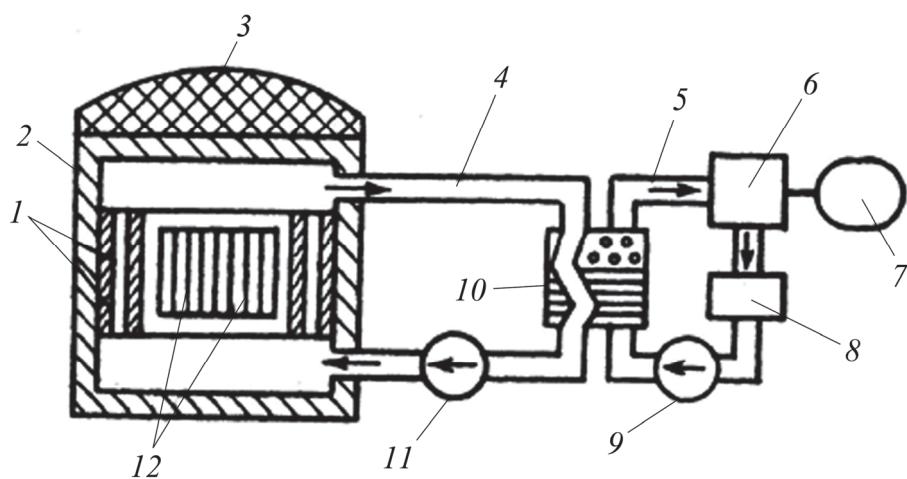


Рис. 3.8. Принципиальная схема АЭС ВВЭР-1000:

1 – тепловой экран; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – трубопроводы первого контура; 5 – трубопроводы второго контура; 6 – паровая турбина; 7 – генератор; 8 – технологический конденсатор; 9, 11 – циркуляционные насосы; 10 – парогенератор; 12 – ТВЭЛы

Содержащие ядерное топливо ТВЭЛы ВВЭР аналогичны по форме ТВЭЛам РБМК, собраны в кассеты. Всего в реактор типа ВВЭР загружается 40 т ядерного топлива и ежегодно заменяется 1/3 выгоревшего.

Между кассетами с ТВЭЛами размещаются регулирующие кассеты из бористой стали, хорошо поглощающие нейтроны.

Корпус реактора установлен в бетонной оболочке, являющейся одним из барьеров радиационной защиты. Принцип работы АЭС с серийным водо-водяным реактором электрической мощностью 440 МВт (ВВЭР-440) состоит в следующем. Теплоотвод от активной зоны ядерного реактора осуществляется по двухконтурной схеме. Теплоноситель (вода) первого контура, имеющий температуру 270°C, по трубопроводу подводится к активной зоне реактора под высоким давлением порядка 12,5 МПа, поддерживаемым циркуляционным насосом. Проходя по активной зоне, теплоноситель нагревается до 300°C (высокое давление в контуре не позволяет воде закипеть) и дальше поступает в парогенератор.

В парогенераторе теплоноситель первого контура отдает свое тепло так называемой питательной воде второго контура, находящейся под более низким давлением (приблизительно 4,4 МПа). Поэтому вода второго контура закипает и превращается в нерадиоактивный пар, который по пароводу подается на паровую турбину, связанную с генератором электрического тока. Отработанный пар охлаждается в технологическом конденсаторе, и под действием питательного насоса конденсат вновь поступает в парогенератор. Двухконтурная схема теплоотвода обеспечивает радиационную безопасность АЭС.

Перспективы развития ядерной энергетики в настоящее время связывают со строительством реакторов на быстрых нейтронах. Также реакторы наряду с выработкой электроэнергии позволяют осуществлять расширенное воспроизводство ядерного топлива, вовлекая в топливный цикл не только делящиеся тепловыми нейtronами  $^{235}_{92}\text{U}$  или  $^{239}_{94}\text{Pu}$ , но и  $^{238}_{92}\text{U}$  и  $^{232}_{90}\text{Th}$  (его содержание в земной коре примерно в 4 раза выше, чем природного урана).

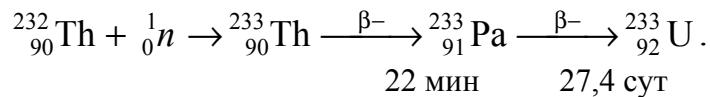
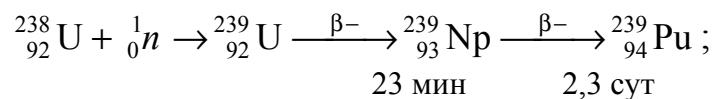
В активной зоне реактора на быстрых нейтронах размещаются ТВЭЛы с высокообогащенным топливом. Активная зона окружается зоной воспроизведения, состоящей из ТВЭЛОв, содержащих топливное сырье (обедненный уран, торий). Вылетающие из активной зоны нейтроны захватываются в зоне воспроизведения ядрами топливного сырья, в результате образуется новое ядерное топливо. Особым достоинством быстрых реакторов является возможность организации в них расширенного воспроизводства ядерного топлива, т. е. одновременно с выработкой энергии можно производить вместо выгоревшего ядерного топлива новое. Для быстрых реакторов не требуется замедлитель, а теплоноситель не должен замедлять нейтроны.

В активной зоне реактора на быстрых нейтронах отсутствует замедлитель, в связи с этим объем активной зоны реактора во много раз меньше, чем в РБМК или ВВЭР, и составляет примерно  $2 \text{ м}^3$ . В качестве ядерного топлива в реакторах используется искусственно полученный  $^{239}_{94}\text{Pu}$  или высокообогащенный (более 20%) уран.

В активной зоне реактора БН-600 размещается 370 топливных сборок, в каждой из которых содержится по 127 ТВЭЛов и 27 стержней системы управления и аварийной защиты.

Активная зона реактора со всех сторон окружена зоной воспроизведения, состоящей из ТВЭЛов с диоксидом урана или  $^{232}_{90}\text{Th}$ . Зона воспроизводства одновременно играет роль отражателя нейронов.

Выделяющиеся в активной зоне в результате деления ядер  $^{235}_{92}\text{U}$  (или  $^{239}_{94}\text{Pu}$ ) быстрые вторичные нейтроны попадают в зону воспроизводства, в которой происходит их радиационный захват ядрами  $^{238}_{92}\text{U}$  (или  $^{232}_{90}\text{Th}$ ). Он сопровождается рядом последующих бета-распадов, протекающих по следующим схемам:



Для отвода тепловой энергии в активной зоне реактора БН-600 используется трехконтурная технологическая схема (рис. 3.9).

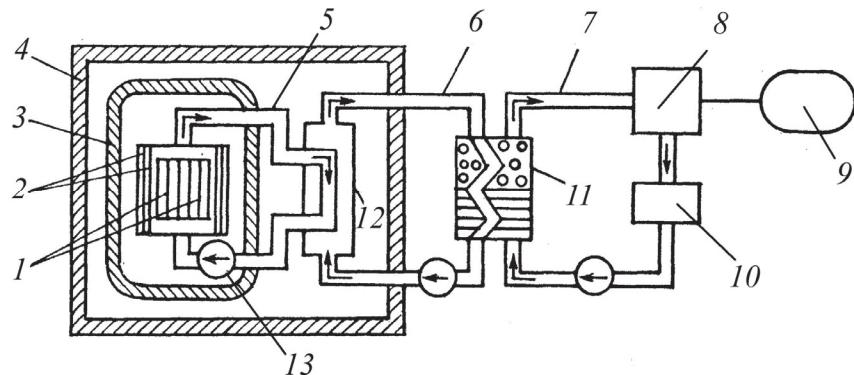


Рис. 3.9. Технологическая схема АЭС  
с реактором на быстрых нейтронах:

1 – ТВЭЛы активной зоны; 2 – ТВЭЛы зоны воспроизводства;

3 – корпус реактора; 4 – бетонный корпус реактора;

5 – теплоноситель первого контура; 6 – теплоноситель второго контура; 7 – теплоноситель третьего контура; 8 – паровая турбина;

9 – генератор; 10 – технологический конденсатор; 11 – парогенератор;

12 – промежуточный теплообменник; 13 – циркуляционный насос

В первом и втором контурах в качестве теплоносителя используется жидкий натрий, температура плавления которого составляет  $98^{\circ}\text{C}$ , он обладает малой поглощающей способностью нейтронов.

Жидкий натрий первого контура на выходе из реактора имеет температуру  $550^{\circ}\text{C}$  и поступает в промежуточный теплообменник. Там он отдает теплоту теплоносителю второго контура, в качестве которого тоже используется жидкий натрий. Теплоноситель второго контура поступает в парогенератор, в котором происходит превращение в пар воды, являющейся теплоносителем третьего циркуляционного контура. Вырабатываемый в парогенераторе пар под давлением 14 МПа поступает в турбину электрогенератора. Отработанный пар после охлаждения в технологическом конденсаторе направляется насосом опять в парогенератор. Таким образом, схему теплоотвода на АЭС с реактором БН-600 составляют один радиоактивный и два нерадиоактивных контура. Время работы генератора БН-600 между перегрузками топлива составляет 150 сут.

При эксплуатации АЭС, кроме проблем, связанных с захоронением высокорадиоактивных отходов ядерного топливного цикла (ЯТЦ), возникают дополнительные проблемы, которые обусловлены сроком службы ядерных реакторов (20–40 лет). После окончания этого срока службы реакторы нужно выводить из эксплуатации, а из активной зоны их необходимо извлекать ядерное топливо, теплоноситель. Сам реактор консервируют или демонтируют. Опыт демонтажа отработанных ядерных реакторов в мире очень небольшой.

На Белорусской АЭС (БелАЭС) установлен реактор поколения «3+» ВВЭР-1200 (водо-водянной энергетический реактор мощностью 1200 МВт).

В реакторе ВВЭР-1200 применяется двухконтурная схема, которая является более сложной и дорогостоящей, но защищает от выхода радиоактивности за пределы активной зоны. Первый контур – теплоноситель, т. е. вода, которая находится в активной зоне, где происходит ядерная реакция. Второй контур ответственен за водяной пар, т. е. процесс преобразования высвобождающейся тепловой энергии в механическую.

*Принцип работы следующий.* Вода первого контура охлаждает реактор и нагревается, а затем отдает тепло воде второго контура, но не соприкасается с ней, что исключает попадание радиации и продуктов распада за пределы активной зоны. В это время вода второго контура превращается в пар, который вращает турбину, запускающую электрогенератор. Вырабатывается электричество. Вода первого контура поступает обратно к тепловыделяющим элементам и далее по кругу.

**Что обеспечивает безопасность БелАЭС?** ВВЭР-1200 является одним из наиболее распространенных типов ядерных энергостановок во всем мире, он соответствует всем международным нормам безопасности и требованиям МАГАТЭ. Это лучший из всех существующих вариантов реакторов на сегодняшний день. Затраты на системы безопасности составляют 40% стоимости создания атомной станции на ВВЭР-1200.

На реакторе БелАЭС есть *четыре физических барьера защиты*, которые даже в чрезвычайных ситуациях исключают любое попадание радиоактивных выбросов за пределы энергоблока

**Первый барьер** на ВВЭР-1200 – прочность таблеток с урановым топливом. После процесса спекания в печи при температуре 1200°C в течение суток таблетки приобретают высокопрочные керамические свойства и не разрушаются под воздействием высоких температур.

Таблетки помещаются в циркониевые трубы – оболочку тепловыделяющего элемента (твэла). В 1 ТВЭЛ помещается более 200 таблеток.

**Второй барьер** – это герметичная оболочка ТВЭЛА как главного элемента активной зоны реактора, в котором содержится ядерное топливо. Оболочка ТВЭЛА выполнена из циркония ядерной чистоты, обладает повышенной коррозийной стойкостью, сохраняет форму при температуре более 1000°C (рис. 3.10).

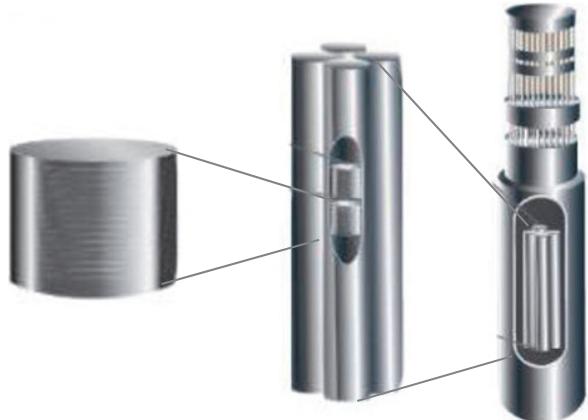


Рис. 3.10 Урановые таблетки в герметичной оболочке

Прочный стальной корпус реактора толщиной 20 см рассчитан на рабочее давление 160 атм. Обеспечивает предотвращение выхода продуктов деления за пределы ядерной энергостановки, – это **третий барьер**.

**Четвертый барьер** системы безопасности – герметичная защитная оболочка самого реакторного зала – контейнмента – состоит из двух частей: внешняя оболочка – 80 см высокопрочного бетона; внутренняя

оболочки – 120-сантиметровая бетонная стенка покрыта 8-миллиметровым стальным листом и усиlena системой тросов, натянутых внутри самой оболочки (увеличивает прочность бетона в 3 раза) (рис. 3.11). Внутри контейнера находится бак с запасом борированной воды, которая может использоваться при возникновении нештатной ситуации для охлаждения реактора.



Рис. 3.11 Контайнмент

Данные меры исключают любое попадание радиоактивных элементов за пределы реакторного зала, т. е. в окружающую среду.

Внешняя защитная оболочка реакторного зала выдержит такие чрезвычайные процессы, как землетрясения до 8 баллов по шкале МСК-64, падение самолета массой до 200 т, воздействие ударной волны 30 кПа и другие внешние факторы.

**Система удаления водорода.** Сам контейнер настолько большой, что риск скопления водорода в нем в концентрации, чреватой взрывом, ничтожно мал. Для снижения концентрации водорода внутри оболочки предусмотрена система удаления водорода, которая представляет собой комплекс каталитического окисления водорода с образованием воды и предназначена для предотвращения возникновения взрывоопасной смеси, способной разрушить контейнер. Эффективность работы системы удаления водорода повышается с ростом температуры.

Атомные станции с реакторами типа ВВЭР-1200 характеризуются повышенным уровнем безопасности – благодаря этому они заслужили

принадлежность к поколению «3+». На таких объектах установлены новые «пассивные системы безопасности», которые способны функционировать без вмешательства операторов даже при полном обесточивании станции.

**Дополнительные барьеры безопасности.** Уникальной особенностью ВВЭР-1200 является наличие *ловушки расплава*. Ловушка расплава представляет собой жаропрочный тигель весом 250 т для защиты шахты реактора в случае расплава активной зоны. Обеспечивает локализацию расплава и предотвращает выход радиоактивных элементов за пределы герметичной оболочки при любых сценариях.

Безопасности объекта не угрожает и его полное обесточивание – установлены система аварийного электроснабжения и резервная дизельная электростанция, которая функционирует автоматически и запускается при соответствующих сигналах.



- 
1. Общие сведения об атоме и атомном ядре. Явление радиоактивности.
  2. Основной закон радиоактивного распада. Активность и единицы ее измерения.
  3. Деление тяжелых ядер и цепная реакция деления.
  4. Какой принцип работы ядерного реактора: его характеристики.
  5. Приведите основные характеристики реакторов ВВЭР-1000 и РБМК-1000. В чем их отличие?
  6. Основные характеристики реакторов на быстрых нейтронах БН-600.
  7. Назовите основные характеристики реактора ВВЭР-1200 (БелАЭС).

## ЛЕКЦИЯ 4

# ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ. ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЙ

- 4.1. Ионизирующие излучения, их характеристики.
- 4.2. Альфа-излучение.
- 4.3. Бета-излучение.
- 4.4. Нейтронное излучение.
- 4.5. Гамма-излучение.
- 4.6. Основные дозиметрические величины и единицы их измерения.  
Связь между дозами.

### 4.1. Ионизирующие излучения, их характеристики

Любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрически заряженных частиц, называется ионизирующими. Излучения отличаются по проникающей и ионизирующей способности. *Ионизирующая способность* излучения обусловлена ионизацией атомов и молекул в результате взаимодействия частиц со средой. *Проникающая способность* – это проникновение ионизирующих излучений в массу вещества на некоторую глубину.

*Ионизирующее излучение* – излучение, которое образуется при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков. Ионизирующее излучение не воспринимается органами чувств: мы его не видим и не слышим, не ощущаем воздействия на наши тела. Ионизирующие излучения разделяют на электромагнитное и корpusкулярное.

К *электромагнитным (фотонным)* относят рентгеновское и гамма-излучения, которые представляют собой поток электромагнитной энергии с разной (преимущественно короткой) длиной волны. Солнце является природным источником ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение поглощается земной атмосферой; если бы этого не происходило, то оно губительно действовало бы на все живое на Земле.

*Корпускулярное ионизирующее излучение* – поток элементарных частиц, образующихся при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, либо генерируемых на ускорителях. К нему относятся бета-частицы (электроны и позитроны), нейтроны, протоны и альфа-частицы (ядра атома гелия) и тяжелые ядра.

К ионизирующему относятся также космические излучения, которые приходят на Землю из космического пространства.

Воздействие ионизирующих излучений на вещества называется *облучением*.

За единицу энергии радиоактивных излучений принят электрон-вольт (эВ). **Электрон-вольт** – это энергия, которую приобретает электрон, проходя в электрическом поле разность потенциалов, равную одному вольту.

Альфа- и бета-частицы, гамма-кванты при распространении в разных средах взаимодействуют с атомами и молекулами вещества, могут передавать последним часть своей энергии и менять направление движения. Атомы и молекулы, получившие избыток энергии, в процессе столкновения переходят в возбужденное состояние. При этом может происходить ионизация атомов или молекул (отрыв электронов), а молекулы могут и диссоциировать на ионы. Для ионизации большинства химических веществ, которые входят в состав биологических объектов, необходима энергия порядка 10 эВ.

Ионизирующая способность излучения определяется *удельной ионизацией*, т. е. числом пар ионов, создаваемых частицей в единице объема, массы среды или на единице длины пути. Энергия, необходимая на образование одной пары ионов, называется *потенциалом ионизации* данного вещества или средней энергией ионообразования.

Например, потенциал ионизации воздуха составляет в среднем 34 эВ. Если энергия излучения, которая передается атому или молекуле, меньше, чем потенциал ионизации вещества, то происходит возбуждение атома без образования ионов.

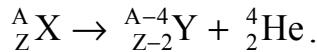
Число пар ионов, которые образованы в среде гамма-квантами или частицей на единице длины своего пути, называется *линейной плотностью ионизации (ЛПИ)*. При каждом акте взаимодействия частица теряет часть своей энергии и затормаживается, ее скорость уменьшается до того момента, пока не станет равной скорости теплового движения.

Проникающая способность излучений определяется величиной пробега. **Пробег** – путь, пройденный частицей в веществе до ее полной остановки, обусловленной тем или иным видом взаимодействия.

## 4.2. Альфа-излучение

**Альфа-излучение** – это поток частиц, являющихся ядрами атома гелия ( ${}_2^4\text{He}$ ) и обладающих двумя единицами заряда. Масса альфа-частицы  $m_\alpha = 6,64 \cdot 10^{-27}$  кг и заряд  $q_\alpha = 3,204 \cdot 10^{-19}$  Кл. Радиоактивное превращение атомного ядра, сопровождающееся вылетом из него альфа-частиц, называется **альфа-распадом**.

Альфа-распад может быть выражен следующим соотношением:



Зарядовое число  $Z$  распадающегося ядра  ${}_{Z}^{A}\text{Z}$  при альфа-распаде уменьшается на две единицы, массовое число  $A$  – на четыре единицы. Примером альфа-распада может служить радиоактивное превращение  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  с испусканием альфа-частиц различных энергий (5,11; 5,14; 5,16 МэВ) и гамма-квантов (0,02; 0,05 МэВ). Гамма-кванты испускаются дочерними ядрами U-235, находящимися в возбужденном состоянии:



Основными источниками альфа-излучения являются естественные радиоактивные изотопы с энергией в пределах от 2 до 8,8 МэВ. При этом все ядра одних радионуклидов испускают альфа-частицы, обладающие одной и той же энергией. Это *моноэнергетические излучатели*, например  ${}_{92}^{234}\text{U}$  (4,5 МэВ),  ${}_{84}^{216}\text{Po}$  (6,78 МэВ). Ядра других элементов испускают альфа-частицы различных энергий. Так, например, при распаде  ${}_{92}^{235}\text{U}$  примерно 10% альфа-частиц имеют энергию 4,58 МэВ, 86% – 4,40 МэВ и 4% – 4,18 МэВ. Энергия гамма-квантов, испускаемых дочерними (возбужденными) ядрами после альфа-распада, обычно не превышает 0,5 МэВ.

Альфа-частицы обладают наиболее высокой ионизирующей способностью и наименьшей проникающей способностью. Их удельная ионизация – *линейная плотность ионизации (ЛПИ)* – изменяется от 25 до 60 тыс. пар ионов на 1 см пути в воздухе. На образование одной пары ионов требуется около 34 эВ. Длина пробега этих частиц в воздухе при нормальных условиях – от 2,5 до 8,6 см; в биологических средах – не превышает 70 мкм.

Длина пробега частиц зависит от энергии. Скорости движения альфа-частиц в воздухе в зависимости от энергии находятся в интервале от 14 000 до 22 500 км/с.

Длина пробега  $R_\alpha$  (см) в воздухе альфа-частиц с энергией от 3 до 8 МэВ может быть вычислена по экспериментальной формуле:

$$R_\alpha = \frac{\sqrt{E_\alpha^3}}{3}. \quad (4.1)$$

Пробег альфа-частиц в веществах, отличающихся от воздуха, находят по формуле Брэгга:

$$R_\alpha = -\frac{\sqrt{A_m \cdot E_\alpha^3}}{\rho}, \quad (4.2)$$

где  $A_m$  – массовое число вещества;  $E_\alpha$  – энергия альфа-частиц, МэВ;  $\rho$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup>.

Взаимодействие альфа-частицы с веществом проявляется во взаимном отталкивании с положительно заряженными ядрами и притяжении с отрицательно заряженными электронами атомов.

Взаимодействие с ядрами не играет существенной роли, так как ядер в веществе значительно меньше, чем электронов. Кинетическая энергия альфа-частиц при их прохождении через вещество затрачивается на возбуждение и ионизацию атомов среды и диссоциацию молекул.

Когда альфа-частица окончательно расходует весь свой запас кинетической энергии, то присоединяет к себе два электрона и превращается в нейтральный атом гелия.

Кожа человека задерживает полностью альфа-частицы. Для исключения ожога кожи при работе с источниками альфа-излучения используют защитные резиновые перчатки.

Альфа-частицы полностью поглощаются одеждой. Однако при попадании альфа-частиц внутрь организма (с воздухом, пищей, водой или через открытую рану) из-за сильной ионизирующей способности они становятся очень опасными и вызывают в местах контакта необратимые повреждения биологической ткани.

Известно около 300 альфа-активных радионуклидов, из них 40 являются природными. Природные альфа-излучатели: изотопы  $^{235}_{92}\text{U}$ ,  $^{238}_{92}\text{U}$ ,  $^{220}_{88}\text{Ra}$ ,  $^{232}_{90}\text{Th}$ ,  $^{218}_{84}\text{Po}$ ,  $^{222}_{86}\text{Ru}$ ,  $^{204}_{82}\text{Rb}$ .

В результате аварии на Чернобыльской АЭС были выброшены искусственные альфа-излучатели: изотопы плутония  $^{238}_{94}\text{Pu}$ ,  $^{239}_{94}\text{Pu}$ ,  $^{240}_{94}\text{Pu}$ ,  $^{241}_{94}\text{Pu}$ .

### 4.3. Бета-излучение

**Бета-частицы** – поток электронов или позитронов, испускаемых ядрами радиоактивных элементов при бета-распаде. Электрон ( $\beta^-$ -частица) имеет массу  $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$  кг и отрицательный заряд  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Позитрон ( $\beta^+$ -частица) – элементарная частица с

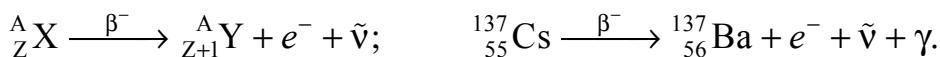
положительным электрическим зарядом, античастица по отношению к электрону. Массы электрона и позитрона равны, а их электрические заряды и магнитные моменты равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку.

Позитрон стабилен, но в веществе существует лишь короткое время (доли секунды) из-за аннигиляции с электронами.

Бета-частицы одного и того же радиоактивного элемента обладают различным запасом энергии. Это объясняется природой бета-радиоактивных ядер, при которых образующаяся энергия распределяется между дочерним ядром, бета-частицей и нейтрино.

Энергетический спектр бета-частиц сложный и непрерывный.

Максимальная энергия лежит в пределах от 0,018 до 13,5 МэВ. Поток бета-частиц называется бета-излучением. В результате *электронного бета-распада* исходное ядро превращается в новое ядро, масса которого остается прежней, а заряд увеличивается на единицу, при этом появляется частица – антинейтрино:

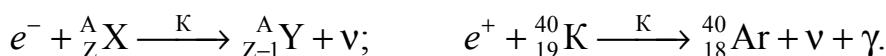


Позитронный бета-распад приводит к образованию ядра с прежней массой и зарядом, уменьшенным на единицу, при этом образуется нейтрино:



Нейтрино от антинейтрино отличаются направлением спина по отношению к импульсу.

Электронный захват, при котором ядро притягивает к себе один из электронов, расположенных на внутренних орбитах атома (чаще К-слоя):



Место захваченного электрона сразу же заполняется электроном с более высокого уровня, при этом испускается рентгеновское излучение. Ядро же такого атома остается неизменным по массе, превращается в новое ядро с зарядом, уменьшенным на единицу.

Часто один и тот же радионуклид подвергается одновременно нескольким типам распада. Например, К-40 претерпевает электронный распад и электронный захват (К-захват).

Таким образом, при всех видах бета-распада массовое число ядра остается без изменения, а зарядовое число изменяется на единицу.

При взаимодействии бета-частиц с веществом происходит ионизация и возбуждение атомов, при этом бета-частицы передают атомам

свою кинетическую энергию и рассеиваются. Потеря бета-частицей энергии при каждом акте взаимодействия с веществом сопровождается уменьшением ее скорости до тепловой скорости движения вещества. Отрицательная бета-частица при этом либо остается в виде свободного электрона, либо присоединяется к нейтральному атому или положительному иону, превращая первый в отрицательный ион, а второй – в нейтральный атом. Положительная бета-частица (позитрон) в конце своего пути, сталкиваясь с электроном, соединяется с ним и аннигилирует.

Многократные изменения направления бета-частицы при ее взаимодействии с веществом приводят к тому, что глубина проникновения ее в вещество – длина пробега – оказывается значительно меньше истиной длины пути бета-частицы в веществе, а ионизация носит объемный характер.

Средняя величина ЛПИ в воздухе зависит от энергии бета-частиц и составляет 100–300 пар ионов на 1 см пути, а максимальный пробег в воздухе достигает нескольких метров, в биологической ткани – сантиметры, в металлах – десятки микрометров. Скорость движения бета-частиц в воздухе близка к скорости света (250 000–270 000 км/с).

Для защиты от бета-излучения используются стекло, алюминий, плексиглас, полимеры – материалы, состоящие из элементов с малым порядковым номером.

Толщина слоя вещества, в котором происходит полное поглощение бета-частиц, соответствует максимальной длине пробега – длине пробега бета-частиц, имеющих наибольшую энергию в данном спектре, может быть определена по формуле

$$R_{\max} = (0,546 \cdot E_{\max} - 0,16) / \rho, \quad (4.3)$$

где  $R_{\max}$  – максимальная длина пробега (толщина слоя), см;  $E_{\max}$  – максимальная энергия бета-частиц в спектре, МэВ;  $\rho$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup>.

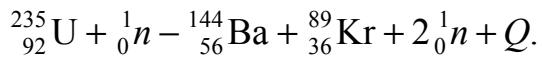
Потеря энергии бета-частицами и рассеяние их в веществе приводят к постепенному ослаблению потока бета-частиц, которое выражается экспоненциальной зависимостью:

$$N = N_0 \cdot e^{\mu_{\text{л}} R}, \quad (4.4)$$

где  $N$  – число бета-частиц, прошедших слой вещества толщиной  $R$  в единицу времени;  $N_0$  – начальное число бета-частиц, падающих в единицу времени на поглощающий слой;  $\mu_{\text{л}}$  – линейный коэффициент поглощения, см<sup>-1</sup>;  $R$  – толщина поглощающего слоя, см.

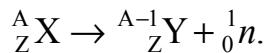
## 4.4. Нейтронное излучение

Свободные нейтроны образуются в процессе спонтанного деления ядра, под которым понимается его расщепление, т. е. распад на два осколка, сумма масс которых примерно равна массе исходного ядра. В процессе деления ядер нейтроны имеют энергию около 2 МэВ:



**Нейtron ( $n$ )** – элементарная, электрически нейтральная частица с массой  $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27}$  кг. Нейtron в свободном состоянии нестабилен и превращается в протон с испусканием электрона и антинейтрино:  ${}^1_0n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ ; время жизни нейтронов составляет около 16 мин.

Около 1% нейтронов испускаются возбужденными осколками исходного ядра:



Процесс деления ядра составляет от долей до десятков секунд. Нейтроны, испускаемые спустя по времени порядка секунды после акта деления, называются *запаздывающими*. Их энергия около 0,5 МэВ.

Нейтроны, взаимодействуя с веществом, либо рассеиваются, либо захватываются ядрами атомов вещества. Различают *рассеяние упругое* и *неупругое* и *радиационный захват* с испусканием заряженных частиц.

При *упругом* рассеянии нейтрон, столкнувшись с ядром атома, передает ему часть кинетической энергии и отскакивает от него, изменив направление своего движения, с меньшей энергией. Переданная нейтроном ядру энергия превращается в кинетическую энергию ядра и называется *ядром отдачи* (рис. 4.1). Ядра отдачи могут взаимодействовать с веществом как заряженные частицы, производя ионизацию.

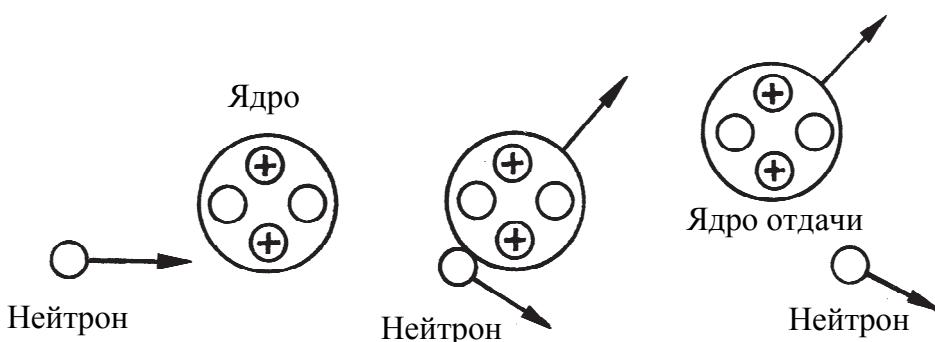


Рис. 4.1. Упругое столкновение нейтрона с ядром

Наибольшую энергию нейтрон теряет при взаимодействии с ядрами, равными или близкими ему по массе. Так как при этом происходит

замедление нейтронов, то особенно эффективными замедлителями являются легкие элементы (водород, бериллий, графит). Вероятность упругого рассеяния растет с уменьшением энергии нейтрона и заряда ядра.

*Неупругим рассеянием* называется такое взаимодействие нейтрона с ядром, при котором нейtron проникает в него, выбивая из него один из нейтронов меньшей энергии и другого направления, чем первоначальный, и переводит ядро в возбужденное состояние, из которого оно очень быстро переходит в основное состояние с испусканием гамма-кванта (рис. 4.2).

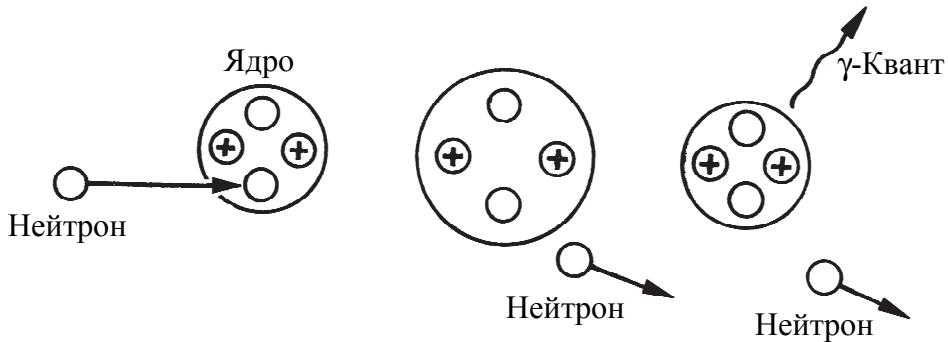


Рис. 4.2. Неупругое столкновение нейтрона с ядром

Неупругое рассеяние характерно для взаимодействия нейтронов достаточно больших энергий с ядрами тяжелых элементов.

Явление, при котором нейtron, проникая в ядро, образует более тяжелый изотоп взаимодействующего с ним ядра, называется **захватом нейтронов**.

Ядро, захватившее нейtron, переходит в возбужденное состояние и, возвращаясь в основное состояние, испускает один или несколько гамма-квантов с энергией порядка мегаэлектронвольт или заряженные частицы (рис. 4.3).

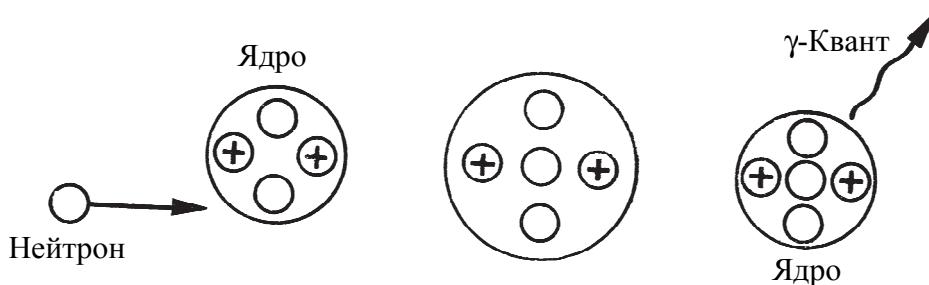


Рис. 4.3. Захват нейтрона ядром

Захват нейтронов ядрами становится возможен благодаря тому, что не имея заряда, нейtron способен приблизиться к нему на такие небольшие расстояния, на которых сказываются ядерные силы притяжения.

Вероятность захвата возрастает для нейтронов малых энергий вследствие большего времени нахождения нейтрона вблизи ядра.

Основной качественной характеристикой нейтронного излучения является *энергетический спектр* – распределение нейтронов по энергиям. При этом различают следующие энергетические спектры нейтронов: *медленные* с энергией до 0,5 эВ, *промежуточные* – с энергией от 0,5 эВ до 200 кэВ, *быстрые* – с энергией от 200 кэВ до 20 МэВ и *сверхбыстрые* – с энергией выше 20 МэВ.

Нейтронное излучение является косвенно ионизирующим. Это объясняется тем, что нейтроны практически не взаимодействуют с электронными оболочками атомов и непосредственно не ионизируют атомы. Нейтроны движутся в веществе без потери энергии, пока не встретятся с ядрами.

Проникающая способность нейтронов в воздухе составляет сотни метров и сравнима с проникающей способностью гамма-излучений или даже больше ее. В воздухе нейtron проходит около 300 м между двумя последовательными столкновениями, а в более плотных жидких и твердых веществах – около 1 см.

## 4.5. Гамма-излучение

*Гамма-излучение* – коротковолновое электромагнитное излучение, испускаемое возбужденными атомными ядрами. Гамма-излучение наблюдается при радиоактивном распаде атомных ядер и ядерных реакциях. Гамма-излучение лишь сопровождает некоторые радиоактивные превращения, в которых ядра образуются в возбужденных состояниях. Возбужденные ядра в течение  $10^{-12}$  с переходят в основное состояние, испуская избыток энергии в виде гамма-кванта, когда ядро последовательно испускает ряд гамма-квантов, переходя при этом в менее возбужденное состояние, пока не станет стабильным. Это явление получило название *каскадного излучения*.

Гамма-кванты не обладают ни зарядом, ни массой покоя. Их испускание не приводит к образованию ядер новых элементов. Возбужденное и стабильное ядро одного элемента отличается только энергией, т. е. при гамма-переходах изменение заряда  $Z$  и массового числа  $A$  не происходит. Излучение гамма-кванта является процессом, самопроизвольно происходящим в ядрах и характеризующим свойства ядер.

Если значком \* обозначить возбужденное состояние ядра, то процесс излучения гамма-кванта  $\hbar\nu$  можно записать так:



где  $h$  – постоянная Планка ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с);  $v$  – частота электромагнитных волн.

При радиоактивном распаде ядер обычно наблюдаются гамма-кванты с энергией от 10 кэВ до 5 МэВ. При ядерных реакциях встречаются гамма-кванты с энергиями до 20 МэВ. В современных ускорителях получают гамма-кванты с энергией до 20 ГэВ.

Гамма-излучение образуется непосредственно в процессе деления ядер  ${}_{92}^{235}\text{U}$  или  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  и их осколков деления, испускающих гамма-квант при переходе из возбужденного состояния в основное.

Среди процессов взаимодействия гамма-квантов с веществом наибольшую вероятность имеют фотоэффект, комптоновское рассеяние (Комpton-эффект) и образование пары электрон – позитрон.

Процесс взаимодействия гамма-кванта с веществом, при котором гамма-квант полностью поглощается атомом вещества и выбывает из атома электрон, называется **фотоэлектрическим эффектом** (фотоэффектом). Фотоэффект чаще происходит при малых значениях энергии гамма-квантов и резко уменьшается с ее увеличением (рис. 4.4).

При энергии гамма-квантов от 0,2 до 1 МэВ наиболее вероятным становится процесс взаимодействия гамма-кванта с одним из внешних электронов. При этом гамма-квант передает электрону часть своей энергии, которая переходит в кинетическую энергию электрона ( $E_e$ ) и расходуется вторичным электроном на ионизацию атомов вещества. Соответственно, уменьшается энергия гамма-кванта ( $E_\gamma$ ) и изменяется направление его движения. Такой процесс получил название **Комpton-эффекта** (неупругое рассеяние) (рис. 4.5).

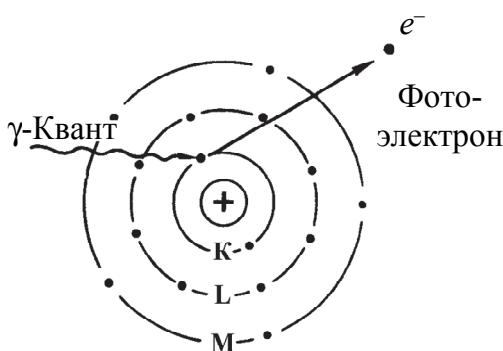


Рис. 4.4. Фотоэффект

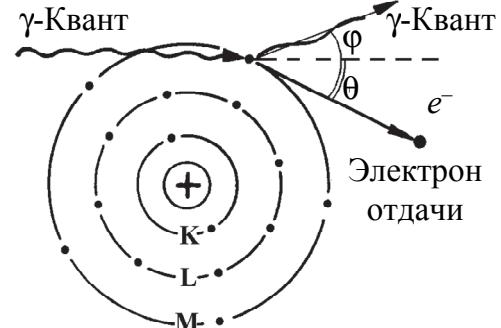


Рис. 4.5. Комpton-эффект

При взаимодействии гамма-квантов с электромагнитным полем ядра он может прекратить свое существование как гамма-квант и превратиться в две частицы: электрон и позитрон. Такой процесс взаимодействия

гамма-квантов с веществом называется ***образованием пары электрон – позитрон***. Данное взаимодействие возможно, если гамма-квант имеет энергию, равную или большую 1,02 МэВ. Это объясняется тем, что энергия покоя электрона и позитрона соответственно равна 0,51 МэВ, и на их образование расходуется 1,02 МэВ.

Возникающие при образовании пары электрон и позитрон расходуют свою кинетическую энергию на ионизацию среды, после чего позитрон аннигилирует, соединяясь с одним из имеющихся в среде свободных электронов (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Образование электронно-позитронной пары

В отличие от альфа- и бета-частиц, гамма-кванты во всех случаях, взаимодействуя с веществом, вызывают появление в нем свободных вторичных электронов и позитронов, которые производят ионизацию.

Для гамма-излучения характерна очень низкая вероятность взаимодействия с веществом. Это означает, что фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование электронно-позитронных пар при прохождении гамма-излучения через вещество проходят достаточно редко. Ионизирующая способность гамма-квантов при одинаковой энергии гамма-квантов и заряженных частиц и при одинаковой взаимодействующей среде в тысячи раз меньше, чем ионизирующая способность заряженных частиц.

В воздухе линейная плотность ионизации (ЛПИ) гамма-квантов составляет 2–3 пары ионов на 1 см пути. Проникающая способность гамма-квантов в воздухе – сотни метров.

Ослабление (поглощение) интенсивности гамма-излучения в веществе определяется по закону Бугера:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}, \quad (4.5)$$

где  $I$  – интенсивность гамма-излучения на глубине  $x$  в веществе;  $I_0$  – интенсивность гамма-излучения при входе в вещество;  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления ( $\text{м}^{-1}$ ).

Коэффициент  $\mu$  состоит из коэффициентов поглощения при фото-эффекте  $\mu_\phi$ , ослабления при Комpton-эффекте  $\mu_k$  и поглощения при образовании электронно-позитронных пар  $\mu_{\text{пар}}$ :

$$\mu = \mu_\phi + \mu_k + \mu_{\text{пар}}. \quad (4.6)$$

Коэффициент  $\mu$  зависит не только от энергии гамма-квантов, но и от плотности и среднего атомного номера вещества среды. Поэтому поглощение гамма-квантов веществом удобнее выражать через массовый коэффициент ослабления  $\mu_m = \mu / \rho$  (см<sup>2</sup>/г или м<sup>2</sup>/кг). Получим

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot \rho \cdot x}. \quad (4.7)$$

В ядерной физике толщину поглотителя измеряют в единицах массы и вместо  $x$  необходимо брать величину  $d = \rho x$  (г/см<sup>2</sup> или кг/м<sup>2</sup>). Тогда для *массовых величин* закон Бугера будет иметь вид

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot d}.$$

## **4.6. Основные дозиметрические величины и единицы их измерения. Связь между дозами**

Действие ионизирующих излучений на вещество проявляется в ионизации и возбуждении атомов и молекул. Количественной мерой воздействия излучений на вещество является доза излучения. *Доза излучения* – это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенного единицей массы облучаемой среды. Различают поглощенную, экспозиционную, эквивалентную и эффективную дозы излучения.

**4.6.1. Поглощенная доза излучения.** *Поглощенной дозой излучения* ( $D$ ) называется количество энергии любого вида ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы любого вещества:

$$D = \frac{dE}{dm}, \quad (4.8)$$

где  $dE$  – поглощенная энергия излучения;  $dm$  – масса облучаемого вещества.

Такая величина позволяет дать количественную оценку действия разных видов излучения в различных средах. Она не зависит от объема и массы облучаемого вещества и определяется главным образом ионизирующей способностью и энергией излучений, свойствами поглощающего вещества и продолжительностью облучения.

При определении дозы в биологическом объекте нужно учитывать внешнее и внутреннее облучение, так как радиоактивные вещества могут попасть в организм с пищей, водой и вдыхаемым воздухом. В этом случае облучение внутренних органов происходит не только гамма-, но также альфа- и бета-излучением.

Поглощенная доза является количественной мерой воздействия ионизирующего излучения на вещество. За единицу измерения данной дозы принят грэй (Гр) – поглощенная доза излучения, соответствующая энергии 1 джоуль ионизирующего излучения любого вида, переданной облученному веществу массой 1 килограмм:  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ .

На практике применяется внесистемная единица поглощенной дозы – рад (Rad – по первым буквам английского словосочетания *radiation absorbent dose*).

Доза в 1 рад означает, что в каждом грамме вещества, подвергшегося облучению, поглощено 100 эрг энергии:

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} (1 \text{ эрг} = 10 \text{ Дж}).$$

Поглощенная доза излучения зависит от свойств излучения и поглащающей среды. Для заряженных частиц (альфа-, бета-частиц, протонов) небольших энергий, быстрых нейтронов и некоторых других излучений, когда основными процессами их взаимодействия с веществом выступают непосредственная ионизация и возбуждение.

Это связано с тем, что между параметрами, характеризующими ионизирующую способность излучения в среде, и поглощенной дозой можно установить адекватные прямые зависимости.

Для рентгеновского и гамма-излучений таких зависимостей не наблюдается, так как эти виды излучений косвенно ионизирующие. Следовательно, поглощенная доза не может служить характеристикой данных излучений по их воздействию на среду.

**4.6.2. Экспозиционная доза излучения.** Такая доза используется для характеристики рентгеновского и гамма-излучений по эффекту ионизации. Экспозиционная доза выражает энергию фотонного излучения, преобразованную в кинетическую энергию вторичных электронов, производящих ионизацию в единице массы атмосферного воздуха.

**Экспозиционной дозой** ( $X$ ) называется количественная характеристика излучений, основанная на их ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе и выраженная отношением суммарного электрического заряда ионов одного знака, образованных излучением, поглощенным в некоторой массе воздуха, к этой массе:

$$X = \frac{dQ}{dm}, \quad (4.9)$$

где  $dQ$  – количество зарядов, образованных гамма-излучением в воздухе массой  $dm$ .

За единицу экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений принят *кулон на килограмм* (Кл/кг).

Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р). **Рентген** – экспозиционная доза фотонного излучения, при которой в 1 см<sup>3</sup> воздуха при нормальных условиях ( $t = 0^\circ\text{C}$  и давление 101 кПа) образуется  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов, заряд которых каждого знака равен  $3,34 \cdot 10^{-10}$  Кл.

Поскольку масса 1 см<sup>3</sup> воздуха весит  $1,293 \cdot 10^{-6}$  кг, то

$$1 \text{ Р} = 3,34 \cdot 10^{-10} / 1,293 \cdot 10^{-6} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг};$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р.}$$

Помимо рентгена, используются производные от него единицы: миллирентген (1 мР =  $10^{-3}$  Р) и микрорентген (1 мкР =  $10^{-6}$  Р).

Соотношение между экспозиционной дозой и поглощенной дозой, выраженной для воздуха, имеет следующий вид:

$$D = 0,877 \cdot X;$$

$$1 \text{ Р} = 0,877 \text{ рад};$$

$$1 \text{ рад} = 1,14 \text{ Р};$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 34 \text{ Гр.}$$

Для других веществ коэффициент пропорциональности между  $D$  и  $X$  будет иным. Он зависит от плотности и атомных номеров элементов, входящих в состав этих веществ.

Для биологических тканей соотношение между поглощенной и экспозиционной дозой составляет

$$1 \text{ Р} = 0,965 \text{ рад};$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 37,2 \text{ Гр.}$$

Поглощенная доза в любом веществе, в том числе и в биологической ткани, может быть определена по формуле

$$D = 0,877 \frac{(\mu_{\text{л}} / \rho)_{\text{вещ}}}{(\mu_{\text{л}} / \rho)_{\text{воды}}} X, \quad (4.10)$$

где  $\mu_{\text{л}}$  – линейные коэффициенты поглощения гамма-излучений в веществе и воздухе соответственно;  $\rho$  – плотность вещества и воздуха соответственно;  $X$  – экспозиционная доза излучения в воздухе.

**4.6.3. Эквивалентная доза излучения.** Эквивалентная доза излучения ( $H$ ) служит для характеристики биологического действия различных видов ионизирующих излучений. Альфа-, бета- и гамма-излучения даже при одинаковой поглощенной дозе ( $D$ ) оказывают разное поражающее действие из-за различной ионизирующей способности.

Различие в величине радиационного воздействия можно учесть, приписав каждому виду излучений свой  $W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения (коэффициент качества), который характеризует степень разрушительного действия на биологический объект и показывает, во сколько раз данный вид излучения по биологической эффективности больше, чем рентгеновское излучение при одинаковой поглощенной дозе.

Рентгеновское и гамма-излучение вызывают ионизацию посредством вторичных электронов такую же ЛПИ, что и бета-излучения, поэтому коэффициент качества для них принят равным 1, для нейтронов, протонов и альфа-частиц коэффициенты приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Значения  $W_R$  – взвешивающего коэффициент излучения  
(коэффициента качества) для различных излучений  
и разных интервалов энергий их частиц**

Вид излучения	Коэффициент качества
Гамма-, рентгеновское и бета-излучение	1
Нейтроны с энергиями до 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 20 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра отдачи	20

Считается, что поглощенная доза от альфа-излучения производит такое же разрушительное действие в теле человека, как и в 20 раз большая доза гамма-квантов или электронов, т. е. альфа-излучение в 20 раз опаснее, чем бета- и гамма-излучения.

Для определения степени поражающего действия ионизирующих излучений на человека с учетом взвешивающего коэффициента (коэффициента качества) используется эквивалентная доза  $H$ :

$$H = W_R \cdot D, \quad (4.11)$$

где  $W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения (коэффициент качества);  $D$  – поглощенная доза в органе или ткани.

В качестве системной единицы эквивалентной дозы используется зиверт (Зв). *Зиверт* – единица эквивалентной дозы в биологической ткани, которая создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр рентгеновского или гамма-излучения.

Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (биологический эквивалент рада):

$$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}; 1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}.$$

**Бэр** – доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и доза рентгеновских или гамма-лучей в 1 рад. Эквивалентная доза рассчитывается для средней ткани человеческого тела.

**4.6.4. Эффективная доза.** Органы и биологические ткани имеют разную радиочувствительность. В первую очередь поражаются красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, молочная железа, половые железы. Учет радиочувствительности производят с помощью взвешивающих коэффициентов для тканей и органов.

**Взвешивающий коэффициент ткани**  $W_t$  – взвешивающий коэффициент или коэффициент радиационного риска – это риск облучения какого-то органа или ткани в сравнении с риском облучения всего тела. Если для всего организма в целом  $W_t = 1$ , то каждый орган или ткань имеют свой взвешивающий коэффициент (табл. 4.2).

Таблица 4.2

**Значения взвешивающего коэффициента  $W_t$   
(коэффициента радиационного риска) при равномерном  
облучении всего тела**

Орган или ткань	$W_t$
1. Красный костный мозг	0,12
2. Толстый кишечник	0,12
3. Легкие	0,12
4. Желудок	0,12
5. Молочная железа	0,12
6. Остальные ткани*	0,12
7. Половые железы (гонады)	0,08
8. Мочевой пузырь	0,04
9. Пищевод	0,04
10. Печень	0,04
11. Щитовидная железа	0,04
12. Костная поверхность	0,01

Окончание табл. 4.2

Орган или ткань	$W_t$
13. Кожа	0,01
14. Головной мозг	0,01
15. Слюнные железы	0,05
<b>Всего</b>	<b>1,00</b>

\*Остальные ткани: надпочечники, ткани экстраторакального отдела, желчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечная ткань, слизистая полости рта, поджелудочная железа, тонкий кишечник, селезенка, тимус, предстательная железа (мужчины), матка/шейка матки (женщины).

Умножив эквивалентную дозу на соответствующие взвешивающие коэффициенты (коэффициенты радиационного риска) и просуммировав по всему организму, органу или группе органов, получим **эффективную дозу**, отражающую суммарный эффект облучения:

$$E = \sum_{i=1}^n W_t \cdot H_i, \quad (4.12)$$

где  $W_t$  – взвешивающий коэффициент для органа или ткани;  $H$  – эквивалентная доза излучения, поглощенная этим органом, Зв.

В качестве системной единицы эффективной, как и эквивалентной, дозы используется зиверт (Зв).

Внесистемная единица – бэр.

Для оценки последствий облучения человека в радиационной безопасности используется **эффективная годовая доза**, которая учитывает общее (суммарное) облучение за календарный год и включает дозу внешнего облучения и дозу внутреннего облучения радионуклидами, поступившими в организм человека за этот же календарный год. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, будем иметь **коллективную эффективную дозу**, которая измеряется в человеко-зивертах. Зная величину коллективной дозы, можно оценить масштаб радиационного поражения. И этот показатель позволяет прогнозировать риск заболеваний в такой группе людей.

**4.6.5. Мощность дозы и единица ее измерения.** Доза излучения, отнесенная к единице времени, называется **мощностью дозы** или **уровнем радиации**. Отношение экспозиционной дозы ко времени есть мощность экспозиционной дозы  $\dot{X}$ :

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}. \quad (4.13)$$

Отношение поглощенной дозы излучения ко времени есть мощность поглощенной дозы  $\dot{D}$ :

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}. \quad (4.14)$$

Мощность дозы есть количество энергии ионизирующих излучений, поглощаемое в единице массы (объема) за единицу времени. На практике используется внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген в секунду (Р/с) и миллирентген в час (мР/ч).

$$1 \text{ Р/ч} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Р/с}; \quad 1 \text{ мР/ч} = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ Р/с}.$$

Между единицами *рентген в час* и *кулон в секунду* имеет место следующее соотношение:

$$1 \text{ Р/ч} = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/кг·с}.$$

Единицей измерения мощности поглощенной дозы излучения является *джоуль в секунду на килограмм* (Дж/кг·с) и (внесистемная) *рад в секунду* (рад/с).

Измерение мощности доз позволяет определять время, в течение которого создаются дозы, не вызывающие опасного биологического эффекта в организме, или наоборот, могущие вызвать его поражение, а также границы пространства, в пределах которого создаваемые в течение некоторого времени дозы могут оказаться опасными.



1. Перечислите основные характеристики ионизирующего излучения.
2. Какой механизм взаимодействия  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц с веществом?
3. Что такое ионизационные и радиационные потери энергии частиц?
4. Что называют линейной плотностью ионизации, каковы ее значения для альфа-, бета- и гамма-излучений?
5. Приведите характеристики основных процессов взаимодействия фотонов с веществом.
6. На какие группы делятся нейтроны в зависимости от их энергии?
7. Что такое доза излучения?
8. Дайте определение экспозиционной, поглощенной, эквивалентной и эффективной дозам излучения. Что такое мощность дозы?

## ЛЕКЦИЯ 5

# ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ВЫБРОСАМИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

- 5.1. Характеристика сильнодействующих ядовитых веществ или аварийно химически опасных веществ.
- 5.2. Характер возможных химически опасных аварий.
- 5.3. Прогнозирование масштабов и последствий химически опасных аварий.
- 5.4. Ликвидация последствий аварий на химически опасных объектах.

### 5.1. Характеристика сильнодействующих ядовитых веществ или аварийно химически опасных веществ

Бурное развитие химической промышленности в мире сопровождается увеличением масштабов производства и накоплением больших запасов СДЯВ для технологических целей. Среди химических веществ есть такие, которые при авариях на химически опасных объектах (ХОО) представляют опасность для жизни и здоровья людей, – это группа СДЯВ или АХОВ.

**СДЯВ или АХОВ** – это опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выливе или выбросе которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах).

Характер действия СДЯВ (АХОВ) определяется степенью его физиологической активности – **токсичностью**. В дальнейшем будем использовать термин АХОВ. Для характеристики токсичности различных АХОВ применяют категории токсических доз, учитывающих их путь проникновения в организм. Под **токсической дозой** понимается количество вещества, вызывающее определенный токсический эффект.

По степени токсичности при ингаляционном и пероральном путях поступления в организм АХОВ делятся на 6 групп.

- 1. Чрезвычайно токсичные ( $LC_{50} < 1$  мг/л).
- 2. Высокотоксичные ( $LC_{50} = 1-5$  мг/л).

3. Сильнотоксичные ( $LC_{50} = 6\text{--}20$  мг/л).
4. Умеренно токсичные ( $LC_{50} = 21\text{--}80$  мг/л).
5. Малотоксичные ( $LC_{50} = 81\text{--}160$  мг/л).
6. Нетоксичные ( $LC_{50} > 160$  мг/л).

$LC_{50}$  – средняя смертельная концентрация, вызывающая смертельный исход у 50% пораженных.

Большой разброс концентраций АХОВ объясняется индивидуальной чувствительностью людей к ним.

К объектам, производящим, использующим и хранящим АХОВ, относятся предприятия химической, нефтеперерабатывающей промышленности; предприятия, имеющие холодильные установки, в которых в качестве хладагента используется аммиак; водопроводные и очистные сооружения, на которых применяют хлор; железнодорожные станции, имеющие пути отстоя подвижного состава с АХОВ; склады и базы с запасами ядохимикатов.

**Химически опасный объект** – это объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасное химическое вещество, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель либо химическое заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое заражение окружающей природной среды.

АХОВ делятся на вещества *общеядовитого и удушающего действия*. Проникая в организм человека через органы дыхания, кожные покровы и слизистые оболочки глаз, раны и желудочно-кишечный тракт, они вызывают различные отравления.

Рассмотрим физико-химические и токсические свойства некоторых АХОВ.

**Аммиак ( $NH_3$ )** – это бесцветный газ с характерным удущивым резким запахом. Относится к сильнотоксичным химическим веществам. При обычном давлении температура кипения  $-33,4^\circ\text{C}$ . Плотность газообразного аммиака при нормальных условиях составляет  $0,68 \text{ кг}/\text{м}^3$ , т. е. он легче воздуха. Горюч, взрывоопасен в смеси с воздухом (образует взрывоопасные смеси в пределах 15–28 об. % аммиака). Растворимость его в воде больше, чем всех других газов: один объем воды поглощает при  $20^\circ\text{C}$  около 700 объемов аммиака.

Общие запасы АХОВ в Беларуси составляют около 26 000 т.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе населенных пунктов: среднесуточная –  $0,04 \text{ мг}/\text{м}^3$  и максимальная разовая –  $0,2 \text{ мг}/\text{м}^3$ , в воздухе рабочей зоны производственных помещений –  $20 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Порог ощущения обонянием –  $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ . При концентрациях  $40\text{--}80 \text{ мг}/\text{м}^3$  происходит резкое раздражение глаз, верхних дыхательных путей, вплоть до

рефлекторной задержки дыхания, появляется головная боль. Концентрации 1500–2700 мг/м<sup>3</sup> при экспозиции 0,5–1 ч считаются смертельными.

Аммиак применяется при изготовлении синильной и азотной кислот, азотсодержащих солей, соды, удобрений, а также при крашении тканей и серебрении зеркал. Жидкий аммиак используется в качестве рабочего вещества холодильных машин, транспортируется и хранится в сжиженном состоянии под давлением собственных паров 600–1800 кПа, а также может храниться в изотермических резервуарах при давлении, близком к атмосферному. Емкости могут взрываться при нагревании.

Аммиак относится к АХОВ удушающего и нейротропного действия. Вызывает поражение дыхательных путей. Пары сильно раздражают слизистые оболочки и кожные покровы. При высоких концентрациях возбуждает центральную нервную систему и вызывает судороги. Смерть наступает через несколько часов или суток после отравления от отека легких и гортани, от сердечной слабости или остановки дыхания. При попадании на кожу может вызывать ожоги различной степени.

*Обнаружение* – универсальный газоанализатор УГ-2, ВПХР с индикаторной трубкой – одно желтое кольцо.

*Защита* – фильтрующие промышленные противогазы марки «К», «КД», «М»; газовые респираторы РУ-60М КД, РПГ-67 КД. При высоких концентрациях – изолирующие противогазы и защитная одежда.

*Первая помощь* – немедленно вынести пострадавшего на свежий воздух, обильно промыть глаза и пораженные участки кожи водой и надеть противогаз. После эвакуации пострадавшему необходимы покой, тепло, при резких болях в глазах – 1–2 капли 1%-ного раствора новокаина или 1 каплю 0,5%-ного раствора дикаина с 0,1%-ным раствором адреналина. На пораженные участки кожи – примочки 5%-ного раствора уксусной, лимонной или соляной кислоты, внутрь – теплое молоко с питьевой содой.

*Акрилонитрил* – это бесцветная жидкость с неприятным запахом. При обычном давлении температура плавления –83,5°C, кипения +77,3°C. Легче воды (относительная плотность 0,8). Тяжелее воздуха (относительная плотность 1,83). С воздухом образует взрывоопасные смеси в пределах 3–17 об. %. ПДК в атмосферном воздухе населенных пунктов (среднесуточная) – 0,03 мг/м<sup>3</sup>, рабочей зоны производственных помещений – 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

Мировое его производство около 2 млн т в год. Общие запасы в республике около 5000 т.

Отравление акрилонитрилом возможно при вдыхании его паров и попадании капель на слизистые оболочки и кожу.

*Первая помощь* – пострадавшего немедленно вынести из зоны заражения, обильно промыть водой или 2%-ным содовым раствором глаза, вдыхание амилнитрита.

**Хлор** – зеленовато-желтый газ с резким раздражающим запахом. Хлор в 2,5 раза тяжелее воздуха, поэтому облако хлора будет перемещаться по направлению ветра, прижимаясь к земле, он скапливается в подвалах, низинах, но даже зимой хлор находится в газообразном состоянии, сжижается при температуре  $-34,6^{\circ}\text{C}$ , затвердевает при  $-101^{\circ}\text{C}$ . Для перевозки используются цистерны и баллоны под давлением. Взрывоопасен в смеси с водородом. Негорюч, но пожароопасен, поддерживает горение многих органических веществ. Емкости могут взрываться при нагревании.

Хлор применяется для хлорирования питьевой воды и получения хлорорганических соединений (винилхлорида, хлоропренового каучука, дихлорэатана, хлорбензола и др.).

Общие запасы в Республике Беларусь – 300 т.

Предельно допустимая концентрация хлора в атмосферном воздухе в рабочей зоне производственных помещений – 1 мг/м<sup>3</sup>, минимально ощутимая концентрация хлора – 2 мг/м<sup>3</sup>. Раздражающее действие возникает при концентрации около 10 мг/м<sup>3</sup>. Смертельная концентрация хлора при экспозиции 1 ч составляет 100–200 мг/м<sup>3</sup>. В воздухе определяется прибором УГ-2 или ВПХР с индикаторной трубкой – три зеленых кольца.

**Защита** – промышленные фильтрующие противогазы марки «В» и «М», гражданские противогазы ГП-5 (5М), ГП-7 (ГП-7В), детские противогазы, камеры защитные детские. При очень высоких концентрациях (больше 3600 мг/м<sup>3</sup>) – изолирующие противогазы. Хлор относится к веществам удушающего действия.

Раздражает дыхательные пути и вызывает отек легких.

**Первая помощь** – надеть противогаз и вывести на свежий воздух. При раздражении дыхательных путей – вдыхание нашатырного спирта. Промывание глаз, носа и рта 2%-ным раствором соды. Теплое молоко с боржоми или содой, кофе.

**Дегазация** – водные растворы гипосульфита, гашеной извести, щелочные отходы производства. Нейтрализация водой.

**Цианистый водород (сиnilльная кислота)** – бесцветная легкоподвижная жидкость с запахом горького миндаля, застывающая при температуре  $-13^{\circ}\text{C}$ . Температура кипения  $+27,5^{\circ}\text{C}$ , очень летучая. Синильная кислота и ее соли выпускаются химической промышленностью в больших количествах. Используется при производстве пластмасс и искусственных волокон, в гальванопластике, при извлечении золота, как средство борьбы в сельском хозяйстве. С водой смешивается, легко растворяется в спирте, бензине. Смеси паров с воздухом при содержании 6–40 об. % могут взрываться.

**Защита** – фильтрующие и изолирующие противогазы, а также промышленные типа «В», «М», «БКФ». Наличие синильной кислоты в воздухе можно определить с помощью ВПХР с индикаторной трубкой – три зеленых кольца. Для нейтрализации синильной кислоты используются гипохлорит кальция, формалин.

**Фосген** ( $\text{COCl}_2$ ) – бесцветная подвижная жидкость с удушливым неприятным запахом гниющих фруктов. Плохо растворим в воде, хорошо растворим в органических растворителях (бензоле, хлороформе, толуоле, ксиоле). При температуре выше  $8^\circ\text{C}$  переходит в газ. Температура затвердевания  $-118^\circ\text{C}$ .

Фосген используется при производстве красителей и минеральных удобрений, относится к веществам удушающего действия. Газообразный фосген в 3–4 раза тяжелее воздуха, поэтому пары фосгена могут скапливаться в подвалах, низинах местности. Для дегазации паров фосгена в закрытых помещениях используется аммиак. Нейтрализация – взаимодействие с водными растворами аммиака и щелочами.

**Обнаружение** – прибором ВПХР с использованием индикаторной трубы – три зеленых кольца. Антидотов против фосгена нет.

**Сернистый ангидрид (двуокись серы)** – бесцветный газ, который при температуре  $-75^\circ\text{C}$  превращается в жидкость; в 2,2 раза тяжелее воздуха.

Сернистый ангидрид относится к веществам удушающего и общедовитого действия. Вызывает раздражение дыхательных путей, спазм бронхов, ПДК в рабочем помещении –  $10 \text{ мг}/\text{м}^3$ . При высоких концентрациях в воздухе смерть наступает от удушья вследствие рефлекторного спазма голосовой щели, внезапной остановки кровообращения в легких или шока.

Для защиты органов дыхания необходимо использовать промышленные противогазы.

## 5.2. Характер возможных химически опасных аварий

Анализ причин крупных аварий, сопровождаемых выбросами АХОВ, показывает, что на сегодня нельзя исключить возможность возникновения аварий, приводящих к поражению производственного персонала и населения, находящегося в районе химически опасного объекта.

Предприятия, производящие или потребляющие АХОВ, в технологических линиях применяют, как правило, незначительное количество токсических соединений.

Значительно большее количество АХОВ по объему содержится на складах предприятий. Это приводит к тому, что при авариях в рабочих цехах предприятия имеет место локальное заражение воздуха, оборудования цехов и территории. При этом поражение в таких случаях может получить в основном производственный персонал.

При авариях на складах предприятий, когда разрушаются (повреждаются) крупнотоннажные емкости, АХОВ распространяются за пределы предприятия, приводя к массовому поражению не только персонала предприятия, но и населения, проживающего вблизи химически опасных предприятий.

В среднем на предприятиях неснижаемые запасы химических продуктов создаются на трое суток, а для заводов по производству минеральных удобрений – до 10–15 сут, поэтому на крупных предприятиях могут храниться тысячи тонн АХОВ.

Для хранения АХОВ на складах предприятий используются следующие способы:

- в резервуарах (системах) под высоким давлением;
- изотермических хранилищах при давлении, близком к атмосферному, с искусственным охлаждением емкости;
- при температуре окружающей среды в закрытых емкостях (характерно для высококипящих жидкостей).

При авариях с выбросом АХОВ в атмосферу образуется *первичное* и *вторичное облако*.

**Первичное облако** – облако АХОВ, образующееся в результате мгновенного (1–3 мин) перехода в атмосферу части АХОВ из емкости при ее разрушении.

**Вторичное облако** – облако АХОВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности.

В случае разрушения емкости, содержащей АХОВ под давлением, за счет бурного, почти мгновенного испарения основное количество вещества поступит в первичное облако, в котором концентрации АХОВ значительно превышают смертельные.

В случае разрушения изотермического хранилища в первичное облако поступит 3–5% АХОВ (при температуре окружающего воздуха 25–30°C). Основное же количество разлившегося в поддон (обваловку) АХОВ поступит за счет испарения во вторичное облако.

При вскрытии оболочек с высококипящими жидкостями образования первичного облака не происходит. Вследствие малых скоростей испарений таких АХОВ будут представлять опасность только для персонала ХОО и населения, находящихся непосредственно в районе аварии.

### **5.3. Прогнозирование масштабов и последствий химически опасных аварий**

**Химическое заражение** – распространение опасных химических веществ в окружающей природной среде в концентрациях или количествах, создающих угрозу для людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени.

Последствия химически опасных аварий характеризуются масштабом, степенью опасности и продолжительностью химического заражения.

Масштаб химического заражения характеризуется:

- радиусом и площадью района аварии;
- глубиной и площадью заражения местности с опасными плотностями;
- глубиной и площадью зоны распространения первичного и вторичного облака АХОВ (СДЯВ).

Под *глубиной заражения* понимается максимальная протяженность соответствующей площади заражения за пределами района аварии, а под *глубиной распространения* – максимальная протяженность зоны распространения первичного или вторичного облака АХОВ.

Под *зоной распространения* понимается площадь химического заражения воздуха за пределами района аварии, создаваемая в результате распространения облака АХОВ по направлению ветра.

**Зона химического заражения** – территория или акватория, в пределах которой распространены либо куда привнесены опасные химические вещества в концентрациях или количествах, создающих опасность для жизни и здоровья людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени (рисунок).

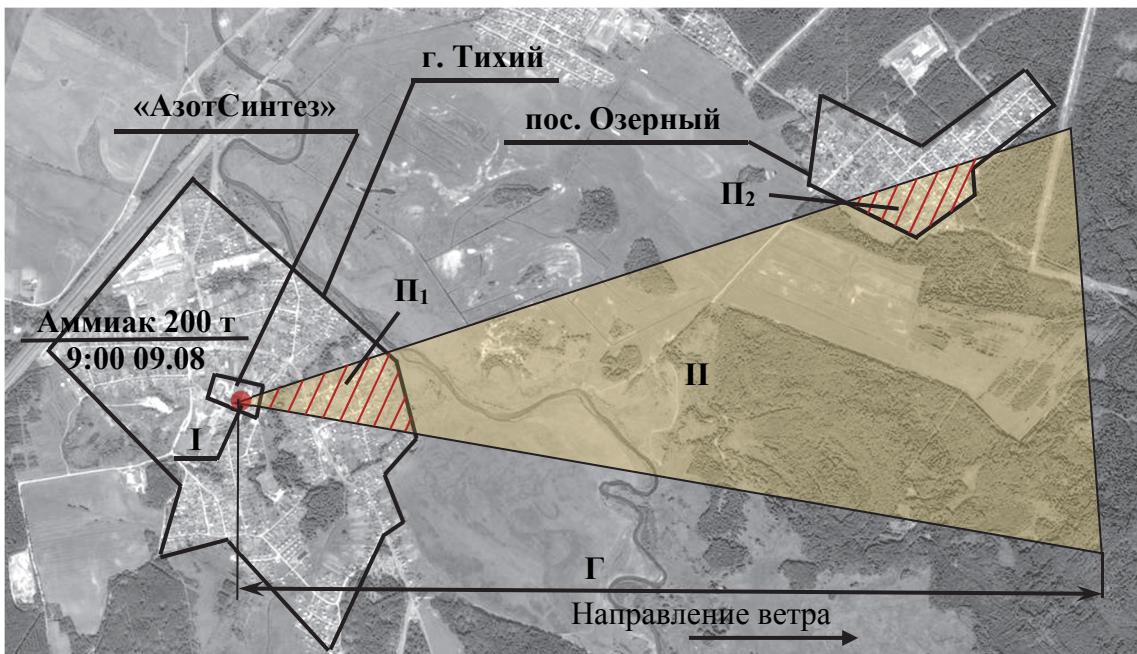
Под поражающими концентрациями понимается такое содержание в воздухе паров АХОВ, при котором исключается пребывание без противогазов.

Размеры зоны химического заражения характеризуются глубиной распространения зараженного воздуха с поражающими концентрациями  $\Gamma$ , шириной  $Ш$  и площадью  $S$ .

Толщина  $h$  слоя разлива определяется по формуле

$$h = H - 0,2,$$

где  $H$  – высота обваловки (поддона). При отсутствии обваловки толщина слоя принимается равной 0,05 м.



Зона химического заражения АХОВ (СДЯВ):  
 П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub> – очаги поражения; I – участок разлива АХОВ;  
 II – территория распространения АХОВ; Г – глубина зоны

Различают три степени вертикальной устойчивости: инверсию, изотермию, конвекцию.

**Инверсия** в атмосфере – это повышение температуры воздуха по мере увеличения высоты. Инверсия препятствует рассеиванию АХОВ на высоте и создает наиболее благоприятные условия для сохранения их высоких концентраций.

**Изотермия** характеризуется стабильным равновесием воздуха. Она наиболее типична для пасмурной погоды, так же как и инверсия, способствует длительному застою паров АХОВ на местности, в лесу, в жилых кварталах населенных пунктов.

**Конвекция** – это вертикальное перемещение воздуха с одних высот на другие. Воздух более теплый перемещается вверх, а более холодный и более плотный – вниз.

Конвекция вызывает сильное рассеивание зараженного воздуха, и концентрация АХОВ в воздухе быстро снижается. Она наблюдается в ясные летние дни.

Важная характеристика зоны заражения – стойкость заражения, определяющая время существования зоны заражения и вторичных очагов химического поражения.

Скорость испарения зависит от таких факторов, как температура воздуха, вид почвы, скорость ветра и степень вертикальной устойчивости атмосферы.

## **5.4. Мероприятия по противоаварийной защите химически опасных объектов**

Инженерно-технические мероприятия, проводимые на химически опасных предприятиях, направлены на снижение материального ущерба и людских потерь от возможных аварий. Для этого предусматривается:

- оборудование устройств, предотвращающих утечку АХОВ в случае аварии (клапаны-отсекатели, клапаны избыточного давления, сбрасывающие устройства);
- усиление конструкций емкостей и коммуникаций с АХОВ и устройство над ними ограждений для защиты от повреждений обломками строительных конструкций при аварии;
- размещение под хранилищами с АХОВ аварийных резервуаров;
- рассредоточение запасов АХОВ и размещение их в заглубленных хранилищах;
- оборудование помещений и промышленных площадок стационарными системами выявления аварий и аварийной сигнализацией.

Своевременное оповещение персонала предприятия и населения снижает вероятность поражения людей. С этой целью на химически опасных предприятиях и вокруг них создаются локальные системы оповещения персонала объектов и населения близлежащих районов.



- 
1. Дайте характеристику веществ, относящихся к СДЯВ (АХОВ).
  2. Каким показателем определяется степень токсичности АХОВ?
  3. Назовите средства для обнаружения АХОВ.
  4. Какие объекты относятся к химически опасным?
  5. Приведите показатели, характеризующие последствия аварий на химически опасных объектах.
  6. Назовите основные способы защиты от АХОВ и ОВ.

## ЛЕКЦИЯ 6

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

- 6.1. Естественный радиационный фон.
- 6.2. Технологически измененный естественный радиационный и искусственный радиационный фон.
- 6.3. Методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений.
- 6.4. Детекторы ионизирующих излучений.

### 6.1. Естественный радиационный фон

Радиационный фон Земли складывается из естественного (природного) радиационного фона, технологически измененного естественного радиационного фона и искусственного радиационного фона.

*Естественный радиационный фон (ЕРФ)* образуют ионизирующие излучения от природных источников космического и земного происхождения. Очень часто он отождествляется с понятием *радиационный фон*.

*Технологически измененный естественный радиационный фон (ТИЕРФ)* определяется излучением от естественных источников ионизирующего излучения, который не имел бы места, если бы не использующийся технологический процесс. Причинами такого изменения фона могут являться выбросы тепловых электростанций, строительная индустрия и другие источники.

Радиационный фон в пределах:

0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч) считается нормальным;  
0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) считается допустимым;  
0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч) считается повышенным.

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации. Большинство из них таковы, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на

поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи – в этом случае говорят о *внешнем облучении*. Радиоактивные вещества могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище или в воде и попасть внутрь организма. Такой способ облучения называют *внутренним*. Облучению от естественных источников радиации подвергается любой житель Земли, однако одни из них получают большие дозы, чем другие. Это зависит, в частности, от того, где они живут. Уровень радиации в некоторых местах земного шара, там, где за-легают особенно радиоактивные породы, оказывается значительно выше среднего, а в других местах – ниже. Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов, использование газа для приготовления пищи, открытых угольных жаровен, герметизация помещений и даже полеты на самолетах – все это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации. Земные источники радиации в сумме ответственны за большую часть облучения, которому подвергается человек за счет естественной радиации. В среднем они обеспечивают 5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы, получаемой населением, в основном вследствие внутреннего облучения. Остальную часть вносят космические лучи, главным образом путем внешнего облучения.

В этой главе будут рассмотрены вначале данные о внешнем облучении от источников космического и земного происхождения, затем внутреннее облучение, причем особое внимание будет уделено радону – радиоактивному газу, который вносит самый большой вклад в среднюю дозу облучения населения из всех источников естественной радиации. Наконец, будут рассмотрены некоторые стороны деятельности человека, в том числе использование угля и удобрений, которые способствуют извлечению радиоактивных веществ из земной коры и увеличивают уровень облучения людей от естественных источников радиации.

**6.1.1. Космические излучения.** Такие излучения приходят к нам в основном из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек.

Каждую секунду на площадь в 1 м<sup>2</sup> через границу атмосферы из космоса в направлении земной поверхности влетает более 10 000 заряженных частиц.

Космические излучения подразделяются на галактические и солнечные. Галактические, в свою очередь, бывают первичными и вторичными. *Первичное галактическое излучение* представляет собой поток частиц,

падающих в земную атмосферу и идущих из глубины космоса со скоростью света. Оно состоит из протонов (около 92%) и альфа-частиц (при мерно 6%). В небольших количествах (около 2%) в них присутствуют ядра легких элементов (Li, Be, B, C, N, O, F), электроны, нейтроны и фотоны. Энергия такого излучения огромна и колеблется в диапазоне от 1 до  $10^{12}$  ГэВ, что в миллиард раз превышает уровень энергий, достигнутых на самых современных ускорителях. При энергиях выше  $10^3$  МэВ плотность потока протонов падает. При энергиях меньше  $10^3$  МэВ состав первичного галактического излучения сильно меняется. На него воздействует магнитное поле Земли, которое отклоняет низкоэнергетическое излучение обратно в космическое пространство. Первичное галактическое излучение в результате взаимодействия с атомами элементов атмосферы почти полностью исчезает на высоте 20 км.

*Вторичное галактическое излучение* имеет гораздо более сложный состав и включает практически все известные в настоящее время элементарные частицы. Оно образуется в результате ядерных взаимодействий между первичным излучением с ядрами атомов, входящих в состав земной атмосферы. Каждая частица из первичного излучения благодаря высокой энергии вызывает целый каскад частиц, которые, в свою очередь, взаимодействуя с ядрами, вызывают ряд следующих ядерных превращений. У поверхности Земли вторичное излучение состоит в основном из фотонов, электронов, позитронов, других ядерных частиц, а также небольшой доли нейтронов.

Нейтронная компонента возникает в результате расщепления ядер высокоэнергетическими частицами. Состав и интенсивность вторичного галактического излучения зависят от высоты над уровнем моря, географической широты и изменяются во времени в соответствии с 11-летним циклом солнечной активности. Максимальная интенсивность вторичного галактического излучения наблюдается на высоте 20–25 км. На высотах выше 40–45 км преобладает первичное излучение.

В результате взаимодействия первичного и вторичного излучений с ядрами элементов атмосферы образуются так называемые *космогенные радионуклиды*. К ним относятся:  $^3_1\text{H}$ ,  $^{10}_4\text{Be}$ ,  $^{14}_6\text{C}$ ,  $^{22}_{11}\text{Na}$ ,  $^{24}_{11}\text{Na}$ ,  $^{35}_{16}\text{S}$ ,  $^{36}_{17}\text{Cl}$ ,  $^{39}_{17}\text{Cl}$  и др.

*Солнечное излучение* образуется во время солнечных вспышек, характеризуется относительно низкой энергией (40–50 МэВ) и не приводит к существенному увеличению дозы внешнего облучения на поверхности Земли. Однако в верхних слоях атмосферы мощность поглощенной дозы может на очень короткое время увеличиваться в 100 и более раз.

Нет такого места на Земле, куда бы не падал этот невидимый космический душ. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Северный и Южный полюсы получают

больше радиации, чем экваториальные области из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы, из которых в основном и состоят космические излучения. Коэффициент качества у поверхности Земли принято считать 1,1. Основными космогенными радионуклидами – источниками внешнего излучения – являются  $^{10}_4\text{Be}$ ,  $^{22}_{11}\text{Na}$ ,  $^{24}_{11}\text{Na}$ . Средняя суммарная эквивалентная доза внешнего излучения, создаваемая всеми компонентами космического излучения на уровне моря, в год составляет 0,32 мЗв. На высоте 4–5 км величина этой дозы уже 5 мЗв/год, а на высоте 20 км достигает 13 мЗв/ч.

При орбитальных полетах космонавты подвергаются сравнительно небольшому облучению – 0,05 мЗв/сут. И для таких полетов не требуется специальной защиты.

Приводимые выше числа относятся к дозам внешнего облучения, доза за счет внутреннего облучения, формируемая космогенными радионуклидами, невелика, и из более чем 20 таких элементов заметный вклад в дозу вносят лишь два: тритий  $^3_1\text{H}$  и изотоп углерода  $^{14}_6\text{C}$ .

Тритий с периодом полураспада 12,3 года в основном входит в состав молекулы воды и в этом виде участвует в круговороте воды в природе. Радиоактивный углерод ( $T_{1/2} = 5730$  лет) используется в так называемом радионуклидном анализе.

Суммарная мощность эквивалентной дозы, получаемой от космического излучения, составляет примерно 0,33 мЗв/год, для населения нашей республики доза составляет 0,37 мЗв/год.

**6.1.2. Излучения земного происхождения.** Основными источниками излучения земного происхождения выступают радионуклиды, присутствующие в различных природных средах и объектах окружающей среды с момента образования Земли. К ним относятся две группы естественных радионуклидов: *первая* – это радионуклиды уранорадиевого и ториевого семейств, которые берут свое начало от  $^{238}_{92}\text{U}$  и  $^{232}_{90}\text{Th}$  (всего 82 радионуклида), *вторая* – это 11 долгоживущих радионуклидов, находящихся вне этих семейств ( $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{48}_{20}\text{Ca}$ ,  $^{87}_{37}\text{Rb}$ ,  $^{96}_{40}\text{Zr}$ ,  $^{115}_{49}\text{In}$ ,  $^{138}_{57}\text{La}$ ,  $^{142}_{58}\text{Ce}$ ,  $^{144}_{60}\text{Nd}$ ,  $^{147}_{62}\text{Sm}$ ,  $^{178}_{71}\text{Lu}$ ,  $^{187}_{75}\text{Re}$ ), относящихся к элементам середины таблицы Менделеева.

Из второй группы радионуклидов  $^{40}_{19}\text{K}$  играет заметную роль в облучении человека. Его период полураспада равен  $1,3 \cdot 10^9$  лет. В природном калии содержится 0,01% радиоактивного вещества, и это соотношение постоянно везде, где бы калий ни встречался. Смесь изотопов калия входит в состав мышечной ткани.

Поверхностная активность  $^{40}_{19}\text{K}$  в почве на уровне корневой системы растений (слой толщиной 20 см) – 300 Бк/м<sup>2</sup>. Удельная активность  $^{40}_{19}\text{K}$  в овощах и фруктах и других продуктах питания составляет 80–150 Бк/кг.

Внешнее гамма-облучение человека от указанных выше естественных радионуклидов обусловлено их присутствием в различных природных средах (почве, приземном воздухе, гидросфере, биосфере).

Мощность дозы, обусловленная внешним облучением за счет радионуклидов земного происхождения, составляет около 0,38 мЗв/год. Однако эта величина может существенно колебаться в зависимости от регионов Земли.

Некоторые группы населения получают в среднем 1 мЗв/год, а около 1,5% – более 1,4 мЗв/год. Есть, однако, такие места, в которых уровни земной радиации значительно выше. В ряде мест Бразилии, главным образом в прибрежных полосах земли, мощность дозы излучения из почвы и скальных пород составляет 5 мЗв/год. Приблизительно 30 тыс. чел. непрерывно подвергаются такому уровню облучения. В индийских штатах Керала и Мадрас прибрежная зона длиной 200 км и шириной в несколько сотен метров известна как область интенсивного излучения, в результате чего 100 тыс. чел. получают дозу, в среднем равную 13 мЗв/год. В Иране, например в г. Рамсер, где бьют ключи, богатые радием, были зарегистрированы уровни радиации до 400 мЗв/год. Известны места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например во Франции, Нигерии, на Мадагаскаре.

Наиболее весомый вклад в общую дозу облучения вносит радон. Он является продуктом распада урана-238 ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ ) – *радон*, тория-232 ( $^{220}_{86}\text{Rn}$ ) – *торон*, урана-235 ( $^{219}_{86}\text{Rn}$ ) – *актион*. Актион вносит незначительный вклад. Уран и торий можно обнаружить в незначительных количествах в любой почве, камнях, воде, в которых они находятся чаще всего в пассивном состоянии. В отличие от урана и тория, радон проникает в воздух при высвобождении из земной коры повсеместно.

Другими источниками поступления радона являются вода и природный газ. При кипячении воды и сжигании газа его концентрация в воздухе закрытых помещений увеличивается.

Основная опасность радона исходит не от питья воды (если вода кипячена, то радон практически улетучивается), а при попадании в легкие водяных паров с высоким содержанием этого газа (душ, мокрая парная и т. п.).

В природный газ, воду радон попадает под землей. Он имеет период полураспада 3,8 сут. Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха, поэтому при высвобождении из земной коры он накапливается в низинах, подвалах и первых этажах зданий.

Радон попадает в организм человека с вдыхаемым воздухом, но максимальную дозу человек получает, находясь в закрытом помещении нижних этажей зданий.

Радон, являясь альфа-активным радионуклидом, представляет опасность для человека только при внутреннем облучении, попадая в организм через дыхательные пути и поражая легочную ткань. Допустимая норма содержания радона составляет 100 Бк/м<sup>3</sup> воздуха.

Эквивалентная доза внутреннего облучения человека за счет естественных радионуклидов, попадающих в организм человека с воздухом, пищей и водой, в основном формируется следующими радионуклидами:  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{14}_6\text{C}$ ,  $^{87}_{37}\text{Rb}$ ,  $^{216}_{84}\text{Po}$ ,  $^{228}_{88}\text{Ra}$ , а также  $^{222}_{86}\text{Rn}$  и  $^{220}_{86}\text{Rn}$  и оценивается в 1,5 мЗв.

Таблица 6.1

**Годовая эквивалентная доза, получаемая населением  
от естественных источников для районов  
с нормальным уровнем радиации**

Источники излучения	Годовая эффективная эквивалентная доза, мЗв		
	внешнее облучение	внутреннее облучение	суммарная доза
<b>Космическое излучение:</b>			
ионизирующая компонента	0,28	–	0,28
нейтронная компонента	0,042	–	0,042
космогенные радионуклиды	–	0,015	0,015
<b>Всего</b>	0,322	0,015	0,337
<b>Излучение земли:</b>			
калий-40	0,12	0,178	0,3
урановый ряд	0,1	1,14	1,24
ториевый ряд	0,16	0,18	0,34
<b>Всего</b>	0,38	1,5	1,88
<i>Итого</i>	0,7	1,5	2,2

В соответствии с приведенными данными (табл. 6.1), для населения Земли в целом принято, что среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения человека составляет 2,2 мЗв.

## **6.2. Технологически измененный естественный радиационный и искусственный радиационный фон**

Рассмотренные выше источники радиоактивного излучения сформировались в течение эволюции Земли, и их распределение хотя и неоднородно в окружающей среде, но в основном постоянно для каждого конкретного региона. В процессе жизнедеятельности человека возможно

перераспределение данных источников в природе и формирование технологически измененного, естественного радиационного фона, когда их концентрация может многократно возрастать и представлять опасность целым группам населения.

Одним из существенных источников, созданных практической деятельностью человека, является индустрия строительных материалов. Привлечение для их изготовления отходов различных промышленных производств привело в ряде случаев к увеличению радиационного фона в зданиях. Традиционные строительные материалы – дерево, кирпич, бетон – обладают сравнительно низкой активностью.

Принято считать, что вклад в годовую эквивалентную дозу за счет строительных материалов в среднем для населения Земли составляет 0,1–1,5 мЗв на человека. Наименьшие дозы получает население, проживающее в деревянных домах – 0,5 мЗв/год, в кирпичных – 1 мЗв/год и в бетонных – 1,7 мЗв/год.

Как правило, основным источником активности строительных материалов являются радионуклиды земного происхождения. Наличие в строительных материалах урана и тория приводит к выделению радона внутри здания, его концентрации в закрытых помещениях, как правило, в 8–10 раз выше, чем на открытом воздухе. Несоблюдение правил радиационной безопасности в некоторых странах, широко использующих различные отходы промышленности в строительстве, привело к тому, что в некоторых случаях в помещениях обнаружена концентрация радона, в тысячи раз превышающая среднюю концентрацию на открытом воздухе.

Для уменьшения воздействия радона предусматривается дифференцированный подход к использованию строительных материалов.

Установлены следующие допустимые уровни удельной активности  $A_m$  в строительных материалах:

- при  $A_m$  менее 370 Бк/кг стройматериалы используются без ограничения;
- при  $A_m = 370$ –740 Бк/кг материалы можно применять только в дорожном строительстве на территории населенных пунктов и в зонах перспективной застройки;
- при  $A_m = 740$ –1350 Бк/кг стройматериалы допускается использовать в дорожном строительстве за пределами населенных пунктов;
- при  $A_m = 1350$ –4000 Бк/кг вопрос о применении материалов решается по согласованию с санитарно-эпидемической службой Министерства здравоохранения Республики Беларусь;
- при  $A_m$  свыше 4000 Бк/кг использование запрещено.

**Применение минеральных удобрений.** Добыча фосфатов ведется во многих местах земного шара; они используются главным образом

для производства удобрений. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий там в довольно высокой концентрации. В процессе добычи и переработки руды выделяется радон, да и сами удобрения радиоактивны. Радиоактивное загрязнение в этом случае бывает обыкновенно незначительным, но возрастает, если удобрения вносят в землю в жидким виде или если содержащие фосфаты вещества скармливают скоту. Такие вещества действительно широко используются в качестве кормовых добавок, что может привести к значительному повышению содержания радиоактивности в молоке.

**Тепловая энергетика.** Значительный вклад в повышение уровня облучения населения дает энергетика, особенно при использовании в качестве топлива каменного угля. Годовое его потребление составляет несколько миллиардов тонн. Из них 70% сжигается в топках тепло- и электростанций, 20% – в коксовых печах, а остальные 10% используются в целях отопления.

Уголь, подобно большинству других природных материалов, содержит ничтожные количества первичных радионуклидов. Последние, извлеченные вместе с углем из недр земли, после сжигания угля попадают в окружающую среду, в которой могут служить источником облучения людей.

Современная угольная станция мощностью 1 млн кВт в течение года потребляет около 3 млн т угля и выбрасывает в атмосферу около 165 тыс. т различных отходов, включая и пыль, летучую золу, сернистые газы и т. д. Как результат действия тепло- и электростанций на органическом топливе за последние 80 лет отмечено, что концентрация радия в поверхностном слое почвы увеличилась в 50 раз.

**Испытание ядерного оружия.** До сих пор речь шла только об источниках ионизирующего излучения, имеющих природное происхождение. Даже в случаях, когда в результате жизнедеятельности человека происходит перераспределение и концентрация этих источников, они сохраняют свой естественный состав. Иная картина происходит при использовании ядерной энергии в техногенной деятельности человека. Первая атомная бомба продемонстрировала не только разрушительную силу, но и значительную опасность с точки зрения радиоактивного загрязнения окружающей среды. При испытаниях ядерного оружия огромное количество радиоактивных веществ уносится в атмосферу. Это прежде всего продукты деления урана и плутония. Они осаждаются на частичках пыли и разносятся на большие расстояния, выпадая на поверхность Земли за сотни и тысячи километров от места взрыва. Иначе говоря, ядерный взрыв носит не локальный характер, а глобальный.

С 1945 г. в мире было проведено огромное количество испытательных ядерных взрывов. Например, США взорвали 1054 устройства, СССР – 715, Франция – 196, Великобритания – 45, Китай – 45. В мае 1998 г. сначала Индия, а потом и Пакистан произвели по 5 подземных ядерных взрывов.

В течение 1945–1989 гг. в атмосфере было проведено 397 испытательных ядерных взрывов. Некоторая часть радионуклидов циркулирует в околоземном пространстве и сегодня.

В настоящее время  $^{137}\text{Cs}$  является основным источником внешнего облучения, так же как и  $^{90}\text{Sr}$ . По современным оценкам, вклад в ежегодную эквивалентную дозу, получаемую человеком за счет испытаний ядерного оружия, составляет 20–25 мкЗв, т. е. около 1% естественного радиационного фона.

**Ядерная энергетика.** Еще меньшее значение эквивалентной дозы получает человек от безаварийной работы атомной электростанции. При обеспечении выполнения всех норм и правил их эксплуатации в окружающую среду практически не выбрасывается значительных количеств радионуклидов. По современным оценкам, средняя эквивалентная доза в год в районе АЭС не превышает 10 мкЗв.

Несмотря на относительно небольшое количество осколков деления и других элементов, в отработанном топливе активность их чрезвычайно велика и составляет десятки миллионов кюри на момент остановки реактора и сотни тысяч кюри даже через 7–10 лет хранения отработанного топлива. Поэтому наряду с необходимостью обеспечения безопасной работы на АЭС необходимо решать вопрос экологической и ядерной безопасности всего топливного цикла ядерной энергетики, особенно в области хранения и переработки отработанного горючего. К концу 1990 г. во всем мире действовало почти 600 реакторов. Суммарное количество уже имеющихся радиоактивных отходов и тех, которые нарабатываются, включая долгоживущие, огромны. Это требует создания специальных хранилищ, и опасность их как источника ионизирующего излучения возрастает с ростом их числа.

В настоящее время одной из самых острых проблем является утилизация и захоронение радиоактивных отходов и прежде всего отходов АЭС.

**Работа на персональном компьютере.** Всеобщая компьютеризация общества остро ставит вопросы безопасности работы оператора. Источниками электромагнитного поля являются монитор, процессор, клавиатура. Вокруг компьютера образуется электромагнитное поле с диапазоном частот от 5 до 400 кГц.

Мониторы компьютеров содержат электронно-лучевую трубку (ЭЛТ), которая является мощным источником электронов, при торможении которых экраном монитора образуется мягкое рентгеновское излучение, мощность дозы его на расстоянии 0,05 м от экрана не должна превышать 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч). Дозы, получаемые от различных источников излучения, представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2  
Дозы, получаемые от различных источников излучения

Вид облучения	Эффективная эквивалентная доза
1. Просмотр кинофильма по цветному телевизору на расстоянии от экрана около 2 м	0,01 мкЗв
2. Ежедневный, в течение года, трехчасовой просмотр цветных телепрограмм	5–7 мкЗв
3. Облучение за счет радиоактивных выбросов АЭС в районе расположения станции (за год)	0,2–1,0 мкЗв
4. Облучение за счет дымовых выбросов с естественными радионуклидами ТЭС на угле (за год)	2–2 мкЗв
5. Полет в течение одного часа на сверхзвуковом самолете (высота полета 18–20 км)	10–30 мкЗв
6. Полет в течение 1 сут на орбитальном космическом корабле (без вспышек на солнце)	0,18–0,35 мЗв
7. Прием радоновой ванны	0,01–1,0 мЗв
8. Флюорография	0,1–0,5 мЗв
9. Рентгеноскопия грудной клетки	2–4 мЗв
10. Рентгенография зубов	0,03–3,0 мЗв
11. Рентгеновская номография	5–100 мЗв
12. Рентгеноскопия желудка, кишечника	0,10–0,25 мЗв
13. Лучевая гамма-терапия после операции	0,20–0,25 Зв

Кроме того, человек чувствует себя хорошо, когда в окружающей его среде соотношение положительных и отрицательных ионов почти одинаково. Однако перед экраном монитора образуется избыток положительных ионов. Всегда имеющиеся в воздухе комнаты микрочастицы пыли разгоняются потоком положительно заряженных ионов и оседают на лице и глазах оператора, находящегося перед монитором.

В результате такой «бомбардировки» у оператора могут возникнуть головная боль, бессонница, раздражение кожи, усталость глаз.

**Медицинские процедуры.** Значительным источником облучения человека является использование ионизирующих излучений для

медицинских процедур. С одной стороны, это позволяет выявлять и лечить до 80% различных видов заболеваний, включая такие смертельно опасные, как онкологические, с другой – установлено, что эффективная эквивалентная доза составляет от 50 мкЗв/год до 10 мЗв/год (от 5 мбэр/год до 1 бэр/год) и выше, в зависимости от типа обследования и лечения.

В настоящее время суммарная эквивалентная доза неаварийного облучения человека за год за счет различных техногенных источников ионизирующих излучений оценивается величиной, не превышающей 5 мЗв (0,5 бэр).

## 6.3. Методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений

**6.3.1. Сцинтиляционный метод.** *Сцинтилляции* – это кратковременные световые вспышки, возникающие при воздействии ионизирующих излучений на некоторые вещества, называемые *люминофорами* (сцинтилляторами).

В основе сцинтиляционного метода обнаружения излучений лежит явление люминесценции. *Люминесцентное излучение* исходит из сравнительно небольшого числа центров люминесценции – атомов, молекул или ионов, приходящих в возбужденное состояние под действием внешних причин, а затем при переходе возбужденного центра на более низкий энергетический уровень, испускающих квант люминесцентного излучения.

Время, затрачиваемое на переход центра люминесценции из возбужденного состояния на более низкий энергетический уровень, – одна из главных характеристик люминесцентного процесса.

Если люминесцентное излучение после отключения источника его возбуждения прекращается примерно через  $10^{-8}$  с, то такой вид люминесценции называют *флуоресценцией*. В течение  $10^{-8}$  с находится в возбужденном состоянии.

Другой вид люминесценции – *фосфоресценция* характеризуется медленным спадом свечения после отключения источника возбуждения.

Виды люминесценции различают и по способу ее возбуждения. Так, экран телевизора светится под падающим на него электронным пучком благодаря свечению люминофора, нанесенного на стенку экрана кинескопа.

От веществ, применяемых в качестве сцинтилляторов, требуется, чтобы они давали сильные и равномерные вспышки, обладали высоким

коэффициентом поглощения ионизирующих излучений, не поглощали значительно собственного излучения, имели небольшое время высвечивания. К таким люминофорам относится группа неорганических веществ: йодистый натрий  $\text{NaI}$ , йодистый цезий  $\text{CsI}$ , йодистый литий  $\text{LiI}$ , вольфраматы кадмия  $\text{CdWO}_4$  и кальция  $\text{CaWO}_4$  и сернистый цинк  $\text{ZnS}$ . Неорганические люминофоры обладают довольно большим временем высвечивания, примерно  $10^{-6}$  с.

В дозиметрических приборах для регистрации бета- и гамма-излучений используют галогениды: йодистый натрий  $\text{NaI}$ , йодистый калий  $\text{KI}$ , йодистый литий  $\text{LiI}$  или йодистый цезий  $\text{CsI}$ , все активированные таллием  $\text{Tl}$ , а также вольфраматы кальция и кадмия:  $\text{CaWO}_4$ ,  $\text{CdWO}_4$ .

Для регистрации альфа-частиц используются люминофоры на основе сернистого цинка  $\text{ZnS}$  (или кадмия), активированного серебром или медью:  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ ,  $\text{ZnS}(\text{Cu})$ .

Для регистрации нейтронов применяется йодистый литий, активированный оловом  $\text{LiI}(\text{Sn})$ .

В качестве сцинтилляторов используются также инертные газы: аргон, ксенон и др.

Из органических веществ наибольшее применение получили такие, как антрацен, нафталин, стильбен, фенантрен, терфенил, дифенил. Органические и газовые сцинтилляторы характеризуются очень малым временем высвечивания ( $10^{-8}$ – $10^{-9}$  с).

**6.3.2. Химический метод.** Этот метод обнаружения ионизирующих излучений основан на том явлении, что возникающие при воздействии излучений ионы и возбужденные атомы и молекулы вещества могут диссоциировать, образуя свободные радикалы. Эти ионы и радикалы вступают в реакцию между собой или другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о наличии и количественной характеристике ионизирующих излучений.

Вещества, воспринимающие энергию ионизирующих излучений и преобразующие ее в химическую энергию, могут находиться во всех трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом. Этот метод используется в дозиметре ДП-70М.

**6.3.3. Фотографический метод обнаружения ионизирующих излучений.** Фоточувствительный слой представляет собой мелкие кристаллы галогенидов серебра, распределенные в желатине, нанесенные на прозрачную подложку. В общем случае на  $1 \text{ см}^2$  поверхности приходится  $10^8$ – $10^9$  таких кристаллов, называемых зернами.

Под воздействием ионизирующих излучений зерна превращаются в центры скрытого почернения. Последующий процесс проявления, заключающийся в воздействии на эти центры химическими реактивами, приводит к восстановлению серебра, которое выпадает в виде длинных тонких нитей, свернутых в комок и хорошо поглощающих свет.

Место, в котором произошло образование металлического серебра, воспринимается как черная точка, а совокупность таких точек, расположенных близко друг к другу, – как черное пятно. Оставшиеся не подверженными воздействию излучений кристаллы галогенидов серебра растворяются в фиксирующих веществах.

Чем больше доза действующих на фотослой излучений, тем большая степень его почернения.

Сравнивая почернение пленки, которую носит человек, с контрольной, находят дозу излучения, действующую на человека. Почернение пленок, измеряемое в оптических плотностях почернения  $S$ , определяется выражением

$$S = \lg J_0 / J,$$

где  $J_0$  – интенсивность светового пучка, падающего на пленку;  $J$  – интенсивность света, прошедшего через пленку.

Плотность почернения фотослоя измеряется с помощью специальных приборов – денситометров и фотометров.

Фотографический метод позволяет измерять дозы гамма- и нейтронных излучений в диапазоне от 0 до 10 Р с точностью до 0,1 Р, а при использовании специальных фоточувствительных слоев – до 20 000 Р.

Важнейшим преимуществом фотографического метода перед всеми остальными является его документальность.

Фоточувствительный слой, нанесенный на пленку, дает возможность длительно сохранять результат воздействовавшей на него дозы излучения. Этот метод позволяет получить практически любую чувствительность.

Используемая для измерения доз пленка, даже будучи перемещенной в светонепроницаемую кассету, обладает весьма малыми размерами и весом. Изготовление фоточувствительных слоев несложно, а использование их не связано с применением энергетических источников и сложных электрических схем.

Недостатки фотографического метода: чувствительность фотослоя к свету и необходимость обрабатывать его в полной темноте; сложный процесс определения доз, связанный с химической обработкой фотослоя (проявление, фиксация, неоднократная промывка, сушка) и последующим измерением плотности почернения.

#### **6.3.4. Метод, основанный на проводимости кристаллов.**

Все валентные электроны, находящиеся в связанном состоянии в составе атомов, образующих кристаллическую решетку, обладают некоторой энергией. В кристаллах диэлектриков и полупроводников максимальная возможная энергия валентных электронов и минимальная возможная энергия свободных электронов разделены некоторым интервалом энергий: большим – для диэлектриков, меньшим – для полупроводников.

Электроны с энергией, большей, чем у валентных, но меньшей, чем у свободных электронов, могут быть в кристаллах лишь тогда, когда в них хотя бы в небольшом количестве имеются посторонние примеси, нарушающие связи между атомами кристаллической решетки. Эти электроны легко могут переходить в свободное состояние. Такому переходу способствует воздействие на кристалл ионизирующих излучений.

При поглощении ионизирующих частиц или квантов из атома кристалла выбиваются валентные электроны с большей энергией. Эти электроны, проходя через кристалл, затрачивают энергию на отрыв от атомов большого числа других вторичных электронов. Таким образом, в кристалле возникают свободные электроны, которые могут при наличии электрического поля образовать ток даже в кристалле, обладающем свойствами диэлектрика, и увеличить проводимость, тем самым и ток, в кристалле полупроводника.

В качестве веществ, кристаллы которых могут быть использованы для обнаружения и измерения различных характеристик ионизирующих излучений, используются кристаллы сернистого цинка, серы, алмаза, германия и др. Хорошие результаты дает применение сернистого кадмия, в зависимости от природы и концентрации примесей при температуре около 20°C он может быть и диэлектриком, и полупроводником. Сернистый кадмий применяется как в виде монокристалла, так и в виде тонкой поликристаллической пленки. Монокристаллы наиболее удобны для исследований гамма-излучения, пленки – для исследований альфа- и бета-излучений. Кристаллы имеют размеры  $3 \times 5 \times 10$  мм и меньше.

На образование свободных электронов в кристаллах расходуется 3–10 эВ, что позволяет получить больший ток при одной и той же поглощенной энергии и является, следовательно, значительным преимуществом по сравнению с воздухом, в котором на образование пары ионов затрачивается 34 эВ.

Достоинствами кристаллов являются их простота, возможность получения с их помощью токов большой величины, высокая эффективность

счета, малые размеры и малая стоимость. Поэтому их целесообразно использовать для изготовления малогабаритных и легких (переносных) приборов, медицинских зондов, которые предназначены для определения зараженности ран и других целей, дистанционных систем наблюдения за радиоактивным заражением местности и т. д.

К серьезным недостаткам кристаллов относятся: большая инерционность их (до нескольких минут для установления показаний, соответствующих измеряемой величине), плохая воспроизводимость результатов, изменение чувствительности во времени, зависимость результатов измерений от энергии ионизирующих частиц.

Значительно меньшей инертностью обладают кремниевые кристаллы с так называемой электронно-дырочной проводимостью. Это обстоятельство в сочетании с высокой чувствительностью, низкими напряжениями питания, малыми габаритами и большой надежностью делает перспективным применение их в дозиметрических приборах различного назначения.

**6.3.5. Калориметрический (тепловой) метод.** Энергия ионизирующих излучений, поглощенная в веществе, в конечном итоге превращается в тепло. Этот тепловой эффект используется в калориметрах для измерения активности вещества или мощности дозы. Для регистрации нейтронных потоков используются термоэлементы, стан которых покрыт бором.

При калориметрических измерениях объекты, подвергающиеся облучению, должны находиться в термостатах. С помощью термопар и гальванометра определяются изменение температуры этих объектов под воздействием ионизирующих излучений и соответствующее этому изменению температуры количество поглощенного тепла, которое и позволяет производить измерения в общеэнергетических единицах и т. п. Этот метод характеризуется высокой точностью.

Недостатки калориметрического метода состоят в том, что калориметры представляют собой громоздкую стационарную аппаратуру и их чувствительность мала.

**6.3.6. Ионизационный метод.** При ионизационном методе обнаружения и измерения различных характеристик ионизирующих излучений в качестве ионизирующей среды используются газы, в которых образующиеся ионы обладают большой подвижностью.

Воздействуя на газовую среду электрическим полем, легко привести создаваемые излучением ионы в направленное движение. Возникающий при этом электрический ток не только является указанием на то,

что газовая среда облучается, но и позволяет также судить об активности источников ионизирующих излучений, о создаваемой ими дозе и мощности дозы излучений.

Ионизационная камера представляет собой устройство, состоящее из двух электродов, между которыми находится газовая среда – воздух.

Корпус ионизационной камеры изготавливается из воздухо-эквивалентного материала – бакелита. Дешевые приборы имеют камеры из алюминия, атомный номер которого значительно отличается от эффективного атомного номера воздуха (эффективный атомный номер алюминия 13, воздуха – 7,64).

Толщина стенок камеры должна быть не меньше, чем длина пробега вторичных электронов, благодаря чему в камере создается электронное равновесие, присущее данному материалу.

В измерительной аппаратуре ионизация газовой среды происходит в устройствах, предназначенных для восприятия энергии ионизирующих излучений и преобразования ее в энергию электрического тока. Такие устройства называются воспринимающими (или детекторами излучений). К ним относятся ионизационные камеры и газоразрядные счетчики.

## 6.4. Детекторы ионизирующих излучений

**Детекторы ионизирующих излучений** – это приборы для обнаружения и измерения интенсивности ионизирующих излучений. В качестве таких приборов применяются газоразрядные счетчики, ионизационные камеры, сцинтилляционные счетчики, толстослойные фотопластинки и фотопленки.

**Ионизационная камера.** Используются камеры с толщиной стенок примерно  $1 \text{ г}/\text{см}^2$  (рис. 6.1).

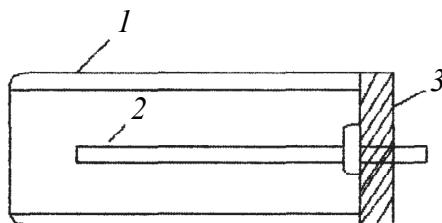


Рис. 6.1. Ионизационная камера:  
1 – корпус; 2 – собирающий электрод; 3 – изолятор

Внутренние стенки камеры, если она изготовлена из изолятора, покрываются токопроводящим покрытием, например графитом.

Если на камеру действуют ионизирующие излучения, то в ней образуются свободные электрические заряды и газовая среда в рабочем объеме становится проводящей.

С подключением к электродам камеры источника питания в ней создается электрическое поле. При отсутствии ионизирующих излучений ток в цепи возникать не будет, так как в ней нет свободных электронов.

Под воздействием излучений в объеме камеры возникают свободные положительные ионы и электроны, ее сопротивление уменьшается, и даже при небольшом напряжении на электродах ионы приобретают направленное движение. Положительные ионы притягиваются к отрицательному электроду, отрицательные электроны – к положительному электроду камеры. В цепи возникает ток, называемый *ионизационным* (рис. 6.2).

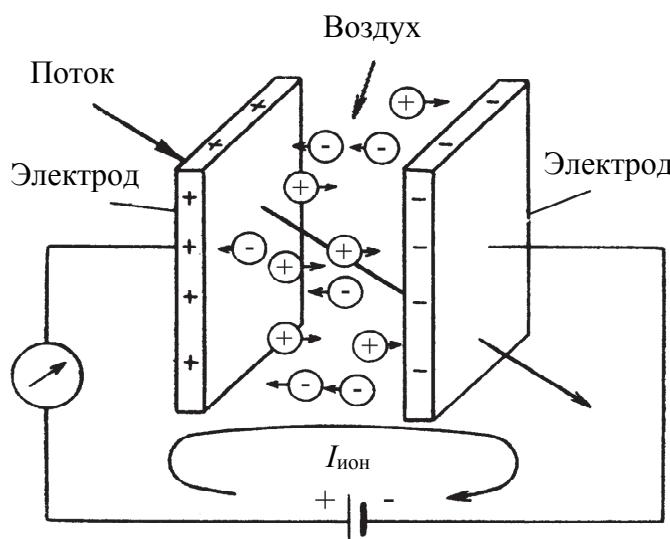


Рис. 6.2. Цепь ионизационной камеры

При небольших напряжениях на электродах камеры силы, действующие на ионы, невелики, скорости их движения малы и, чтобы достичь электродов, им требуется значительное время.

В течение этого времени большое число разноименно заряженных ионов, притягиваясь друг к другу, успевает рекомбинировать. На электроды камеры попадает лишь некоторая часть образовавшихся при ионизации ионов, и ток в цепи камеры будет небольшим.

С увеличением напряжения растет напряженность электрического поля и сила притяжения ионов к электродам, увеличивается скорость движения ионов и уменьшается время их нахождения в камере. Большое число ионов принимает участие в образовании ионизационного тока, и он увеличивается (рис. 6.3), выходит на насыщение, а затем вновь увеличивается (вторичная ионизация).

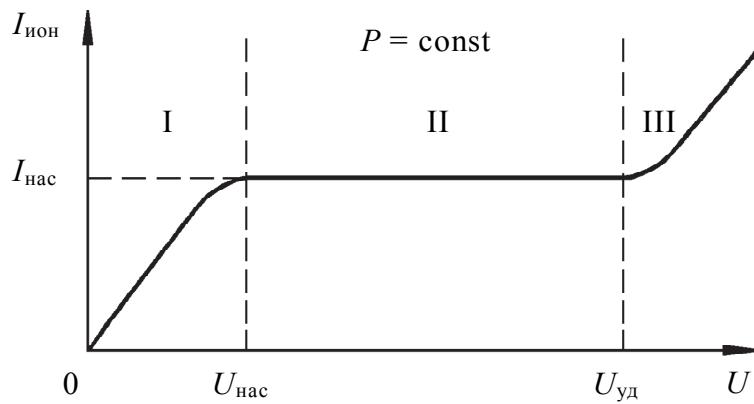


Рис. 6.3. Вольт-амперная характеристика ионизационной камеры:  
I – область рекомбинации; II – область насыщения;  
III – область ударной ионизации

Зависимость ионизационного тока  $I_{\text{ион}}$  от напряжения  $U$  между электродами при неизменной мощности дозы ( $P = \text{const}$ ) называется *вольт-амперной характеристикой камеры*. Ионизационная камера работает в режиме токонасыщения (от  $U_{\text{нас}}$  до  $U_{\text{уд}}$ ).

**Газоразрядный счетчик.** Данный счетчик представляет собой устройство, состоящее из замкнутого резервуара из двух электродов, между которыми находится газовая среда (в ней и создается электрическое поле). В отличие от ионизационной камеры, работающей в режиме насыщения, в счетчике используется режим ударной ионизации. Рабочее напряжение счетчиков  $-410 \pm 30$  В. Величина рабочего напряжения зависит от конструкции счетчика и состава заполняющей его газовой смеси.

Газоразрядный счетчик выполняется в виде тонкого металлического цилиндра, служащего его внешним отрицательным электродом (рис. 6.4).

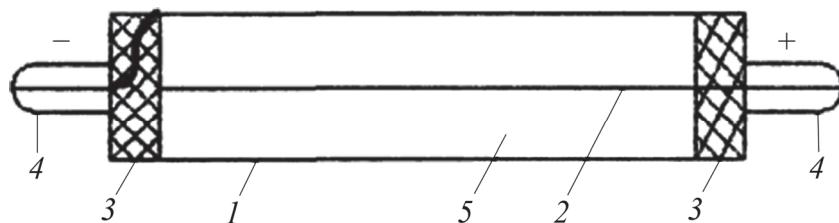


Рис. 6.4. Газоразрядный счетчик:  
1 – металлический цилиндр (отрицательный электрод);  
2 – тонкая металлическая нить (положительный электрод);  
3 – изоляторы; 4 – выводные контакты; 5 – газовая среда,  
смесь инертных газов с галогенами при пониженном давлении

С торцов цилиндр закрыт изоляторами, между которыми натянута тонкая металлическая нить, совмещающаяся с положительным электродом. Оба электрода соединяются с контактами. Рабочий объем счетчика

заполняется не воздухом, а газами, атомы которых обладают незначительной способностью к захвату электронов.

К ним относятся инертные газы с полностью заполненными внешними электронными орбитами атомов – аргон, неон, гелий.

Давление газа внутри счетчика значительно меньше атмосферного (100–200 мм рт. ст.). При этом уменьшается вероятность столкновения электронов с атомами и молекулами и между двумя очередными столкновениями они приобретают большие скорости и энергии, необходимые для ударной ионизации.

Для регистрации альфа-излучений (а также бета-излучений малых энергий) применяются *торцовые счетчики* (рис. 6.5), называемые так из-за того, что частицы проникают в них через входное окно на торце. Они представляют собой стеклянный баллон, на внутренней поверхности которого нанесен тонкий слой меди, служащий отрицательным электродом.

По центральной оси баллона укреплена стальная или вольфрамовая нить, являющаяся электродом. От обоих электродов сделаны выводы к наружным контактам. На конце положительного электрода имеется стеклянный шарик, благодаря которому устраняются ложные разряды. Входное окно закрыто тонкой слюдяной пленкой (2–10 мг/см<sup>2</sup>). Внутреннее давление в торцевых счетчиках близко к атмосферному.

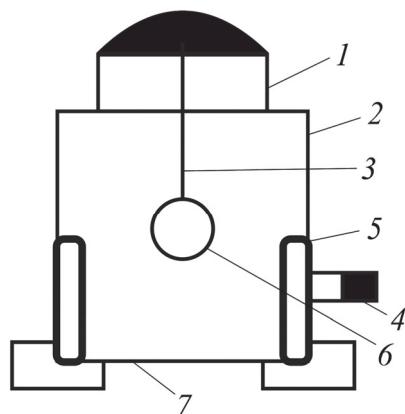


Рис. 6.5. Торцовый альфа-счетчик:

- 1 – выводной контакт положительного электрода;
- 2 – стеклянный баллон; 3 – положительный электрод;
- 4 – выводной контакт отрицательного электрода;
- 5 – отрицательный электрод; 6 – стеклянный шарик
- 7 – входное окно (слюда)

Альфа-частицы, проникая через входное окно и распространяясь вдоль оси счетчика, создают на своем пути колонну ионов большой плотности. Поскольку эта колонна оказывается перпендикулярной к силам

электрического поля, то ионы разных знаков быстро расходятся друг от друга, этим уменьшается вероятность их рекомбинации.

Для регистрации нейтронных излучений используются счетчики, наполненные борсодержащими газами ( $\text{BF}_3$ ) или водородом, или электродами, покрытыми твердым бором либо водосодержащими веществами. Такие счетчики работают при напряжениях около 1400 В, имеют плато шириной 200–250 В.

**Сцинтилляционный счетчик.** Данный счетчик состоит из люминесцирующего кристалла, оптически соединенного с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). ФЭУ позволяет преобразовать слабые световые вспышки люминесцирующих веществ (люминофоров) в достаточно большие электрические импульсы, которые регистрируются электронной аппаратурой. Достоинство этого метода – высокая временная разрешающая способность (порядка  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  с).

ФЭУ совмещает свойства фотоэлемента и усилителя тока с большим коэффициентом усиления и состоит из катода, анода, динодов (эмиттеров), на которых происходит вторичная эмиссия электронов (рис. 6.6).

Весь сцинтилляционный счетчик (сцинтиллятор и ФЭУ) заключен в светонепроницаемый кожух, чтобы исключить попадание постороннего света на фотокатод и диноды (эмиттеры) ФЭУ.

ФЭУ защищен от внешних электрических и магнитных полей, которые нарушают фокусировку электронов. Вся система ФЭУ размещена в стеклянном баллоне с высоким вакуумом, необходимым для сохранения поверхностей фотослоя и динодов, а также свободного движения электронов.

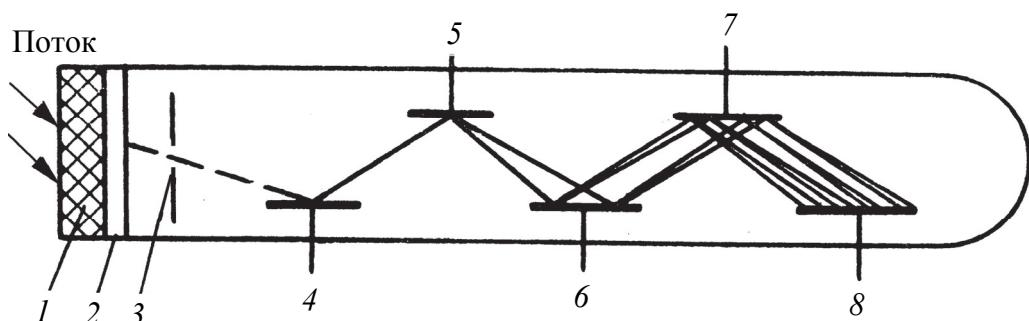


Рис. 6.6. Сцинтилляционный счетчик:  
1 – люминесцирующее вещество; 2 – катод;  
3 – фокусирующий электрод; 4, 5, 6 и 7 – эмиттеры (диноды); 8 – анод

В сцинтилляционном счетчике ФЭУ работает в импульсном режиме.

Световые импульсы, возникающие в сцинтилляторе под действием ионизирующих излучений, из фотокатода за счет фотоэффекта выбивают электроны, которые собираются электрическим полем и направляются

на первый эмиттер (динод), ускоряясь до энергии, достаточной для выбивания вторичных электронов из следующего эмиттера.

Умножение числа электронов происходит при попадании потока первичных электронов на эмиттер. Выбитые электроны фокусируются на последующий динод, из которого они вновь выбивают примерно удвоенное количество электронов и т. д. Таким образом, лавина электронов возрастает от катода к аноду, происходит преобразование очень слабых световых вспышек, возникающих в сцинтилляторе, в регистрируемые электрические импульсы. Общий коэффициент усиления ФЭУ составляет  $10^5$ – $10^6$  раз.



- 
1. Перечислите источники радиационного фона окружающей среды.
  2. Назовите компоненты естественного радиационного фона и дозу, получаемую населением от космических излучений.
  3. Какие компоненты составляют технологически измененный естественный радиационный фон?
  4. Перечислите источники искусственного радиационного фона и его влияние на облучение населения Беларуси.
  5. Приведите методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений.
  6. Назовите детекторы ионизирующих излучений и их характеристики.

## ЛЕКЦИЯ 7

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ОЦЕНКА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

- 7.1. Система мониторинга и прогнозирование чрезвычайных ситуаций.
- 7.2. Анализ и оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

### 7.1. Система мониторинга и прогнозирование чрезвычайных ситуаций

Обеспечение жизнедеятельности населения требует создания обширного комплекса мер и средств, в ряду которых особое место занимают системы безопасности (защищенности от опасностей техногенного, природного, криминогенного и иного характера) людей, объектов производства, энергетики, транспорта, жилых, общественных и административных зданий, прочих сооружений и техники, природной среды.

Все созданные человеком объекты, на которые направлены какие-либо угрозы, с точки зрения безопасности можно характеризовать по двум аспектам:

- с одной стороны, эти объекты (без специальных мер защиты) являются потенциально уязвимыми, т. е. будут поражаться при возникновении опасных для них ситуаций;
- с другой стороны, многие промышленные объекты гражданского и военного назначения являются также потенциально опасными, поскольку при возникновении на этих объектах аварии, пожаров, взрывов и других опасных ситуаций порождается угроза для окружающих сооружений, населения и природной среды.

Наиболее характерными для населения крупных городов являются следующие группы опасностей: социальные, политические, коммунально-бытовые, природные, техногенные, экологические, криминальные, террористические, военные. Они носят комплексный взаимосвязанный характер и в большинстве своем имеют трансграничные масштабы.

Обеспечение безопасности населения в ЧС представляет собой комплекс организационных инженерно-технических мероприятий и средств,

направленных на сохранение жизни и здоровья человека во всех сферах его деятельности.

Основные направления в решении задач обеспечения безопасности населения следующие:

1) прогнозирование и оценка возможных последствий ЧС;

2) планирование мероприятий по предотвращению или уменьшению вероятности возникновения ЧС, а также сокращению масштабов их последствий;

3) обеспечение устойчивости работы объектов в ЧС;

4) ликвидация последствий ЧС.

Проблемы оценки безопасности жизни человека и биосфера (в частности организационно-технические и социально-экономические аспекты безопасности жизнедеятельности) многогранны, и вопрос о возможности создания какого-либо условно обобщенного показателя вреда, причиняемого здоровью людей действием различных факторов, является весьма актуальным.

**Прогнозирование ЧС** – метод ориентировочного выявления и оценки обстановки, складывающейся в результате стихийных бедствий, аварий и катастроф.

Прогнозирование направлено на предупреждение ЧС и представляет собой комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска ЧС, а также на сохранение здоровья людей, снижение вреда окружающей среде и материальных потерь в случае их возникновения.

В задачу прогнозирования в области защиты населения входит также ориентированное определение времени возникновения ЧС (краткосрочный прогноз), по которому принимаются конкретные решения, касающиеся обеспечения безопасности населения во всех сферах его деятельности.

Прогнозирование обстановки, связанной с возникновением ЧС, осуществляется математическими методами.

Методы оценки и прогнозирования последствий ЧС *по времени проведения* делятся на две группы:

– методы, основанные на априорных (предполагаемых) оценках, полученных с помощью теоретических моделей и аналогий;

– методы, основанные на апостериорных оценках (оценки последствий уже произошедших ЧС).

*По используемой исходной информации* методы прогнозирования последствий делят:

– на экспериментальные, основанные на обработке данных произошедших ЧС;

- расчетно-экспериментальные, при которых имеющиеся статистические данные обрабатывают с помощью математических моделей;
- расчетные, основанные на использовании только математических моделей.

Методы прогнозирования возникновения ЧС также делятся на различные группы, находящиеся в разной соподчиненности. Наиболее развиты они применительно к ЧС природного характера, т. е. к экстремальным природным явлениям. Для своевременного прогнозирования и обнаружения экстремального природного явления на стадии его зарождения необходима хорошо отлаженная общегосударственная система мониторинга за предвестниками стихийных бедствий и катастроф. По информации, полученной от этой системы, территориальные органы власти принимают заблаговременные либо оперативные решения для осуществления мер защиты с целью предупреждения и / или смягчения последствий ЧС.

При прогнозировании широко используется метод математического моделирования. Моделирование предполагает конструирование модели на основе предварительного изучения объекта или процесса, выявления его существенных характеристик или признаков. Прогнозирование обстановки, связанной с ЧС, с использованием моделей включает разработку модели, ее экспериментальный анализ, сопоставление результатов прогнозных расчетов на основе модели с фактическими данными состояния объекта или процесса, корректировку и уточнение модели.

При прогнозировании обстановки в зависимости от вида ЧС определяются границы зон разрушения (радиоактивного, химического, биологического), а также возможные потери населения и ущерб, наносимый хозяйственным объектам.

Данные прогнозирования обстановки в очагах поражения обобщаются, анализируются, делаются выводы для принятия решения, связанного с организацией и ведением спасательных и других неотложных работ.

Мероприятия, необходимые для предотвращения ущерба от ЧС, подразделяются на фоновые и защитные.

*Фоновые* (постоянно проводимые) мероприятия, основанные на долгосрочном прогнозе, включают следующее:

- выполнение строительно-монтажных работ с учетом требований строительных норм;
- создание надежной системы оповещения населения об опасностях;
- накопление фонда защитных сооружений и обеспечение населения средствами индивидуальной защиты;
- организация радиационного, химического и бактериологического наблюдения, разведки и лабораторного контроля;

- всеобщее обязательное обучение населения правилам поведения и действиям в ЧС;
- проведение режимных, санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий;
- отказ от строительства потенциально опасных объектов в экономически уязвимых зонах;
- перепрофилирование объектов – источников повышенной опасности для здоровья и жизни людей;
- материально-техническое и финансовое обеспечение мероприятий ГО;
- практическая отработка планов ликвидации последствий ЧС.

*Защитные мероприятия*, которые нужны, когда предсказан момент ЧС, включают в себя:

- развертывание системы наблюдения и разведки, необходимых для уточнения прогноза;
- приведение в готовность системы оповещения населения о ЧС;
- ввод в действие специальных правил функционирования экономики и общественной жизни;
- нейтрализация источников повышенной опасности при ЧС, прекращение операций с ними;
- приведение в готовность аварийно-спасательных служб;
- частичная эвакуация населения.

## **7.2. Анализ и оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций**

Одним из важнейших звеньев в системе управления безопасностью населения и территорий является анализ риска ЧС, выявление основных влияющих факторов и количественная оценка их вклада в интегральный риск.

Суть анализа риска состоит в построении всевозможных (не противоречащих законам природы) сценариев возникновения и развития аварий и обусловленных ими ЧС, а также в оценке частот и масштабов реализации каждого из построенных сценариев на конкретном объекте. Использование метода предполагает построение показателей с помощью математических моделей (компьютерных кодов) и статистических данных.

Под обобщенной оценкой риска ЧС понимается выявление и идентификация опасностей различного происхождения, их количественных и качественных характеристик с целью защиты населения, сокращения

материального ущерба и других социально-экономических потерь до приемлемого уровня.

Наряду с численным, балльным и другими приемами оценки опасностей, наиболее распространенным является *риск* – частота реализации опасности.

**Риск** – вероятность нежелательного происшествия с определенными последствиями, происходящего в определенный период или в определенных обстоятельствах. Может быть выражен как частотой (количеством определенных происшествий в единицу времени), так и вероятностью (вероятностью определенного происшествия, следующего за начальным происшествием) в зависимости от обстоятельств.

Для оценки риска используют различные формулы, выбор которых зависит от имеющейся информации. При неизвестных последствиях под риском ( $R$ ) понимают вероятность ( $P$ ) наступления определенного сочетания нежелательных событий:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (7.1)$$

Связанный с техникой риск обычно оценивают по формуле, включающей вероятность чрезвычайного происшествия ( $P$ ) и величину риска (ущерба)  $U$ :

$$R = P \cdot U. \quad (7.2)$$

Оценка риска аварии и ЧС включает:

- 1) определение возможных последствий аварий и ЧС с учетом их вероятности;
- 2) определение зон действия основных поражающих факторов при различных сценариях аварий (ЧС);
- 3) оценку возможного числа пострадавших с учетом смертельно пораженных среди персонала и населения в случае аварии (ЧС);
- 4) оценку величины возможного ущерба физическим и юридическим лицам в случае аварии (ЧС).

Различают индивидуальный и социальный (групповой) риск.

*Индивидуальный* риск характеризует опасность определенного вида для отдельного индивида.

*Социальный* – это риск для группы людей, характеризующий зависимость между частотой и числом пораженных при этом людей.

Комплексное использование различных видов и методов прогноза позволяет дать обоснованную оценку природного и техногенного риска.

Одной из приоритетных целей обеспечения безопасности населения среди многих, реализующих стратегическую цель, является достижение

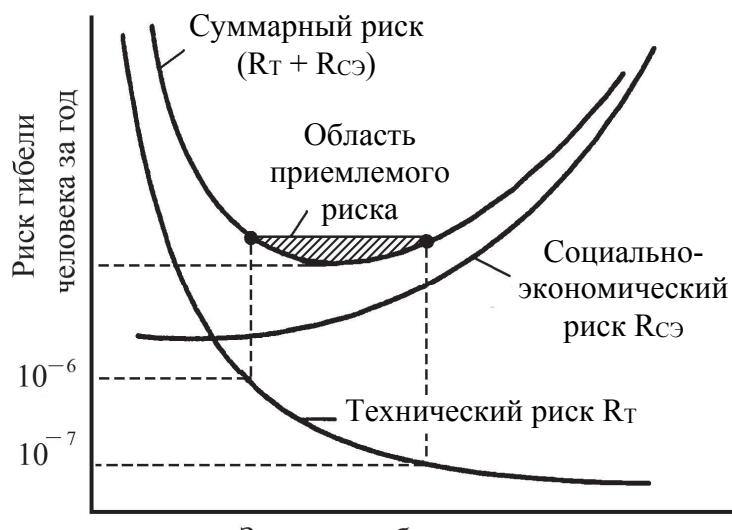
приемлемого уровня риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и минимального уровня социально-экономического ущерба от них.

В настоящее время в большинстве стран мира концепция абсолютной безопасности (обеспечения нулевого риска) отвергнута как несоответствующая законам современной техносфера (так как в действующих системах невозможно обеспечить нулевую безопасность). Используется же концепция приемлемого (допустимого) риска, суть которой состоит в стремлении к такой безопасности, которую удовлетворяет общество в данный период времени, в зависимости от его социально-экономического уровня развития.

Кроме того, статистика людских и материальных потерь от пожаров, взрывов и других опасных ситуаций на промышленно-технических объектах показывает, что при любых усилиях общества и государства добиться нулевой вероятности возникновения этих ситуаций практически невозможно. Поэтому общую безопасность промышленных объектов целесообразно рассматривать как защищенность от чрезмерных угроз, приемлемый уровень которой должен определяться законодательно на основе социальной и экономической приемлемости допустимого уровня риска.

Приемлемый риск сочетает в себе *технические, экономические, социальные и политические* аспекты и представляет некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями его достижения. Так, затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности технических систем, можно нанести ущерб социальной сфере (сокращение выполнения социальных программ).

Пример определения приемлемого риска показан на рисунке.



Определение допустимого риска

При увеличении затрат на развитие технического уровня производства технический риск снижается, но растет социальный. Суммарный риск имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферы. Это обстоятельство учитывается при выборе риска, с которым общество на определенном этапе вынуждено мириться.

Максимально приемлемым уровнем индивидуального риска гибели считается риск, равный  $10^{-6}$  в год, а пренебрежительно малым –  $10^{-8}$  в год.

Уровень безопасности можно повысить, оптимально расходуя средства на совершенствование технических систем и объектов, обучение персонала, а также экономические мероприятия (страхование, платежи за риск, компенсация ущерба).

В основе управления риском лежит методика сравнения затрат и получаемых выгод от снижения риска.

Таким образом, для каждого уязвимого потенциально опасного объекта следует установить конкретные приемлемые уровни безопасности по различным видам угроз и в соответствии с ними создать системы безопасности объектов.



1. Назовите цели и задачи прогнозирования ЧС.
2. Какие методы используются для прогнозирования ЧС?
3. Перечислите данные, необходимые для прогнозирования ЧС?
4. Охарактеризуйте мероприятия, требуемые для предотвращения ущерба от ЧС.
5. Что понимают под термином «приемлемый (допустимый) риск»?

## **ЛЕКЦИЯ 8**

# **БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

- 8.1. Воздействие ионизирующих излучений на молекулу ДНК, клетку и организм. Радиочувствительность органов. Детерминированные и стохастические эффекты.
- 8.2. Радиационные синдромы. Острая и хроническая лучевые болезни. Последствия облучения большими и малыми дозами.
- 8.3. Способы защиты организма человека от радиации.

### **8.1. Воздействие ионизирующих излучений на молекулу ДНК, клетку и организм. Радиочувствительность органов.**

#### **Детерминированные и стохастические эффекты**

При воздействии ионизирующих излучений на организм человека в тканях происходят сложные физические, химические и биологические процессы. В результате ионизации живой ткани происходит разрыв молекулярных связей и изменение химической структуры различных соединений, что, в свою очередь, приводит к гибели клеток.

Клетка состоит из оболочки, ядра и ряда клеточных структур. Ядро отделено от цитоплазмы мембраной. Оно содержит ядрышко и набор хромосом. Вещество хромосом состоит из нуклеиновых кислот, которые являются хранителями наследственной информации и специальных белков. Повреждающий эффект ионизирующей радиации объясняется поглощением энергии наиболее чувствительной частями клетки – ядром и ядрышком.

Ионизирующему излучению могут подвергаться работающие с рентгеновскими гамма-лучами при осуществлении гамма-дефектоскопии на промышленных предприятиях, работающие на ускорителях, обслуживающие ядерные реакторы, занятые на разведке и добыче полезных ископаемых. При нарушении правил радиационной безопасности или при ЧС ионизирующие излучения могут быть причиной развития лучевой болезни.

Основную часть облучения население получает от естественных источников радиации около 2,4 мЗв/год и примерно 0,5–1,5 мЗв/год – от техногенных. По воздействию на человека все источники ионизирующих излучений делятся на две группы:

- закрытые источники – рентгеновские установки, ускорители, ядерные реакторы, радиоактивные вещества в таре и др.;
- открытые источники – радиоактивные вещества, распределенные в окружающей среде (в почве, воде, воздухе) или находящиеся на поверхности предметов, с которыми соприкасается человек.

При использовании закрытых источников человек подвергается только внешнему облучению, находясь в опасной зоне близи источников.

Действие открытых источников связано с внешним облучением и попаданием радиоактивных веществ внутрь организма с воздухом, водой, пищей и при контакте с загрязненными предметами через кожу. В отличие от опасности внешнего облучения, опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловлена тем, что их действие продолжается в течение всего промежутка времени, пока радионуклиды не будут выведены из организма в результате физиологических обменных процессов и радиоактивного распада.

Внутреннее облучение зависит от распределения радионуклидов в критических органах и тканях, при этом преимущественно поражаются те органы и ткани, в которых избирательно накапливается радионуклид. Доза внутреннего облучения, создаваемая радионуклидом, зависит и от характера излучения (альфа-, бета- или гамма-излучение), энергии излучения и эффективного периода полувыведения из организма.

При внутреннем облучении наиболее опасны альфа-излучающие радионуклиды. Ионизация, производимая альфа-излучением, обуславливает ряд особенностей в тех химических процессах, которые протекают в веществе, в частности в живой ткани (образование сильных окислителей, свободного водорода и кислорода). Эти радиохимические реакции, протекающие в биологических тканях под воздействием альфа-излучения, вызваны высокой биологической эффективностью альфа-частиц. По сравнению с рентгеновским, бета- и гамма-излучением относительная биологическая эффективность альфа-излучения принимается равной 20.

При внешнем облучении всего тела критическими являются те органы и ткани, которые наиболее радиочувствительны и функции которых наиболее важны для жизнедеятельности организма. В этих случаях считаются критическими гонады, красный костный мозг, легкие, желудок и толстая кишка.

Ионизирующее излучение, проходя через ткани человека, ионизирует на клеточном уровне атомы в молекулах, которые играют важную биологическую роль в нормальном функционировании клеток, и вызывает в организме цепочку обратимых и необратимых изменений. Диссоциация сложных молекул в результате разрыва химических связей – прямое действие радиации.

Ионизирующие излучения при воздействии на организм человека могут вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог, катаракта, бесплодие, аномалии в развитии плода), которые наблюдаются при дозах более 1 Грей, и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы и наследственные болезни).

*Детерминированные эффекты* излучения включают нарушение деятельности или потерю функций тканей в органах главным образом вследствие гибели клеток. Эти эффекты наступают от облучения большими дозами, и для них существует порог, т. е. прямая связь причины и следствия облучения может быть подтверждена клинически.

*Стохастические эффекты* – это такие эффекты, которые возникают, в случаях, когда облученная клетка не гибнет, а изменяется.

Эффекты в зависимости от величины поглощенной дозы развиваются в течение разных промежутков времени: от нескольких секунд до многих часов, дней, лет.

На клеточном уровне ионизация как результат облучения может привести к повреждению клеток. Как правило, организм человека способен соответствующим образом восстановить наносимый клеткам ущерб. Существует определенная зависимость этого процесса во времени. Поэтому, если данная поглощенная доза облучения распределяется во времени, она наносит меньший ущерб по сравнению с дозой, полученной при остром лучевом облучении. Это объясняется тем, что при получении дозы в течение периода времени происходит не только восстановление поврежденных клеток, но и образуется новая популяция клеток в результате их деления.

Пусковым механизмом воздействия являются процессы ионизации и возбуждения атомов в молекулах тканей. Клеточные структуры повреждаются в результате ионизации атомов, молекул и макромолекул с образованием радикалов.

Более 97% общего состава живых организмов представлено легкими атомами – водорода, кислорода, углерода, азота, серы, фосфора. Из этих элементов состоят основные компоненты биологических систем. В биологических тканях основная часть поглощенной энергии (70–85%) приходится на воду.

Существенную роль в формировании биологических эффектов играют радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолиза воды. Первичные продукты радиолиза: свободный электрон, положительный ион и возбужденная молекула воды – обладают свойствами, отличающимися от свойств электрически нейтральных молекул. Они распадаются с образованием высокореакционных *свободных радикалов* водорода ( $H^{\circ}$ ) и гидроксила ( $OH^{\circ}$ ).

Радикал водорода обладает восстановительными свойствами, а гидроксильные радикалы – сильные окислители. Обладая очень высокой химической активностью за счет наличия неспаренного электрона, свободные радикалы взаимодействуют друг с другом и с растворенными в воде молекулами других веществ, в результате чего возникают перекисные соединения и свободные радикалы других молекул. Возникшие соединения вступают в химические реакции с неповрежденными молекулами белка, ферментов и других элементов биоткани, образуя новые токсические соединения – радиотоксины, что приводит к нарушению биохимических процессов в организме, а при больших дозах – к развитию острой лучевой болезни.

При воздействии ионизирующих излучений на организм человека в тканях происходят сложные физические, химические и биологические процессы. Основной особенностью действия ионизирующих излучений является ионизация атомов и молекул живой материи. Этот процесс считается начальным этапом биологического действия излучения и в дальнейшем вызывает функциональные нарушения в тканях, органах и системах человека.

Клетка состоит из оболочки, ядра и ряда клеточных структур. Ядро отделено от цитоплазмы мембраной. Оно содержит ядрышко и набор хромосом. Вещество хромосом состоит из нуклеиновых кислот, которые являются хранителями наследственной информации. Повреждающий эффект ионизирующей радиации объясняется поглощением энергии наиболее чувствительной частью клетки – ядром и ядрышком. Чем выше величина поглощенной дозы, тем выше степень, глубина и форма лучевых поражений биологических объектов.

В результате ионизации живой ткани происходят разрыв молекулярных связей и изменение химической структуры различных соединений, что, в свою очередь, приводит к гибели клеток.

Повреждение клеточных структур формируется в результате ионизации атомов, молекул и макромолекул с образованием радикалов, которые участвуют в первичных радиационно-химических процессах.

В результате этих реакций изменяется структурная и метаболическая организация клетки, ткани и формируется видимый радиobiологический

эффект. Между актом поглощения энергии излучения и проявлением радиобиологического эффекта проходит определенное время (часы, сутки, годы), что говорит о сложной цепи процессов, возникающих в облученном организме. Радиобиологические эффекты зависят от поглощенной дозы излучения и ее мощности.

Еще более существенную роль в формировании биологических последствий играют продукты радиолиза воды, которая составляет 60–70% массы биологической ткани. При воздействии ионизирующего излучения на воду образуются свободные радикалы Н и ОН, а в присутствии кислорода также свободный радикал гидропероксида ( $\text{HO}_2$ ), пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), являющиеся сильными окислителями. Продукты радиолиза вступают в химические реакции с молекулами тканей, образуя соединения, не свойственные здоровому организму. Это приводит к нарушению отдельных функций или систем, а также жизнедеятельности организма в целом.

Процессы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом клетки, в результате которых образуются ионизированные и возбужденные атомы и молекулы, является *первым этапом развития лучевого поражения*.

Интенсивность химических реакций, индуцированных свободными радикалами, повышается, и в них вовлекаются многие сотни и тысячи молекул, не затронутых облучением.

При действии на клетку смертельной дозы излучений в ней возникает несколько тысяч химических и структурных изменений молекул. Происходящие под воздействием излучения изменения структуры и свойств, входящих в состав клетки молекул белков, ферментов, липидов и других веществ, приводят к нарушению упорядоченности и последовательности биологических процессов в клетке, а также к нарушению обмена веществ и процесса деления.

Большие дозы излучения вызывают гибель клетки. При меньших дозах гибель наступает не сразу. Еще меньшие дозы вызывают гибель только части клеток или временную приостановку, или замедление деления клеток. Временная потеря способности клеток к делению говорит о том, что клетки могут устраниТЬ нанесенное им повреждение и восстанавливать нормальный жизнедеятельный процесс деления. Этот процесс восстановления проявляется сильнее и, соответственно, поражение клетки будет слабее при облучении ее такой же дозой в течение большего времени, т. е. при меньшей мощности дозы. Однако способность клетки к восстановлению не безгранична.

Подавление способности клеток делиться называется *репродуктивной гибелью*. Клетка, утратившая способность делиться, не всегда имеет

признаки повреждений, она может еще долго жить и после облучения. В настоящее время считается, что большинство острых и отдаленных последствий облучения организма – результат репродуктивной гибели клеток, которая проявляется при попытке таких клеток разделиться. Клетки организма имеют различную радиационную чувствительность.

В соответствии с убыванием степени радиочувствительности клетки организма можно разделить в следующей последовательности.

1. Высокая чувствительность к радиоактивному излучению: лейкоциты (белые кровяные тельца), кроветворные клетки костного мозга, зародышевые клетки семенников и яичников, клетки эпителия тонкого кишечника.

2. Средняя чувствительность: клетки зародышевого слоя кожи и слизистых оболочек, клетки сальных и потовых желез, клетки эпителия хрусталика, клетки сосудов.

3. Достаточно высокая устойчивость к излучениям: клетки печени, нервные клетки, мышечные клетки, клетки соединительной ткани, костные клетки.

Ионизирующие излучения оказывают воздействие на все системы и ткани организма, которые реагируют на них как единое целое.

Установлено, что ткани, клетки которых активно делятся, более подвержены действию радиации, чем ткани с неделяющимися клетками. Поэтому мышцы, мозг, соединительные ткани у взрослых организмов достаточно устойчивы к воздействию радиации. Клетки костного мозга, зародышевые клетки, клетки слизистой оболочки кишечника являются наиболее уязвимыми. Так как наибольшее деление клеток происходит в растущем организме, воздействие радиации на детский организм особенно опасно. Влияние облучения на плод может привести к рождению неполнценного потомства, причем самый опасный период – 8–15-е недели беременности, когда происходит формирование органов будущего человека.

Радиочувствительность органов зависит не только от радиочувствительности тканей, которые составляют орган, но и от его функций. Так, например, нервная ткань принадлежит к достаточно устойчивой структуре, так как нервные клетки слабо подвержены воздействию ионизирующих излучений. Но в функциональном отношении нервная ткань наиболее радиочувствительна, потому что самые ранние реакции организма на общее получение проявляются в расстройстве подвижности и уравновешенности процессов возбуждения и торможения нервной системы.

У взрослого человека наиболее уязвимым является красный костный мозг, вырабатывающий клетки крови, которые сами не делятся и

быстро «изнашиваются». Поэтому организм нуждается в постоянном их обновлении. Вырабатываемые красным костным мозгом лейкоциты (белые кровяные тельца) выполняют функцию защиты организма от попавших в него возбудителей инфекционных заболеваний (иммунная защита). В результате нарушения кроветворения костным мозгом резко снижается содержание лейкоцитов в крови, что приводит к снижению сопротивляемости организма различным инфекциям.

Наиболее чувствительным органом грудной клетки являются легкие. Радиационные пневмониты (воспаление легких) сопровождаются потерей эпителиальных клеток, которые выстилают дыхательные пути, воспалением дыхательных путей и кровеносных сосудов. Эти эффекты могут вызвать легочную недостаточность и даже гибель организма в течение нескольких месяцев после облучения грудной клетки.

В системе органов пищеварения при одноразовом равномерном облучении наиболее радиочувствительной является печень, затем идут в порядке убывания радиочувствительности поджелудочная железа, кишечник, пищевод, слюнные железы, язык, полость рта.

Относительно высокой радиочувствительностью обладают также клетки волоссяных фолликулов. После облучения дозой 3–4 Гр (300–400 рад) волосы начинают редеть и выпадают в течение 1–3 недель. Затем рост волос может возобновиться.

Механизм действия ионизирующих излучений на организм человека можно условно представить в виде следующих стадий.

1. Физическая стадия (стадия перераспределения энергии). На этой стадии происходит поглощение энергии излучения молекулами воды и органического вещества, при этом либо молекулы переходят в возбужденное состояние, либо происходит ионизация. Продолжительность –  $10^{-1}$ – $10^{-13}$  с.

2. Физико-химическая стадия. Ионизированные атомы и молекулы, свободные электроны участвуют в сложных цепных реакциях, в результате чего образуются новые молекулы, в том числе чрезвычайно реакционные, так называемые *свободные радикалы*. Продолжительность –  $10^{-13}$ – $10^{-10}$  с.

3. Химическая стадия. Ионы и свободные радикалы взаимодействуют между собой и с окружающими молекулами, в результате образуются органические перекиси, вызывающие повреждения белков и нуклеиновых кислот, тем самым изменяя их биологические свойства. Продолжительность –  $10^{-6}$ – $10^{-3}$  с.

4. Ранние биологические эффекты. На этой стадии происходит повреждение клеточных структур, повреждение и гибель клеток, тканей или органов и организма в целом. Продолжительность стадии – от нескольких часов до нескольких недель.

5. Отдаленные биологические эффекты. На этой стадии образуются опухоли, генетические нарушения, которые оказывают влияние на состояние здоровья и продолжительность жизни. Продолжительность стадии – годы и десятилетия.

Сочетание указанных стадий и приводит к тому, что ничтожное по энергетическому эквиваленту первоначальное радиационное воздействие с течением времени через многочисленные повреждения организма проявляется в лучевой болезни.

В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты, т. е. производимый излучением эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается. Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывают ионизирующие излучения. Например, доза ионизирующего излучения – 5 Дж/кг, эта доза приводит к тяжелой форме лучевой болезни, только интенсивное лечение может предотвратить смертельный исход. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы тело человека на 0,001°C. Такая тепловая энергия заключена в стакане горячего чая.

Нарушения биологических процессов могут быть либо обратимыми, при которых нормальная работа клеток облученной ткани полностью восстанавливается, либо необратимыми, ведущими к поражению отдельных органов или всего организма в целом и возникновению лучевой болезни.

## **8.2. Радиационные синдромы. Острая и хроническая лучевые болезни**

Под **лучевой болезнью** человека понимаются самые разнообразные проявления поражающего действия ионизирующих излучений на организм. Нам понятно, что многообразие этих проявлений зависит прежде всего от следующих факторов: вид облучения – общее или местное; временной фактор – однократное, повторное, пролонгированное, хроническое облучение; пространственный фактор – равномерное и неравномерное облучение; облучаемый объем и локализация облученного участка.

**Острая лучевая болезнь** (ОЛБ) имеет 4 степени тяжести:

- I (легкая) степень (1–2 Зв);
- II (средняя) степень (2–4 Зв);

- III (тяжелая) степень (4–6 Зв);
- IV (очень тяжелая) степень – (6 Зв и более), в которой выделяют переходную, кишечную, церебральную и токсические формы.

Степень тяжести лучевой болезни определяется величиной дозы радиации, полученной человеком, характером облучения (общее или только некоторых участков тела) и его продолжительностью. Кроме того, тяжесть поражения зависит от состояния организма до облучения, его индивидуальных особенностей. Если облучение было локальным и красный костный мозг не пострадал, то восстановление функций отдельных органов и организма в целом еще возможно.

Одной из существенных особенностей радиационного поражения является то, что в момент воздействия радиации человек не испытывает никаких болевых или иных ощущений.

*Лучевая болезнь первой степени* развивается при дозах 1–2 Зв (100–200 бэр) и характеризуется слабо выраженным признаками. Признаки болезни проявляются через 2–3 недели после облучения. Пораженные жалуются на повышенную утомляемость, головокружения, легкую тошноту, сухость во рту. При исследовании крови обнаруживается уменьшение числа лейкоцитов до 2–3 тыс., тромбоцитов – до 120–170 тыс. на 1 мм<sup>3</sup> крови.

*Лучевая болезнь второй степени* развивается при дозах 2–4 Зв (200–400 бэр). Признаки поражения проявляются через 2 ч после облучения и продолжаются 1–3 сут. Затем первичные признаки исчезают и наступает скрытый период заболевания, который длится до 2–3 недель. Пораженные в этот период чувствуют себя здоровыми и работоспособными. Затем наступает разгар болезни, в этот период у пораженных наблюдаются понижение аппетита, кровоизлияние, выпадение волос. Количество лейкоцитов уменьшается до 1000–1500, кровяных шариков – до 1,5–3,5 млн в 1 мм<sup>3</sup> крови.

В результате лечения симптомы лучевой болезни постепенно исчезают и наступает период выздоровления с медленным восстановлением нарушенных функций организма (через 2–2,5 мес.). Исход при лучевой болезни второй степени в большинстве случаев благоприятный.

*Лучевая болезнь третьей степени* развивается при дозах радиации 4–6 Зв (400–600 бэр). Признаки поражения проявляются через 1 ч после облучения. Через 2–3 дня наступает скрытый период, который, в зависимости от дозы радиации, продолжается от нескольких часов до 1–3 недель, затем наступает разгар болезни, характерными признаками которой являются сильная головная боль, повышение температуры тела (до 39–40°C), выпадение волос, тошнота. Количество лейкоцитов в крови уменьшается до 500–400, тромбоцитов до 15–10 тыс. на

1 мм<sup>3</sup> крови. Современное специализированное лечение может предотвратить смертельный исход заболевания.

*Лучевая болезнь четвертой степени* развивается при дозах радиации 6–10 Зв и более, в большинстве случаев заканчивается смертельным исходом (через 5–12 дней после облучения).

В медицинской практике различают две формы лучевой болезни – острую и хроническую.

*Острая форма* возникает в результате облучения большими дозами в короткий промежуток времени. При дозах порядка нескольких тысяч рад поражение организма может быть мгновенным (смерть под лучом). Острая лучевая болезнь может возникнуть и при попадании внутрь организма больших количеств радионуклидов.

Характерной чертой острой лучевой болезни является волнообразность клинического течения, в чем можно усмотреть своеобразную ступенчатость проявления поражения отдельных систем организма.

Принято различать три периода в течении острой лучевой болезни: период формирования, период восстановления и, наконец, период исходов и последствий.

Период формирования острой лучевой болезни, в свою очередь, можно четко разделить на четыре фазы:

- 1) фаза первичной острой реакции;
- 2) фаза кажущегося клинического благополучия (скрытая или латентная фаза);
- 3) фаза выраженных клинических проявлений (фаза разгара болезни);
- 4) фаза непосредственного восстановления.

**Фаза первичной острой реакции.** Критической системой, степень поражения которой определяет тяжесть и исход острой лучевой болезни в диапазоне доз 1–10 мЗв, является, как мы знаем, система кроветворения, и в первую очередь костный мозг. Развивается так называемая типичная форма острой лучевой болезни, при которой наиболее четко проявляются основные патогенетические закономерности клинического формирования ее отдельных фаз и периодов.

Первичная реакция организма человека возникает довольно скоро (в первые минуты – часы после общего облучения) и проявляется во всех случаях при дозах, превышающих 2 мЗв, появляется тошнота, рвота, усиливающаяся после приема жидкости, исчезает аппетит. Иногда ощущается сухость и горечь во рту. Пострадавшие испытывают чувство тяжести в голове, головную боль, общую слабость, сонливость.

Наибольшее диагностическое, а в некоторых случаях и прогностическое значение имеет время проявления тошноты и рвоты, а также продолжительность диспепсического синдрома. У лиц, наиболее тяжело

пострадавших при взрыве атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки, первичная реакция возникала через 30 мин – 3 ч и продолжалась в течение нескольких (3–4) дней.

Неблагоприятными в прогностическом отношении признаками, предопределяющими очень тяжелое течение болезни (а следовательно, свидетельствующими о приближении величины дозы излучения к 10 Зв), являются развитие шокоподобного состояния с падением артериального давления, кратковременная потеря сознания, температура, понос.

**Фаза кажущегося клинического благополучия.** Иногда эту фазу называют скрытой или латентной стадией лучевого поражения, подчеркивая тем самым отсутствие клинически видимых признаков болезни. Действительно, через 2–4 дня симптомы первичной реакции исчезают и самочувствие больных улучшается или даже нормализуется.

Продолжительность латентной фазы зависит от тяжести поражения и колеблется у человека от 14 до 32 дней. При очень тяжелых формах поражения (свыше 10 Зв) она вообще отсутствует.

Из клинических признаков в течение этой фазы отмечаются выпадение волос и неврологическая симптоматика, которая также постепенно сглаживается.

**Фаза выраженных клинических проявлений.** К концу латентного периода самочувствие больных вновь резко ухудшается, нарастает слабость, повышается температура, ускоряется РОЭ. Развивается тяжелая картина заболевания, в связи с чем эту фазу часто называют разгаром болезни. Возникает так называемый геморрагический синдром, выражющийся кровоизлиянием в кожу, слизистые оболочки, желудочно-кишечный тракт, сердце и легкие. Опасность кровотечения в жизненно важных органах и возникновение инфекционных осложнений составляет основную угрозу для жизни больных в этот период.

Морфологический состав крови представлен почти одними лимфоцитами, так как все остальные элементы белой крови исчисляются единичными клетками или вовсе исчезают. Это приводит к относительному лимфоцитозу при абсолютной лимфопении. К концу фазы (а при больших дозах и выраженному геморрагическому синдрому – раньше) выявляется и начинает прогрессировать анемия. При этом в костном мозге и лимфатических узлах отчетливо выражены признаки регенерации, за исключением крайне тяжелых степеней поражения, рано приводящих к летальному исходу.

**Фаза непосредственного восстановления.** Начало фазы восстановления характеризуется нормализацией температуры, улучшением самочувствия, появлением аппетита, восстановлением сна. Прекращается кровоточивость, исчезают или ослабевают диспепсические явления.

Как правило, больные быстро прибавляют в весе. Происходит постепенное восстановление показателей крови, которое у выживавших больных начинается еще в разгаре заболевания как следствие регенерации костного мозга.

Нормализация морфологического состава крови является отражением бурных регенераторных процессов в системе кроветворения, в чем легко убедиться по результатам пункции костного мозга. Нормализуются и биохимические показатели крови и мочи.

Продолжительность фазы восстановления – 1–2 мес.; к концу третьего месяца от начала заболевания обычно самочувствие становится вполне удовлетворительным, хотя отдельные проявления поражения еще имеют место.

**Хроническая лучевая болезнь.** До настоящего времени встречается неправильное понимание хронической лучевой болезни, к которой часто относят отдаленные последствия острого облучения.

Между тем **хроническая лучевая болезнь** – самостоятельная физиологическая форма лучевого поражения, развивающаяся при продолжительном облучении организма в малых дозах. Она также, как и остшая лучевая болезнь, характеризуется фазностью течения, особенностями проявления в зависимости от равномерности облучения и имеет отдаленные последствия.

Свообразие хронической лучевой болезни состоит в том, что в активно пролиферирующих тканях благодаря интенсивным процессам клеточного обновления длительное время сохраняется возможность морфологического восстановления тканевой организации. В то же время такие стабильные ткани, как нервная, сердечно-сосудистая и эндокринная, на хроническое лучевое воздействие отвечают сложным комплексом функциональных реакций и крайне медленным нарастанием дистрофических изменений. Природа этих изменений и их радиобиологические механизмы, так же как и механизмы первичной реакции при остром поражении, пока не изучены.

Выраженный синдром хронической лучевой болезни, которому предшествует так называемая доклиническая стадия в виде неспецифических адаптивных реакций, а затем и формирование патологического процесса, развивается при суммарных дозах 0,7–1,0 Зв и интенсивности излучения 0,1–0,5 бэр в день.

**Острые лучевые поражения при неравномерном облучении.** Вариант острой лучевой болезни при общем, относительно равномерном внешнем облучении встречается довольно редко. У человека такого рода поражения обнаруживались лишь в результате взрывов атомных бомб и при единичных авариях. Но даже в абсолютном большинстве

этих случаев, а тем более при терапевтических облучениях человека, возникают те или иные типы неравномерного облучения в зависимости от радиационной ситуации, прежде всего от облучаемого объема и проникающей способности излучения.

Рассмотрим два крайних случая неравномерного облучения:

- 1) общее неравномерное облучение;
- 2) местное (локальное) облучение.

В первом из них неравномерность поглощенной дозы создается в результате ослабления излучения по глубине падающего потока фотонов или частиц, а во втором – вследствие экранирования (случайного или специального) остальных частей организма либо в результате прицельного облучения.

В интервале между этими крайними примерами можно представить себе самые различные промежуточные варианты и их сочетания. Соответственно, следует ожидать и многообразие клинических форм возникающих поражений.

Систематизация представлений об основных вариантах лучевых поражений организма, возникающих при неравномерном облучении, весьма важна для разработки новых методов лучевого лечения злокачественных новообразований.

Единственным правильным подходом к изучению разнообразных форм острых поражений при неравномерном облучении является оправдывшая себя концепция «критического органа», связывающая рассматриваемый эффект с поглощенной дозой излучения в облучаемом объеме.

Само по себе понятие «критический орган» сохраняет смысл как орган (ткань, система), ответственный за исход заболевания, возникшего при данной форме лучевого поражения. Поэтому при достаточно больших дозах ( $>10$  Зв) критическими могут оказаться не только органы кроветворения, как при общем облучении, но и многие др. Например, при внешнем воздействии слабо проникающих излучений (бета-частицы, рентгеновское излучение малых энергий) критическим органом может оказаться кожа, площадь и степень ожогов которой в первую очередь будут определять исход местного и общего поражения организма.

Завершая рассмотрение острых поражений, возникающих как при относительно равномерном, так и при неравномерном облучениях, необходимо отметить, что принципиально те же закономерности имеют место и при внутреннем облучении, возникающем от попадания в пищеварительный тракт или в дыхательные пути больших количеств радиоактивных изотопов. В зависимости от особенностей их распределения в организме, а также от энергии, а следовательно, и от проникающей способности излучения развивается тот или иной тип острого поражения.

Существенное отличие поражений от внутреннего облучения состоит в том, что особую опасность при нем приобретают радиоактивные изотопы тяжелых элементов, испускающие не только бета-, но и альфа-частицы. Обладая высокой относительной биологической эффективностью (ОБЭ), эти излучения, несмотря на малую проникающую способность, вызывают тяжелые повреждения эпителия воздухоносных путей и кишечника, в которых они оставляют весь запас своей энергии.

В лечении таких поражений большое место отводится специальным мероприятиям, направленным на стимулирование выведения изотопов из организма и другие способы снижения дозовой нагрузки на критические ткани.

**Особенности действия малых доз радиации.** Дефицит достоверных данных в мировой науке о действии малых доз на состояние здоровья населения, длительное время проживающего в реальных условиях хронического внешнего и внутреннего облучения при одновременном действии на организм гамма-излучения, альфа- и бета-частиц и их комплексного влияния с другими вредными факторами окружающей среды, а также отсутствие профилактических мер по защите населения Беларуси в первый период после Чернобыльской катастрофы, требует определения более жестких критериев проживания и хозяйственной деятельности на территориях с повышенным радиационным фоном.

Международная комиссия по радиационной защите приняла положение о том, что любая, даже самая малая дополнительная доза радиации сверх естественного радиационного фона не является безопасной для живого организма и требует обязательного принятия мер по ее снижению. Для предупреждения неблагоприятного действия ионизирующих излучений осуществляется гигиеническая регламентация облучения человека, являющаяся важнейшим мероприятием в системе обеспечения радиационной безопасности людей, работающих и проживающих на данной территории. Радиационных заболеваний от одноразового воздействия сравнительно малых доз радиации не существует, но облучение стимулирует возникновение различных заболеваний.

Однако длительное воздействие малых доз радиации может привести к возникновению хронической формы лучевой болезни, проявляющейся через 1,5–3 года после начала облучения, протекающей вяло, без ярко выраженных проявлений периода разгара болезни. Высокая уязвимость красного костного мозга, вырабатывающего лейкоциты, приводит к ослаблению иммунной системы организма, а следовательно, к повышению восприимчивости к любым инфекциям, быстрой утомляемости, малокровию. Это связано с тем, что при малых дозах радиации поврежденные и погибшие клетки распределены в тканях случайным

образом и небольшое количество функционально неполноценных клеток в большинстве тканей не играет существенной роли, хотя в будущем эти клетки могут послужить основой новообразований. Следовательно, никакие, даже самые малые дозы радиации не могут быть абсолютно безвредными.

Если опасность больших доз облучения ни у кого не вызывает сомнения, то по поводу облучения малыми дозами единого мнения нет. Дело в том, что радиационный риск при малых дозах настолько мал, что стохастические эффекты наступают через длительное время после облучения и могут быть неопределенными. В норме клетки делятся, в точности воспроизводя самих себя. Но в какой-то момент одно деление на миллион нарушается, и возникает измененная (атипичная) клетка.

При малых дозах облученная клетка не гибнет, а изменяется. Атипичная, но живая клетка может дать в результате деления целый клон измененных клеток. Обычно иммунная система быстро обнаруживает и уничтожает атипичную клетку. Но если этого не произошло, то после продолжительного периода времени, называемого латентным, может развиться злокачественное образование, при котором размножение измененных клеток становится неконтролируемым. Клетки в таком состоянии обычно группируются и приводят к возникновению злокачественной опухоли – канцерогенезу (раку).

Если поражена клетка, функция которой заключается в передаче генетической информации последующим поколениям (половая клетка), то последствия облучения могут привести к нарушению генетического кода и появлению генных мутаций. Нарушения в клетках и тканях облученного организма вызывают комплекс последовательно развивающихся патологических изменений.

Широкое разнообразие отдаленных последствий, наблюдаемое в разных тканях, различия в сроках проявления, тяжести и скорости развития заболевания связывают в настоящее время со скоростью деления клеток ткани. Острые радиационные эффекты проявляются рано в быстро делящихся тканевых клетках, а отдаленные эффекты проявляются намного позже в медленно делящихся клетках.

Из отдаленных последствий на первом месте стоят раковые заболевания, а среди них – лейкозы (рак крови), пик которых в зависимости от возраста облучаемых приходится на 5–25-й год после облучения. У детей до 15 лет наибольшая вероятность заболевания лейкозом приходится на 5-й год после облучения; у людей, подвергшихся облучению в возрасте 15–29 лет, – через 10 лет после облучения; у людей в возрасте 30–34 лет – через 15 лет; у людей старше 45 лет – через 25 лет после облучения. Это подтверждается медицинскими наблюдениями

за населением Республики Беларусь. Болезни крови и кроветворных тканей у детей, подвергшихся радиационному воздействию, в 3,3 раза превышают средние республиканские показатели у всех наблюдаемых детей (по состоянию на 1997 г.).

У группы населения Республики Беларусь, проживающего на территориях с уровнем радиоактивного загрязнения по цезию-137 выше  $555 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $15 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ) и переселенного с них, отмечается рост показателей болезни бронхиальной системы, кровообращения, пищеварения, нервной и эндокринной систем. Показатель заболеваемости по ним превышает среднереспубликанский в 2,1–9,8 раз.

В результате крупномасштабного загрязнения окружающей среды радионуклидами йода и формирования высоких индивидуальных доз облучения за 1986–1997 гг. увеличилась численность детей, больных раком щитовидной железы, в 71,7 раза и взрослых – в 3,4 раза по сравнению с 13-летним доаварийным периодом в 1974–1985 гг. (табл. 8.1).

Таблица 8.1  
**Абсолютное число больных раком щитовидной железы  
до и после Чернобыльской аварии**

Годы	Дети	Взрослые	Всего
1974–1985	8	1383	1391
1986–1997	574	4647	5221

Наибольшее число больных детей выявлено в Гомельской и Брестской областях (Гомельская область – 305 детей, Брестская – 135, Минская – 65, Могилевская – 30, Гродненская – 32, Витебская – 7 детей).

Резкое возрастание рака щитовидной железы у детей обусловлено тем, что у детей вследствие малых размеров железы на единицу поступившей активности формируются дозы в 2–10 раз больше, чем у взрослых.

Еще одно возможное и очень серьезное последствие облучения значительной части населения – накопление мутаций в генофонде. При большом числе накопившихся мутаций, которые раньше не проявлялись, существует вероятность того, что может возникнуть ситуация, при которой генофонд будет не в состоянии обеспечить воспроизведение нации.

После Чернобыльской катастрофы частота рождения детей с пороками развития увеличилась по всей республике, однако если показатель такого увеличения на «условно чистых» территориях составляет 59%, на территориях, загрязненных цезием-137, от 37 до  $555 \text{ кБк}/\text{м}^2$  – 54%, то на территориях с плотностью загрязнения более  $555 \text{ кБк}/\text{м}^2$  – 86%. Увеличение рождаемости детей с пороками развития после Чернобыльской катастрофы отчасти объясняется возрастанием мутаций, индуцированных

облучением. Именно поэтому должны быть приняты все меры для предотвращения процесса разрушения генофонда.

Меры профилактики должны носить комплексный характер и быть направленными на постоянный дозиметрический контроль уровней радиоактивного загрязнения внешней среды, продуктов питания и воды, снижение доз внешнего и внутреннего облучения.

### **8.3. Способы защиты организма человека от радиации**

В настоящее время для противолучевой защиты применяются *радиопротекторы*, которые вводятся в организм за 20–30 мин до облучения. Такая защита используется при кратковременном воздействии больших доз ионизирующих излучений (от 1 Гр и выше), а также при лучевой терапии опухолей и не применяется при хроническом облучении малыми дозами.

Введение в организм эффективных доз радиопротекторов сопровождается значительными изменениями различных биохимических процессов, на фоне которых происходит облучение. Образование эндогенных тиолов (сульфгидрильных групп) в результате применения не только внешних тиоловых протекторов, но и при введении *индолилалкиламинов* и других радиопротекторов – одно из проявлений таких многочисленных изменений. Кроме того, придается значение и другим эндогенным биологически активным соединениям, изменение содержания которых под влиянием средств химической защиты создает биохимический фон радиорезистентности за счет мобилизации защитных ресурсов организма. Имеется в виду, с одной стороны, наблюдаемое под влиянием протекторов увеличение содержания эндогенных аминов, обладающих радиозащитной активностью (серотонин, дофамин, гистамин), с другой – снижение содержания продуктов окисления липидов, обладающих радиомиметическим действием. Первые из них рассматриваются как *эндогенные протекторы*, вторые – как *эндогенные радиосенсибилизаторы*. Биогенные амины наряду с гипоксическим механизмом действия активируют систему циклических нуклеотидов, контролирующую клеточное деление, синтез нуклеиновых кислот, проницаемость мембран и другие клеточные процессы, переводя их в состояние радиорезистентного метаболизма.

Из многих изученных средств наиболее эффективными и перспективными являются радиопротекторы, отнесенные к двум классам химических соединений, – *аминотиолам* и *индолилалкиламинам*.

Радиопротекторы предназначены в основном для индивидуальной защиты организма от внешнего облучения в чрезвычайных ситуациях

(аварийные и военные условия) и для преимущественной защиты нормальных тканей при лучевой терапии злокачественных опухолей.

Из многих известных средств выделяются наиболее изученные радиопротекторы, относящиеся к двум большим классам, — *серосодержащим соединениям* и *индолилалкиламинам*. В комплекте аптечки индивидуальной АИ-2 содержится два пенала с радиозащитным средством «Цистамин», который относится к серосодержащим соединениям. Этот препарат принимают в один прием — шесть таблеток по 0,2 г за 30–60 мин до воздействия ионизирующего излучения. Он является радиопротектором кратковременного действия (эффективно защищает в течение 2 ч). Повторный прием препарата рекомендуется не ранее чем через 4–6 ч.

В индивидуальную аптечку для персонала предприятий атомной энергетики включен радиопротектор экстренного действия «ИНДРАЛИН». Противолучевой эффект препарата начинается через 5 мин, а через 10–15 мин достигается его максимальное действие. Препарат следует принимать в дозе 0,45 г (три таблетки по 0,15 г) при проведении экстренных работ по ликвидации аварии или эвакуации персонала из аварийной зоны. Продолжительность его действия — около 1 ч. В аптечке имеется вторая доза индралина, которую можно принять через 1 ч после первой. Радиопротектор вызывает острую тканевую гипоксию в радиочувствительных тканях и таким образом снижает тяжесть лучевого поражения кроветворной ткани костного мозга, кишечника и кожи.

Противолучевой эффект радиопротекторов в организме реализуется двумя путями. Решающее значение для проявления защитного эффекта серосодержащих радиопротекторов имеет достижение пороговой концентрации радиопротектора в клетках критических органов (кроветворной системы и кишечника) при общем облучении или в клетках других защищаемых тканей при локальном радиационном воздействии. Преимущественный механизм радиозащитного действия индолилалкиламинов в организме состоит в создании тканевой гипоксии вследствие временного спазма кровеносных сосудов. В связи с разными механизмами защитного действия радиопротекторов для усиления радиозащитного эффекта целесообразно применять смеси радиопротекторов, принадлежащих к разным классам.

Среди веществ, обладающих противолучевой активностью, есть вещества и природного происхождения: витамины, меллитин-полипептид из пчелиного яда, экстракты женьшения, элеутерококка, китайского лимонника.

Противолучевой эффект радиопротекторов в организме решается двумя путями. Решающее значение для проявления защитного эффекта

*аминотиолов* имеет достижение пороговой концентрации радиопротектора в клетках критических органов (кроветворной систем и кишечника) при общем облучении или в клетках других защищаемых органов и тканей при локальном радиационном воздействии. Преимущественный механизм радиозащитного действия *индолилалкиламинов* в организме состоит в создании тканевой гипоксии (снижение содержания кислорода в тканях) вследствие спазма кровеносных сосудов, что приводит к замедлению окислительных процессов.

Имеющиеся радиопротекторы и их сочетания снижают негативные эффекты облучения в 1,5–2 раза.

Более сложной задачей является химическая защита от внутреннего облучения радионуклидами. Радионуклиды, поступившие внутрь организма, накапливаются в отдельных органах и тканях, длительно излучают. Поэтому предварительное применение радиопротекторов, даже длительно действующих, неэффективно. Химическая профилактика преследует в этом случае другую цель: не допустить накопления радионуклида в критических органах.

При хроническом поступлении в организм небольших количеств радионуклидов рекомендуется прием ряда лекарственных препаратов:

*адаптогенов* – веществ, повышающих устойчивость организма к радиации (элеутерококк, женьшень, лимонник, диабазол);

*адсорбентов* – веществ, захватывающих на свою поверхность радионуклиды (активированный уголь, адсобар, вакоцит);

*антиоксидантов* – веществ, защищающих организм от свободных радикалов (витамины А, С, Е и др.).

Щитовидная железа является наиболее поражаемым органом при попадании внутрь организма радиоизотопов йода. В ней концентрируется до 60% поступившего в организм радиоактивного йода. В результате интенсивного облучения щитовидной железы поглощенная доза в железе на два-три порядка выше, чем в других органах.

Наиболее эффективным методом защиты щитовидной железы от радиоизотопов йода является предварительный прием внутрь лекарственных препаратов калия йодида (йодная профилактика).

Эффективность йодной профилактики зависит от времени приема препаратов йодида калия (КІ). Максимальный защитный эффект достигается при приеме йодида калия за 6 ч до ингаляции радиоактивных изотопов.

Препараты калия йодида (КІ) в таблетках принимают в следующих дозах:

– взрослыми – по 1 таблетке (0,130 г) внутрь ежедневно в течение 7–10 сут;

- детям от 3 до 14 лет – по 0,5 таблетки (по 0,065) внутрь ежедневно в течение 7–10 сут;
- детям до 3 лет – по 0,5 таблетки (по 0,065) внутрь ежедневно в течение 2 сут;
- беременным и кормящим грудью женщинам – по 1 таблетке (по 0,130 г) внутрь ежедневно в течение 2 сут.

Однократный прием установленной дозы калия йодида обеспечивает высокий защитный эффект в течение 24 ч (табл. 8.2).

Таблица 8.2  
**Защитный эффект в результате проведения йодной профилактики**

Время приема препаратов стабильного йода	Фактор защиты, %
За 6 ч до ингаляции	100
Во время ингаляции	90
Через 2 ч после разового поступления	85
Через 6 ч после разового поступления	50

В связи с тем, что невозможно исключить вероятность повторного выброса, для поддержания такого уровня защиты необходимы повторные приемы препаратов стабильного йода 1 раз в сутки в течение всего срока, когда возможно поступление радиоизотопа, но не более 7 сут для взрослых и не более 2 сут для беременных женщин и детей до 3 лет.

*Калия йодид* следует принимать после еды с молоком, чаем или водой 1 раз в сутки в течение 7 сут.

При отсутствии калия йодида для профилактики может использоваться 5%-ная настойка йода, применяемая внутрь:

- для взрослых и подростков старше 14 лет – по 44 капли 1 раз в день, или по 22 капли 2 раза в день, после еды на 0,5 стакана молока или воды в течение 7 сут;
- детям от 5 до 14 лет – по 22 капли 1 раз в день, или по 11 капель 2 раза в день, на 0,5 стакана молока или воды в течение 7 сут;
- детям от 2 до 5 лет настойка йода внутрь не назначается, а применяется путем нанесения на кожу. Настойку йода из расчета 22 капли 1 раз в день в течение 7 сут наносят тампоном в виде полос (сеточки) на предплечье или голень ребенка. Детям до 2 лет наносят сеточку из расчета 11 капель в день.

Для исключения ожогов кожи целесообразно использовать не 5%-ную, а 2,5%-ную настойку йода.

Защитный эффект при этом сопоставим с приемом тех же доз внутрь.

В настоящее время негативные последствия Чернобыльской катастрофы продолжают влиять на все сферы жизнедеятельности и состояние

здоровья людей, так как основные дозообразующие радионуклиды (цезий и стронций) имеют период полураспада 30,17 и 28,12 лет соответственно. Они негативно влияют на состояние здоровья населения и приводят к повышению заболеваемости бронхо-легочной, сердечно-сосудистой и других систем организма.

Установлено, что эти нарушения могут поддаваться коррекции с помощью питания. Клинические исследования в Беларуси и Украине свидетельствуют о том, что основная роль во всасывании, выведении, накоплении и распределении данных ксенобиотиков принадлежит пищевому фактору.

Очищение организма человека от радионуклидов, как и от других вредных веществ, идет через почки, печень, желудочно-кишечный тракт. Без применения специальных средств время выведения из организма половины всего цезия-137 у взрослого человека составляет 90–150 дней, у детей – 15–75 дней в зависимости от возраста. Это значит, что человеческий организм практически постоянно будет подвержен воздействию радиации.

Особенностью радиационного воздействия цезия-137 является ярко выраженная неравномерность его накопления в различных жизненно важных органах человека. Исследования показали, что в жизненно важных органах (почки, печень, сердце) уровни накопления цезия-137 в 10–100 раз больше, чем в среднем во всем теле человека. Например, при среднем содержании цезия-137 в количестве 50 Бк/кг на все тело накопление цезия-137 в почках достигает 3000–4000 Бк/кг, в сердечной мышце – более 1000 Бк/кг. При этом проявляется токсическое действие цезия-137 и сочетанное негативное действие цезия-137, свинца и нитратов.

Воздействие накопленных в организме радионуклидов, прежде всего цезия-137, на здоровье детей было установлено при изучении сердечно-сосудистой системы, органов зрения, эндокринной системы, состояния печени и обмена веществ, кроветворной системы.

Сердечно-сосудистая система оказалась наиболее чувствительной к накоплению радиоактивного цезия: прослеживается прямо пропорциональная зависимость между количеством накопленного в организме цезия-137 и частотой нарушений работы сердца.

При содержании цезия-137 в организме до 5 Бк/кг нарушения работы сердца установлены у 18% детей, при 11–26 Бк/кг – у 65%, при накоплении цезия-137 более 74 Бк/кг – у 87% детей.

Высокой чувствительностью к радиоактивному излучению обладают органы зрения. Среди патологических изменений органов зрения чаще всего наблюдается катаракта, деструкция стекловидного тела, цикластения, аномалии рефракции.

Значительно страдает от радиации иммунная система человека. Радиоактивные вещества снижают защитные функции организма, при

этом чем больше накоплено радионуклидов, тем слабее иммунная система человека.

Почки активно накапливают радиоактивный цезий, при этом концентрация может достигать очень больших величин, являясь причиной патологических изменений в них.

Губительным оказывается воздействие радиации на печень. Чем больше радионуклидов накоплено в теле человека, тем большему разрушению подвержена печень.

Радиоактивные вещества, накопленные в организме человека, поражают также его кроветворную, репродуктивную и нервную системы.

Установлено, что чем больше радиоактивных веществ содержится в организме человека и чем дольше они там находятся, тем больший вред они наносят человеку.

Для уменьшения внутреннего облучения и разрушающего действия радиации необходимо проводить ускоренное выведение радионуклидов из организма. Это достигается применением специальных препаратов – энтеросорбентов («энтеро-» – греч. *enteron* – кишки). Широко распространенные угольные энтеросорбенты не могут в полной мере заменить энтеросорбенты полисахаридной природы – пищевые волокна, всем ходом эволюции приспособленные к физиологии пищеварительной системы человека.

Способностью связывать и ускоренно выводить из организма токсичные вещества (в том числе радионуклиды) обладают некоторые пищевые продукты, в частности *пектин*. Они относятся к растворимым пищевым волокнам, уменьшают поглощение жиров и холестерина в желудке и в тонком кишечнике, тем самым снижают уровень жиров и холестерина в крови.

Особый интерес представляет способность пектина образовывать нерастворимые комплексные соединения с поливалентными металлами – свинцом, ртутью, кобальтом, цинком, хромом, никелем, стронцием, цезием, цирконием – и выводить их из организма.

В Беларуси выпускаются пектино-витаминные пищевые добавки «Витапект», «Витапект-2», содержащие витамины и микроэлементы. В состав напитка «Витапект» входит яблочный пектин с добавлением витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, С, Е, бета-каротина, фолиевой кислоты и микроэлементов К, Se, Zn, Ca.

Принцип действия пектиновых препаратов, позволяющих ускоренно выводить радионуклиды, основан на том, что пектин способен эффективно связывать и выводить из организма радионуклиды и другие вредные для человека вещества. Необходимо отметить, что пектиновые препараты не являются лекарствами, а относятся к пищевым добавкам, так как содержат только естественные продукты, главный из которых – пектин, содержащийся в овощах и фруктах.

Пектиновые препараты обладают антидотными, антиоксидантными и радиопротекторными свойствами, благотворно влияют на функции кроветворения, мозгового кровообращения, сердечно-сосудистой системы, работу желудочно-кишечной системы, печени, способствуют нормализации обмена веществ, повышению иммунитета и профилактики сердечно-сосудистых, аллергических и онкологических заболеваний.

Пектинсодержащие пищевые добавки рекомендуется применять: взрослым – по 1–2 чайные ложки 3 раза в день, детям – по 1 чайной ложке 2 раза в день. Продолжительность курса реабилитации – 3–4 недели (ежеквартально). За 3–4 недели выводится до 90% радиоактивных веществ. Важной особенностью пектиновых препаратов является то, что при выводе из организма тяжелых металлов и радионуклидов сохраняется баланс жизненно важных микроэлементов.

Пектин ингибирует преимущественно всасывание тяжелых металлов и не препятствуют всасыванию физиологических ионов.

Поскольку пектиновые вещества представляют природные органические соединения – полисахариды, то и содержатся они в различных количествах в овощах и фруктах.

Очищение организма идет успешнее, если регулярно пить овощные и фруктовые соки, особенно мякотные, употреблять овощи и фрукты, содержащие пектиновые вещества. Более всего пектина содержится в цитрусовых: лимонах, апельсинах, мандаринах. Из местных продуктов много пектина содержится в яблоках, сливах, груше, клюкве, черной смородине, рябине, моркови и столовой свекле, поэтому их важно употреблять круглый год.



- 
1. Каков механизм воздействия ионизирующих излучений на молекулу ДНК, клетку и организм человека в целом?
  2. Что такое радиочувствительность органов и систем? Приведите примеры.
  3. Что понимают под детерминированными, а что – под стохастическими эффектами?
  4. Дайте характеристику радиационным синдромам, острым и хроническим лучевым болезням.
  5. Какие возможные последствия облучения большими и малыми дозами?
  6. Назовите физические, химические и другие способы защиты человека от радиации.

## ЛЕКЦИЯ 9

# ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- 9.1. Международные нормы, принципы и критерии радиационной безопасности населения.
- 9.2. Законодательство Республики Беларусь по радиационной безопасности. Допустимые уровни облучения.
- 9.3. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах, питьевой воде и продукции лесного хозяйства. Уровни вмешательства.

### 9.1. Международные нормы, принципы и критерии радиационной безопасности населения

Развитие цивилизации, под которой мы понимаем прогресс науки, техники, экономики, использование различных видов энергии, вплоть до ядерной, медицинские процедуры с использованием источников ионизирующих излучений значительно увеличивает количество вредных факторов, негативно воздействующих на человека. Негативные факторы, действующие на людей, подразделяются на *естественные*, т. е. природные, и *антропогенные* – вызванные деятельностью человека. Опасные и вредные факторы по природе действия подразделяются на *физические, химические, биологические и психофизические*.

Ионизирующие излучения относятся к физическим опасным факторам. Естественные источники ионизирующих излучений, которые создают радиационный фон, сформировались в течение эволюции Земли, и их распределение, хотя и неоднородно в окружающей среде, но в основном постоянно для каждого конкретного региона, поэтому естественные источники ионизирующих излучений не подлежат нормированию.

Кроме опасности, которую создают аварии на АЭС, существуют еще другие реальные источники радиоактивного загрязнения. Они непосредственно связаны с добывчей урана, его обогащением, переработкой, транспортировкой, хранением и захоронением отходов. Опасными являются многие отрасли науки и промышленности, использующие изотопы

(изотопная диагностика, рентгеновское обследование больных, рентгеновская оценка качества технических изделий), радиоактивными являются некоторые строительные материалы.

Для предупреждения неблагоприятного действия ионизирующих излучений на организм осуществляется гигиеническая регламентация облучения человека, являющаяся важнейшим мероприятием в системе обеспечения радиационной безопасности работающих и населения.

При оценке воздействия ионизирующих излучений на человека следует учитывать степень их влияния на здоровье и жизнь человека, уровень и характер изменений функционального состояния и возможностей организма, его потенциальных резервов и адаптивных способностей.

Уровень техногенного радиационного воздействия ионизирующих излучений на человека подлежит нормированию. **Нормирование** – это определение количественных показателей радиационного воздействия, характеризующих безопасные уровни их влияния на состояние здоровья и условия жизни населения. Нормативы не могут быть установлены произвольно, они разрабатываются на основе всестороннего изучения взаимодействия организма человека с различными источниками ионизирующих излучений. Соблюдение нормативов на практике способствует созданию благоприятных условий труда, быта, отдыха, снижению заболеваемости, увеличению долголетия и работоспособности всех членов общества.

Оценка состояния радиационной безопасности должна основываться на следующих показателях:

- характеристика загрязнения окружающей среды;
- анализ обеспечения мероприятий по радиационной безопасности и соблюдение норм, правил и гигиенических нормативов;
- вероятность радиационных аварий и их предполагаемый масштаб;
- степень готовности к ликвидации радиационных аварий и их последствий;
- анализ доз облучения, получаемых отдельными группами населения от всех источников ионизирующего излучения.

В основу нормирования положены принципы сохранения постоянства внутренней среды организма (гомеостаза) и обеспечения его единства с окружающей средой. **Гомеостаз** – способность биологической системы противостоять изменениям и сохранять динамическое относительное постоянство состава и свойств. В настоящее время концепция беспорогового действия радиации является официальной доктриной, на базе которой ведется нормирование.

При обосновании нормативов используется комплекс физиологических, биохимических, физико-математических и других методов исследования для выявления начальных признаков вредного влияния

радиации на организм. Особое внимание уделяется изучению отдаленных эффектов: онкогенного, мутагенного, аллергенного влияния на половые железы, эмбрионы и развивающееся потомство. Таким образом, в основе критериев радиационной безопасности лиц, имеющих по роду профессиональной деятельности контакт с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, а также населения в целом, особое место среди нормативов качества окружающей среды занимает предельно допустимый уровень радиационного воздействия, величина которого не должна представлять опасность для здоровья человека, его генетического фонда, т. е. при установлении норматива используют сведения о биологическом действии радиационных факторов на здоровье человека.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые медициной относятся к болезням: *детерминированные пороговые эффекты* (лучевая болезнь, лучевой ожог, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода) и *стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты* (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Детерминированные эффекты излучения включают нарушение деятельности или потерю функции тканей в органах, главным образом вследствие гибели клеток. Эти эффекты возникают от облучения в больших дозах и для них существует порог. Детерминированные эффекты у человека могут быть результатом общего или локального облучения ткани, вызывающего гибель определенной доли клеток, которая не может быть скомпенсирована размножением жизнеспособных клеток. Эта доля и определяет порог, ниже которого потеря клеток слишком мала, чтобы заметно нарушить функцию ткани или органа.

Стохастические эффекты возникают в случаях, когда облученная клетка не гибнет, а изменяется. Изменившаяся, но живая клетка может дать в результате деления целый клон измененных клеток. Вообще говоря, начальное развитие такого клона может быть подавлено, а любой выживший клон будет с большой вероятностью уничтожен или изолирован защитными механизмами организма. Но если этого не произошло, то после продолжительного периода времени, называемого латентным, может развиться злокачественное образование, при котором размножение измененных клеток становится неконтролируемым. Клетки в таком состоянии обычно группируются и приводят к возникновению злокачественной опухоли – раку (канцерогенезу).

Если поражена клетка, функция которой заключается в передаче генетической информации последующим поколениям (половая клетка), то последствия будут выражаться в воздействии на потомство пострадавшего лица в виде наследственных эффектов.

Для оценки состояния радиационной безопасности используется показатель радиационного риска. В наибольшей степени радиационный риск характеризует суммарная накопленная эффективная доза от всех источников излучения. Значимость каждого источника излучения следует оценивать по его вкладу в суммарную эффективную дозу. Чтобы исключить необратимые биологические эффекты, воздействие радиационных факторов ограничивается предельно допустимыми уровнями или предельно допустимыми дозами.

*Предельно допустимый уровень, или предельно допустимая доза*, – это максимальное значение фактора, которое, воздействуя на человека (изолированно или в сочетании с другими факторами), не вызывает у него и его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсируемых, в том числе заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также психологических нарушений (снижение интеллектуальных и эмоциональных способностей, умственной работоспособности).

При определении предельно допустимых уровней и предельно допустимых доз руководствуются следующими принципами:

- приоритет медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов перед прочими подходами (технической достижимостью, экономическими требованиями);
- пороговость действия неблагоприятных факторов;
- опережение разработки и внедрение профилактических мероприятий появления опасного и вредного фактора.

Степень воздействия ионизирующих излучений зависит от того, является облучение внешним или внутренним.

Радиационная безопасность населения достигается путем ограничения облучения от всех основных источников излучения. В связи с этим облучение населения излучением природных, техногенных и медицинских источников регламентируется особо, с применением разных методологических подходов и технических способов.

*Нормирование и регламентация ионизирующих излучений* – задача радиационной гигиены, которая изучает влияние ионизирующих излучений на здоровье человека с целью разработки мер противорадиационной защиты. Проблемы защиты населения от воздействия ионизирующих излучений носят глобальный характер, поэтому защитные мероприятия разрабатываются не только в отдельных странах, но и в международном масштабе. Этими вопросами занимаются следующие организации.

1. Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ). Она образована в 1928 г. и является органом, который разрабатывает правила

работы с радиоактивными веществами, основы радиационной безопасности и в первую очередь принципы и подходы нормирования.

2. Национальная комиссия по радиационной защите (НКРЗ) создана в Беларуси в 1991 г. Ее задача – обобщение материалов и научное обоснование принципов защиты, а также разработка основных концепций новых норм и правил радиационной безопасности.

3. Научный комитет по действию атомной радиации (НКДАР), созданный Генеральной Ассамблей ООН в декабре 1955 г. для оценки в мировом масштабе доз излучения, их эффекта и связанного с ними риска. Он является только источником сведений по радиации, на основе которых МКРЗ и НКРЗ разрабатывают соответствующие нормы и рекомендации.

4. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), специальная организация ООН, созданная в 1957 г. для развития международного сотрудничества в области мирного использования атомной энергии. Объединяет 114 государств. Главная цель МАГАТЭ – препятствовать распространению ядерного оружия, осуществлять контроль за тем, чтобы не допустить применения атомной энергии в военных целях.

## **9.2. Законодательство Республики Беларусь по радиационной безопасности. Допустимые уровни облучения**

В Республике Беларусь разработана и претворяется в жизнь Государственная программа преодоления последствий Чернобыльской катастрофы.

С целью обеспечения радиационной безопасности населения, в основе которой лежит предупреждение отрицательного воздействия ионизирующих излучений, были приняты законы Республики Беларусь «О социальной защите граждан, которые пострадали от катастрофы на Чернобыльской АЭС», «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС» и «О радиационной безопасности населения». Эти законы и другие нормативные акты определяют политику государства, ориентированную на защиту здоровья пострадавших людей, обеспечение условий жизнедеятельности населения, проживающего на загрязненных территориях, на снижение и преодоление социально-психологических, экономических и экологических последствий катастрофы.

Закон «О социальной защите граждан, которые пострадали от катастрофы на Чернобыльской АЭС» установил защиту прав и интересов

граждан, принимавших участие в ликвидации последствий катастрофы, отселенных и выехавших на новое место жительства с территорий радиоактивного загрязнения, постоянно проживающих в настоящее время на указанных территориях, а также граждан, участвовавших в ликвидации или пострадавших от аварии и ее последствий на других объектах гражданского либо военного назначения.

Закон Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» устанавливает правовой режим территорий Республики Беларусь и направлен на снижение радиационного воздействия на население и экологические системы, проведение природоисследовательских и защитных мероприятий, рациональное использование природного, хозяйственного и научного потенциала этих территорий.

Закон «О радиационной безопасности населения» устанавливает основы правового регулирования в области обеспечения радиационной безопасности населения, направлен на создание условий, обеспечивающих охрану жизни и здоровья людей от вредного воздействия ионизирующих излучений.

Основными принципами обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений являются:

- принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующих излучений;
- принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию всех источников ионизирующих излучений, при которых полученная доза для человека и общества не превышает риск возможного вреда, причиненного превышающим естественным радиационным фоном излучения;
- принцип оптимизации – поддержание на допустимо низком уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

При радиационной аварии система радиационной безопасности населения основывается на следующих принципах:

- 1) уровни вмешательства должны обеспечивать предотвращение ранних и ограничение поздних медицинских последствий;
- 2) предлагаемые мероприятия по ликвидации последствий радиационной аварии должны приносить больше пользы, чем вреда;
- 3) виды и масштабы деятельности по ликвидации последствий радиационной аварии должны быть реализованы таким образом, чтобы

польза от снижения дозы ионизирующего излучения, за исключением вреда, причиненного указанной деятельностью, была максимальной.

Законом устанавливаются следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Республики Беларусь в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

– для населения средняя годовая эффективная доза равна 1 мЗв, эффективная доза за период жизни (70 лет) – 70 мЗв (7 бэр); в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за 5 последовательных лет, не превысит 1 мЗв;

– для работников средняя годовая эффективная доза равна 20 мЗв, эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 Зв; допустимо облучение в размере годовой эффективной дозы до 50 мЗв при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за 5 последовательных лет, не превысит 20 мЗв.

Гигиеническая регламентация облучения населения и персонала осуществляется Гигиеническим нормативом «Критерии оценки радиационного воздействия»: ГН от 28.12.2012 № 213 (введ. 01.01.2013 г.). Этот норматив устанавливает пределы облучения, поступление и содержание радионуклидов в организме лиц, работа которых связана с источниками ионизирующих излучений, а также населения в целом, допустимые концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе и воде, продуктах питания. Норматив предусматривает следующие основополагающие принципы радиационной безопасности:

- 1) непревышение основного дозового предела;
- 2) исключение всякого необоснованного облучения;
- 3) снижение дозы облучения до возможно низкого уровня.

При установлении основных дозовых пределов гигиенический норматив (ГН) «Критерии оценки радиационного воздействия» выделяет следующие категории облучаемых лиц:

– персонал (профессиональные работники атомной энергетики, изотопных лабораторий, радиотерапевтические специалисты, ликвидаторы радиационных аварий и другие, постоянно или временно работающие с источниками ионизирующих излучений).

Для этой категории установлен предел дозы (ПД) общего облучения 20 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв/год;

– все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности. Для этой категории установлен предел дозы общего облучения 1 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв/год.

Основные пределы доз не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

В гигиеническом нормативе «Критерии оценки радиационного воздействия» предусмотрено дифференцированное нормирование дозовых пределов облучения для различных критических органов человека, объединенных в зависимости от их радиочувствительности в три группы:

I – все тело, гонады, красный костный мозг;

II – мышцы, щитовидная железа, легкие, печень, селезенка, желудочно-кишечный тракт, хрусталик глаза;

III – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени, стопы.

**Критический орган** – это ткань, орган или часть тела, облучение которых может причинить наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомству.

Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности»: СанПиН от 28.12.2012 № 213 (введ. 01.01.2013) регламентируют требования по защите людей от вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения.

Правила являются обязательными для исполнения на территории Республики Беларусь и распространяются на все организации, проектирующие, добывающие, производящие, хранящие, использующие, транспортирующие, перерабатывающие, захоранивающие радиоактивные вещества и другие источники ионизирующего излучения, организации, осуществляющие эксплуатацию, монтаж, демонтаж, ремонт и наладку приборов, установок, аппаратов, действие которых основано на использовании ионизирующего излучения, и устройства, генерирующих ионизирующее излучение.

Правила являются обязательными при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, перепрофилировании и выводе из эксплуатации радиационных объектов.

### **9.3. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах, питьевой воде и продукции лесного хозяйства. Уровни вмешательства**

«Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде» (табл. 9.1) разработаны с целью снижения дозы внутреннего облучения населения Республики Беларусь, что достигается ограничением поступления радионуклидов с продуктами питания.

«Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001)» приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.1

**Республиканские допустимые уровни содержания цезия и стронция  
в пищевых продуктах и воде (РДУ-99)**

Наименования продуктов	Допустимое содержание	
	цезия-137, Бк/кг, Бк/л	стронция-90, Бк/кг, Бк/л
Вода питьевая	10	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	100	3,7
Творог и творожные изделия	50	—
Сыры сычужные и плавленые	50	—
Молоко коровье	100	—
Мясо и мясные продукты: говядина, баранина и продукты из них свинина, птица и продукты из них	500 180	— —
Картофель	80	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	3,7
Мука, крупа, сахар	60	—
Жиры растительные	40	—
Маргарин и жиры животные	100	—
Овощи и корнеплоды	100	—
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод	74	—
Ягоды дикорастущие	185	—
Грибы свежие	370	—
Грибы сушеные	2500	—
Детское питание всех видов в готовом для употребления виде	37	1,85
Фрукты	40	—
Молоко концентрированное и сгущенное	200	—
Прочие продукты питания	370	—

Таблица 9.2

**Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине,  
продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой  
продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001)**

Наименование продукции	Удельная активность, Бк/кг
Лесоматериалы круглые для строительства жилых зданий	1480
Лесоматериалы круглые прочие	1480
Древесное технологическое сырье	1480

Окончание табл. 9.2

Наименование продукции	Удельная активность, Бк/кг
Топливо древесное	740
Пиломатериалы, изделия из древесины и древесных материалов для строительства стен жилых зданий	740
Пилопродукция, изделия из древесины и древесных материалов прочие	1850
Прочая непищевая продукция лесного хозяйства	1850

Для получения продукции животноводства, отвечающей допустимым уровням радиоактивного загрязнения продуктов питания, рассчитаны нормативы предельно допустимого содержания радионуклидов в конкретных кормах животных.

**Уровни вмешательства.** Отсутствие единого подхода к ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС, наличие серьезных разногласий по вопросам безопасного проживания и трудовой деятельности на загрязненных территориях, дефицит достоверных данных в мировой науке о действии малых доз радиации на население, длительное время проживающее в реальных условиях хронического внешнего и внутреннего облучения (при одновременном действии на организм гамма-излучения, альфа- и бета-частиц и их комплексного влияния с другими вредными факторами окружающей среды), уникальность и масштабность произошедшей катастрофы требуют определения более жестких критериев проживания по сравнению с действующими.

При разработке критериев проживания исходили из реальных результатов работ по ликвидации последствий катастрофы, отсутствия профилактических мер в первый период после катастрофы, экономических и социальных факторов и определения условий, которые максимально позволяют уменьшить опасность для здоровья населения.

В основу концепции проживания населения на загрязненных радионуклидами территориях положены следующие принципы.

1. Любая, даже самая малая, дополнительная доза радиации не является безопасной для живого организма и требует обязательного принятия мер по ее снижению. В связи с этим следует говорить не об абсолютной безопасности, а о приемлемом риске.

2. Возможность синергизма или усиления повреждающего действия на организм ионизирующих излучений при совместном действии других повреждающих факторов внешней среды.

3. Отсутствие условий для одновременного переселения большого количества населения в чистые регионы и в связи с этим необходимость поэтапного переселения населения.

4. Существование различий в сложившейся радиационной обстановке, наличие химических и других загрязнений среды и другие факторы требуют индивидуального подхода к условиям проживания в каждом населенном пункте.

5. Максимальное сохранение здоровья населения, национальных и культурных ценностей.

Радиационная безопасность населения обеспечивается созданием безопасных условий жизнедеятельности людей, отвечающих требованиям гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия» и санитарных норм и правил «Требования к радиационной безопасности»; установлением квот на облучение от разных источников; организацией радиационного контроля; эффективностью планирования и проведения мероприятий по радиационной защите в нормальных условиях и в случае радиационной аварии, организацией системы информации о радиационной обстановке.

Обеспечение радиационной безопасности является государственной задачей, организуется в целях защиты населения от поражающего воздействия ионизирующих излучений, а внешней среды – от загрязнения радиоактивными веществами при эксплуатации радиоизотопных устройств, при использовании радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений.

Обеспечение радиационной безопасности осуществляется постоянно и достигается проведением специальных мероприятий, которые включают:

- установление и поддержание режима радиационной безопасности;
- контроль за состоянием радиационных объектов.

Радиационная безопасность на объекте и вокруг него обеспечивается:

- 1) за счет качества проекта радиационного объекта;
- 2) обоснованного выбора района и площадки для размещения радиационного объекта;
- 3) физической защиты источников излучения;
- 4) зонирования территории вокруг наиболее опасных объектов и внутри них;
- 5) условий эксплуатации технологических систем;
- 6) разрешений уполномоченных государственных органов на практическую деятельность в сфере обращения с источниками ионизирующего излучения.

При нормальных условиях облучения контроль за источниками осуществляется таким образом, чтобы дозы облучения населения были ниже допустимых уровней, предписанных нормами. При этом контроль доз облучения населения является средством осуществления контроля над

источником, а удержание облучения ниже допустимых уровней не требует ограничения человеческой деятельности.

В случае ядерной или радиационной аварии количество выброшенных радиоактивных веществ не поддается контролю. Это приводит к облучению населения дозами, превышающими основные дозовые пределы для нормального облучения. В этих условиях принцип непревышения основных дозовых пределов не может быть обеспечен путем исправительных действий, направленных на осуществление контроля над источником, и поэтому ограничение последующего облучения осуществляется защитными мероприятиями, применяемыми как к окружающей среде, так и к человеку. Эти мероприятия связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного функционирования территории, т. е. являются вмешательством, влекущим за собой экономический и экологический ущерб, а также риск неблагоприятного воздействия на здоровье населения.

**Вмешательство** – любое действие, направленное на снижение или предотвращение воздействия излучения от источников, которые вследствие аварии вышли из-под контроля.

Основные принципы радиационной безопасности для нормальной деятельности с некоторыми изменениями акцентов применяются и для ситуаций вмешательства. Единственный их компонент, который нельзя применять, – это предел дозы облучения отдельных лиц из числа населения.

В основе принятия решений по вмешательству лежат три следующих общих принципа.

1. Вмешательство должно быть обоснованным, т. е. введение защитной меры должно принести больше пользы, чем вреда (принцип оправданности вмешательства).

2. Уровень, при котором вводится вмешательство, и уровень, при котором оно затем прекращается, должны быть оптимизированы с тем, чтобы добиться максимальной выгоды (принцип оптимизации вмешательства).

3. Должны быть приняты все возможные меры для предотвращения серьезных детерминированных эффектов посредством ограничения доз ниже пороговых значений для этих эффектов.

Вмешательство осуществляется при использовании одного или нескольких защитных мероприятий: организация укрытий и убежищ; назначение препаратов стабильного йода; эвакуация; отселение; защита органов дыхания; индивидуальная санитарная обработка; контроль доступа в загрязненные районы; контроль загрязненности воды и пищевых продуктов и запрет (или ограничение) на отдельные пищевые продукты;

дезактивация местности и имущества; использование индивидуальной защитной одежды; изменение профиля сельскохозяйственного и промышленного производства.

Перечисленные защитные мероприятия сами по себе имеют негативные стороны, так как нарушают привычный уклад общественной и экономической жизни, а иногда оказывают прямое вредное воздействие на здоровье и самочувствие людей. Таким образом, при решении вопроса о введении той или иной конкретной защитной меры требуется оценить как пользу этой меры в терминах снижения риска, так и вред (принцип оправданности вмешательства).

Выбрать оптимальную стратегию – это минимизировать суммарный риск или получить максимальный выигрыш на единицу затрат.

Для каждого защитного мероприятия по соображениям радиационной безопасности целесообразно определить нижний уровень дозы (ниже которого введение защитной меры нецелесообразно, так как ущерб, наносимый вмешательством, превосходит вред от предотвращаемого облучения) и верхний уровень дозы (при котором обязательно следует предпринять выполнение данной защитной меры, так как ущерб от облучения больше ущерба, наносимого самим вмешательством).

Диапазон доз между этими двумя уровнями является тем интервалом, в пределах которого решение о выполнении мер защиты принимается по принципу оптимизации.

При принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими принципами:

- предлагаемое вмешательство должно принести обществу и прежде всего облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, т. е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (*принцип обоснования вмешательства*);

- форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т. е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (*принцип оптимизации вмешательства*).

Если предполагаемая поглощенная доза облучения за 2 сут достигнет уровней: для всего тела – 1 Гр, или для отдельных органов: легкие – 6 Гр; кожа – 3; щитовидная железа – 5; хрусталик глаза – 2; плод – 0,1 Гр, – при превышении которых возможны клинически определяемые детерминированные эффекты, то необходимо срочное вмешательство (меры защиты).

При хроническом облучении в течение жизни защитные мероприятия становятся обязательными, если годовые поглощенные дозы превышают для органов или тканей: гонады – 0,2; хрусталик глаза – 0,1; красный костный мозг – 0,4 Гр. Превышение этих доз приводит к серьезным детерминированным эффектам.



- 
1. Назовите принципы и критерии радиационной безопасности населения.
  2. Каковы основные положения законов Республики Беларусь и других правовых документов по радиационной безопасности населения?
  3. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия». Допустимые уровни облучения.
  4. Приведите допустимые уровни содержания радионуклидов в воде, воздухе, продуктах питания в Республике Беларусь.
  5. Что такое уровни вмешательства?

## ЛЕКЦИЯ 10

# ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

- 10.1. Возможный характер современной войны и ее последствия для человеческой цивилизации
- 10.2. Ядерное оружие, поражающие факторы ядерного взрыва.
- 10.3. Обычное оружие и его поражающие факторы.

### 10.1. Возможный характер современной войны и ее последствия для человеческой цивилизации

В современном мире различают 4 компонента государственной безопасности:

- а) *политический* – сохранение суверенитета, недопущение ущемления своих интересов;
- б) *экономический* – кооперация и интеграция с другими странами, выход на мировые рынки;
- в) *гуманитарный* – соблюдение прав человека, оказание гуманитарной помощи страждущим, борьба с наркотиками;
- г) *экологический* – действия, направленные на сохранение окружающей среды, закрепление разумного отношения к природе.

Современная международная ситуация характеризуется ростом глобальной нестабильности, вызванной стремлением Соединенных Штатов Америки сохранить политическое, военное и экономическое доминирование на мировой арене при полном игнорировании норм международного права и интересов других стран.

Вашингтон и его союзники своими действиями стремятся подменить Организацию Объединенных Наций и снизить ее роль в вопросах поддержания мира на планете и разрешения кризисных ситуаций. Яркими примерами деструктивных действий США в 2019 г. стали события в Венесуэле, Сирии, Гонконге и Боливии.

Основная причина подобных подходов Вашингтона – неготовность правящих кругов США согласиться с продвигаемой Россией, Китаем и

рядом других стран концепцией многополярного мира, которую американские политики рассматривают в качестве серьезного вызова «американскому глобальному лидерству».

США стремятся манипулировать международным правом в угоду своим интересам, в частности добиться «переформатирования» сложившейся системы контроля над вооружением.

Такие шаги США, как выход из Договора о ликвидации ракет средней и меньшей дальности и из Совместного всеобъемлющего плана действий по урегулированию ситуации вокруг иранской ядерной программы, недобросовестное выполнение Договора о стратегических наступательных вооружениях (СНВ), изучение возможности отказа от участия в Договоре по открытому небу, а также нежелание ратифицировать Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний существенно подрывают стратегическую стабильность.

При этом срок действия Договора СНВ-3 истекает уже в феврале 2021 г. В качестве условия его продления Вашингтон предлагает кардинально пересмотреть содержание документа. В частности, включить в него неядерные стратегические системы, тактическое ядерное оружие, а также подключить к числу участников Китай. Такая позиция может свидетельствовать о намерении США под предлогом заведомо неприемлемых для Российской Федерации требований сорвать продление соглашения и избавиться от налагаемых им ограничений.

Американское руководство последовательно выступает против формирования международной правовой базы, запрещающей использование в военных целях космического пространства. Пентагон рассматривает космос в качестве потенциального театра военных действий и пытается обеспечить себе полную свободу маневра на данном направлении.

В 2019 г. в США начато формирование нового вида вооруженных сил – космических войск. Создано Объединенное космическое командование (ОКК), отвечающее за их подготовку и боевое применение. В распоряжении ОКК находится крупнейшая в мире орбитальная группировка.

Вашингтон наращивает военные расходы, оказывает давление на своих союзников для увеличения финансирования НАТО. Так, американский военный бюджет на 2020 финансовый год составляет 748,8 млрд долларов (в 16 раз больше российского). По замыслу Белого дома, к 2024 г. данный показатель достигнет 800 млрд. Совокупный военный бюджет альянса уже значительно превысил 1 трлн долларов, а к 2024 г. планируют довести расходы на оборону до 2% ВВП.

Соединенные Штаты и их союзники ведут работы по созданию перспективных высокотехнологичных систем вооружений, обладающих качественно новыми возможностями и способных обеспечить устойчивое превосходство над сопоставимыми по военному потенциалу противниками. К таким системам относятся гиперзвуковые ударные средства различного базирования, автономные робототехнические комплексы, оружие на новых физических принципах (лазерное, электромагнитное и др.).

Активно развиваются и внедряются в информационные системы военного назначения технологии искусственного интеллекта. Выполняются прикладные исследования в области нейротехнологий, генной инженерии и регенеративной медицины. Полученные результаты могут быть использованы для наращивания физического и умственного потенциала военнослужащих, а также для скрытного воздействия на экосистемы и население «недружественных» стран.

США и НАТО придают ключевое значение психологическому воздействию на руководство вооруженных сил и спецслужб недружественных государств. Для этого используются различные формы угроз, шантаж, подкуп и иные специфические методы.

Курс США, направленный на военное «сдерживание» России, открыто поддерживают НАТО и Европейский союз.

На территории Болгарии, Венгрии, Латвии, Литвы, Польши, Румынии и Эстонии развернуты шесть батальонных тактических групп, две из которых – американские. В Европе Вашингтон дополнительно разместил на ротационной основе бронетанковую бригаду и бригаду армейской авиации.

В 2020 г. Североатлантический союз провел серию командно-штабных и войсковых учений типа «Дефендер» по отработке планов «оказания военной помощи» восточноевропейским союзникам. В рамках этого учения в страны Балтии и Польшу (впервые за последние 30 лет) к границам Беларуси были переброшены крупные группировки американских, канадских и британских войск.

Дестабилизирующее влияние на ситуацию в Европе оказывает деятельность США по повышению боевых возможностей европейского сегмента американской противоракетной обороны. Завершается строительство противоракетной базы в Польше, на которой планируется разместить противоракеты «Стандарт-3» мод. 2А. Такими же средствами предполагается оснастить действующий комплекс «Иджис Эшор» в Румынии. Эти комплексы в кратчайшие сроки могут быть переоборудованы для использования наступательного вооружения – крылатых ракет «Томагавк-2» ( дальность стрельбы 2400 км).

Согласно прогнозам военные конфликты могут возникнуть в связи с развернувшейся борьбой транснациональных сил за источники сырья и сохранение контроля над распределением сокращающихся энергоресурсов и за их новый передел на планете.

*Каким же может быть характер новых возможных войн и вооруженных конфликтов?*

В последнее десятилетие произошел решительный поворот военных теоретиков и историков к разработке новой концепции войны, новых форм и способов вооруженной борьбы. Они исходят из того, что появились новейшие технологии, высокоточное оружие на новых физических принципах, что неизбежно изменит характер будущей войны.

**Характерные черты современных войн.** К перечисленным чертам относятся: скрытность подготовки агрессии и решительность поставленных целей, применение всего арсенала средств вооруженной борьбы, ведение ее во всех сферах (на суше, море, в воздухе и космосе) при возрастающей роли средств воздушно-космического нападения и информационной борьбы, активная борьба за завоевание стратегической инициативы и превосходства в управлении, огневое поражение важнейших объектов экономики и инфраструктуры государства на всю глубину их размещения.

Военные теоретики не исключают полностью возможности применения ядерного и других видов оружия массового поражения. Военными доктринаами всех ядерных государств предусматривается так называемое ограниченное применение ядерного оружия.

Следует учитывать, что и обычное (неядерное) высокоточное оружие может вызвать последствия, соизмеримые с результатами применения традиционного ОМП. Это обусловлено тем, что в ходе военных действий целями будут промышленные объекты, хранилища АХОВ и радиоактивных отходов, АЭС и т. п. могут нанести урон, сравнимый с последствиями ядерной катастрофы. Например, бомбардировки в 1943–1945 гг. Дрездена, Гамбурга, Токио привели в каждом из этих городов к жертвам, не меньшим, чем атомные атаки на Хиросиму и Нагасаки.

Ныне аналогичный эффект может вызвать использование даже в небольших масштабах высокоточного оружия по системам безопасности атомного реактора или хранилищам радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива. Разрушение систем теплоотвода от активной зоны реактора способно вызвать выброс до 90% радиоактивных элементов и радиоактивному загрязнению территории площадью от 237 до 410 тыс. км<sup>2</sup>.

## 10.2. Ядерное оружие. Поражающие факторы ядерного взрыва

**Ядерным оружием** называется оружие, поражающее действие которого обусловлено энергией, освобождающейся при ядерном взрыве. При ядерном взрыве источником энергии являются ядерные реакции деления тяжелых ядер некоторых изотопов урана ( $U-233$ ,  $U-235$ ) и плутония ( $Pu-239$ ) или термоядерные реакции синтеза легких ядер изотопов водорода (дейтерия и трития) и более тяжелые, например ядра изотопов гелия.

При ядерном взрыве источником энергии выступают *ядерные реакции деления* тяжелых ядер некоторых изотопов урана ( $U-233$ ,  $U-235$ ) и плутония ( $Pu-239$ ) или термоядерные реакции синтеза легких ядер изотопов водорода (дейтерия и трития) и более тяжелые, например ядра изотопов гелия.

**Цепной реакцией деления ядер** называется реакция, которая, начавшись делением одного или нескольких ядер, может продолжаться в веществе без внешнего воздействия, т. е. является саморазвивающейся.

Цепная реакция деления возможна только в определенном количестве урана или плутония, превышающем его так называемую критическую массу.

**Критическая масса** – это наименьшая масса делящегося вещества, в которой может развиваться цепная ядерная реакция деления.

Величина критической массы может колебаться в широких пределах и зависит от вида делящегося вещества ( $U-233$   $U-235$   $Pu-239$ ) формы и размеров зарядов, содержания делящихся изотопов, плотности веществ, наличия отражателей нейтронов, импульсных источников нейтронов и других факторов. Так, например, для сферического заряда, содержащего 93,5% урана-235 при плотности вещества 18,8 г/см<sup>3</sup>, критическая масса без отражателей нейтронов равна 48 кг. За счет наличия отражателей нейтронов критическая масса может быть значительно уменьшена. Величина критической массы также резко уменьшается по мере увеличения содержания делящегося вещества.

Основными частями ядерного боеприпаса являются делящееся вещество (собственно ядерный заряд), отражатель нейтронов, заряд обычного взрывчатого вещества и искусственный источник нейтронов.

Формирование надкритической массы делящегося вещества в ядерных зарядах может осуществляться различными способами.

В ядерном заряде пушечного типа делящееся вещество до момента взрыва разделено на несколько частей, масса каждой из которых меньше критической. Для быстрого соединения этих частей в одно целое и

перевода ядерного заряда в надкритическое состояние применяется взрыв обычных ВВ (тротил, гексоген и др.). В момент взрыва этих веществ все части ядерного заряда соединяются в единое целое, масса делящегося вещества становится больше критической, в нем протекает цепная ядерная реакция деления и происходит ядерный взрыв. При достижении критической массы реакция деления инициируется потоком нейтронов, испускаемых специально вводимым в ядерное зарядное устройство источником нейтронов.

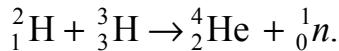
В зарядах имплозивного типа формирование надкритической массы осуществляется повышением плотности делящегося вещества путем его всестороннего обжатия давлением взрыва обычного взрывчатого вещества. Делящееся вещество в этих зарядах имеет массу меньше критической и располагается внутри заряда из обычного взрывчатого вещества. При взрыве обычного взрывчатого вещества делящееся вещество подвергается сильному обжатию, плотность его увеличивается, масса становится надкритической и в нем развивается реакция деления. Чем больше степень обжатия, тем выше надкритичность ядерного горючего и, соответственно, больше мощность взрыва. При увеличении плотности делящегося вещества, например в 2 раза, критическая масса его уменьшается в 4 раза.

В целях снижения уровня разрушения зданий и сооружений, т. е. сохранения материальных ценностей, созданы новые образцы ядерного оружия, в частности *нейтронная бомба*, энергия взрыва которой в основном трансформируется в губительное для всего живого нейтронное излучение.

При взрыве нейтронного боеприпаса мощностью в 1 килотонну на высоте нескольких сотен метров на открытой местности все люди погибнут в течение 5 мин на площади 270 га ( $1 \text{ га} = 10\,000 \text{ м}^2$ ). При этом все объекты и предметы в зоне воздействия проникающей радиации сами станут источниками излучения. Для сравнения, обычный ядерный заряд аналогичной мощности поражает людей на площади в 7 раз меньше, чем нейтронная бомба.

В термоядерных боеприпасах в качестве горючего используется смесь изотопов водорода –дейтерия и трития. Реакция синтеза легких ядер возможна лишь при температуре, достигающей десятков миллионов градусов, поэтому термоядерные заряды имеют в своем составе ядерный заряд деления. В термоядерном заряде вслед за взрывной реакцией деления, которая вызывает нагрев термоядерного горючего, происходит интенсивная реакция соединения ядер атомов дейтерия и трития, сопровождающаяся выделением огромного количества энергии. В результате реакции возникает ядро атома гелия и свободный нейtron,

выделившаяся энергия распределяется между ядром атома гелия (4 МэВ) и нейтроном (14 МэВ):



*Мощность ядерных боеприпасов* принято характеризовать тротиловым эквивалентом, т. е. таким количеством тротила в тоннах, при взрыве которого выделяется такое же количество энергии, что и при взрыве данного ядерного заряда.

Ядерные заряды по мощности условно делятся:

- 1) на сверхмалые – до 1 кт;
- 2) малые – 1–10 кт;
- 3) средние – 10–100 кт;
- 4) крупные – 100 кт – 1 Мт;
- 5) сверхкрупные – свыше 1 Мт.

В зависимости от задач, решаемых применением ядерного оружия, ядерные взрывы могут производиться в воздухе, на поверхности земли и воды, под землей и водой. В соответствии с этим различают высотный, воздушный, наземный (надводный), подземный (подводный) взрывы.

**Высотный ядерный взрыв** – это взрыв, произведенный на высоте свыше 10 км.

**Воздушный ядерный взрыв** – это взрыв, произведенный на высоте до 10 км, когда светящаяся область не касается земли (воды).

**Наземный (надводный) ядерный взрыв** – это взрыв, произведенный на поверхности земли (воды), при котором светящаяся область касается поверхности земли (воды), а пылевой (водяной) столб с момента образования соединен с облаком взрыва.

**Подземный (подводный) ядерный взрыв** – это взрыв, произведенный под землей (водой).

**Поражающие факторы ядерного взрыва.** Основными поражающими факторами ядерного взрыва являются:

- воздушная ударная волна;
- световое излучение;
- проникающая радиация;
- радиоактивное заражение местности;
- электромагнитный импульс.

**Ударная волна** ядерного взрыва возникает в результате быстрого расширения светящейся раскаленной массы газов в центре взрыва и представляет собой область резкого сжатия воздуха, которая распространяется с большой скоростью от центра взрыва в радиальных направлениях.

В момент ядерного взрыва в зоне ядерной реакции давление достигает порядка 100 млн МПа и температура 10 млн градусов. Действие ударной волны продолжается несколько секунд.

Поражения ударной волной вызываются как действием избыточного давления, так и скоростным напором, обусловленным движением воздуха в волне.

Травмы от избыточного давления ударной волны по степени делятся на крайне тяжелые – при избыточном давлении 80–100 кПа – заканчиваются, как правило, смертельным исходом, тяжелые (50–80 кПа), средней тяжести (30–50 кПа) и легкие (20–30 кПа).

Здания и сооружения с металлическим каркасом разрушаются при избыточном давлении ударной волны 50–80 кПа, кирпичные здания – 30–40 кПа, деревянные строения – 10–20 кПа.

Поражения человеку могут быть нанесены также в результате косвенного воздействия ударной волны летящими обломками зданий, деревьев, а также при ударе в результате отбрасывания. В ряде случаев тяжесть поражения от косвенного воздействия может быть больше, чем от непосредственного действия ударной волны, а количество пораженных – преобладающим.

*Световое излучение ядерного взрыва* – результат выделения лучистой энергии в виде ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных лучей. Световое излучение характеризуют световым импульсом – количеством световой энергии, падающей на 1 м<sup>2</sup> поверхности, перпендикулярной к направлению лучей за время свечения, измеряют в джоулях на квадратный метр (Дж/м<sup>2</sup>). Источником светового излучения является огненный шар, состоящий из раскаленных газообразных продуктов взрыва. Температура в центре огненного шара вначале достигает порядка 10 млн градусов, а в конце свечения (до 3–30 с) понижается до 1–2 тыс. °С. Время свечения огненного шара зависит от мощности взрыва; при мощности взрыва 20 кт – 3 с, при 10 Мт – 23 с. Воздействие светового излучения на людей вызывает ожоги кожи, поражение глаз и временное ослепление. Ожоги возникают от непосредственного воздействия светового излучения на открытые участки кожи (первичные ожоги), а также от горящей одежды, в очагах пожаров (вторичные ожоги). В зависимости от тяжести поражения ожоги делятся на четыре степени: первая – покраснение, припухлость и болезненность кожи – от светового импульса мощностью 100–200 кДж/м<sup>2</sup>, вторая – образование пузырей (200–400 кДж/м<sup>2</sup>), третья – омертвление кожных покровов и тканей (400–600 кДж/м<sup>2</sup>), четвертая – обугливание кожи (более 600 кДж/м<sup>2</sup>).

Ожоги глазного дна (при прямом взгляде на взрыв) возможны на расстояниях, превышающих радиусы зон ожогов кожи. Временное ослепление

возникает обычно ночью и в сумерки и не зависит от направления взгляда в момент взрыва и будет носить массовый характер.

Надежная защита населения от светового излучения может быть обеспечена защитными сооружениями (убежищами и противорадиационными укрытиями).

*Проникающая радиация* ядерного взрыва представляет собой совместное гамма- и нейтронное излучение. Поражающее действие проникающей радиации длится 10–15 с и распространяется в зависимости от мощности ядерного взрыва в радиусе до 4 км. За это время огненный шар ядерного взрыва поднимается на высоту, превышающую радиус действия проникающей радиации.

Проникающая радиация оказывает сильное ионизирующее воздействие на организм человека и другие биологические объекты, вызывая лучевую болезнь. Под действием нейтронов, кроме того, нерадиоактивные атомы среды превращаются в радиоактивные, т. е. образуется наведенная активность. Поражающее действие проникающей радиации характеризуется величиной дозы излучения, т. е. количеством энергии радиоактивных излучений, поглощенной единицей массы облучаемой среды.

На основании многочисленных данных, собранных в Хиросиме и Нагасаки, было установлено, что доза радиации 5 Зв (500–600 бэр) является абсолютно смертельной для человека. Доза 3–4 Зв (300–400 бэр) у 50% облученных вызывает смертельный исход. При облучении дозой 1,5–2 Зв (150–200 бэр) у половины людей наблюдаются выраженные признаки лучевого поражения.

Защитные сооружения, обеспечивающие защиту населения от ударной волны, обеспечивают защиту и от проникающей радиации.

*Радиоактивное заражение местности* является следствием трех причин.

1. Основная причина радиоактивного заражения местности – «осколки» деления ядерного горючего. Существует около 40 различных вариантов деления ядер урана или плутония в ходе цепной ядерной реакции. Это приводит к образованию 80 первичных осколков – изотопов различных химических элементов средней части периодической таблицы Д. И. Менделеева. Бета-распад многих осколков сопровождается гаммаизлучением и образованием радиоактивных ядер атомов других элементов. В среднем каждый первичный осколок деления претерпевает 3–4 последовательные стадии радиоактивного распада, заканчивающиеся образованием стабильных ядер; при этом в каждой цепочке радиоактивных превращений испускается 3–4 бета-частицы и 1 гамма-квант. Всего среди продуктов деления обнаружено около 200 различных изотопов 36 химических элементов.

На каждую килотонну мощности взрыва образуется около 37 г продуктов деления или 37 кг на 1 Мт.

2. Второй причиной радиоактивного заражения местности является наведенная активность, которая имеет важное значение только в зоне распространения нейтронов.

Радиоактивные изотопы алюминия, марганца и натрия под действием нейтронов образуются в зоне радиусом примерно 800–1000 м от центра взрыва. Наведенная активность может образовываться также в различных конструкционных материалах. При радиоактивном распаде активированных изотопов испускаются бета-частицы и гамма-кванты.

3. Кроме продуктов деления и наведенной активности, существует еще третья причина радиоактивного заражения – не разделившаяся часть ядерного заряда (урана или плутония). Эти элементы являются альфаактивными.

Степень радиоактивного заражения местности, размеры и форма зон заражения зависят от ряда факторов: мощности и вида взрыва, скорости и направления ветра на разной высоте в пределах высоты подъема радиоактивного облака, рельефа местности, характера грунта в районе взрыва.

Наиболее сильное радиоактивное заражение местности образуется при наземных и неглубоких подземных ядерных взрывах. При наземном взрыве большое количество грунта захватывается огненным шаром. По мере подъема огненного шара и его охлаждения радиоактивные продукты перемешиваются с грунтовой пылью. После стабилизации облако перемещается в направлении движения воздушных потоков. Из облака осаждаются на поверхность земли частицы и образуют радиоактивный след. Размеры радиоактивного следа зависят от мощности взрыва и скорости среднего ветра, поэтому размеры зон заражения увеличиваются. Заражение местности на следе облака неравномерно.

Поскольку поражающее действие радиоактивного заражения обусловливается в основном гамма-излучением, испускаемым при распаде радиоактивных веществ, то степень заражения местности принято характеризовать мощностью экспозиционной дозы (МЭД)  $X$  (Р/ч) либо дозой радиации до полного распада радиоактивных веществ  $X$  (в рентгенах).

По степени заражения местности и возможным последствиям внешнего облучения след условно делится на 4 зоны: умеренного заражения (зона А), сильного заражения (зона Б), опасного заражения (зона В) и чрезвычайно опасного заражения (зона Г). МЭД на внешних границах этих зон через 1 ч после взрыва составляют 8, 80, 240, и 800 Р/ч, дозы радиации до полного распада соответственно 40, 400, 1200 и 4000 Р. С течением времени вследствие естественного распада радиоактивных

веществ МЭД на следе радиоактивного заражения уменьшаются. Спад уровня радиации подчиняется зависимости

$$X_t = X_1 \cdot X_1^{-1,2},$$

где  $X_t$  – уровень радиации на любое заданное время  $t$  после взрыва, Р/ч;  $X_1$  – уровень радиации на один час после взрыва, Р/ч;  $t$  – время, прошедшее после ядерного взрыва, ч.

Для людей на зараженной местности основную опасность представляет внешнее гамма-облучение, которое обладает большой проникающей способностью и оказывает разрушающее действие на ткани организма и кроветворные органы.

Для надежной защиты людей от облучения необходимо использовать убежища и противорадиационные укрытия с коэффициентом ослабления более 100.

**Электромагнитный импульс.** При ядерных взрывах в окружающем пространстве возникают электромагнитные поля, которые наводят электрические токи и напряжения в проводах и кабелях воздушных и подземных линий связи, управления, сигнализации, электропередачи, в антенах радиостанций. В силу кратковременности электромагнитных полей ядерного взрыва их принято называть электромагнитным импульсом (ЭМИ).

Наведенные токи и напряжения большей величины достигают при контактах (наземных) и низких воздушных ядерных взрывах. При подземных (подводных) и высоких воздушных взрывах ЭМИ практически не оказывает поражающего воздействия.

Наведенные токи и напряжения большей величины достигают при контактах (наземных) и низких воздушных ядерных взрывах. При подземных (подводных) и высоких воздушных взрывах ЭМИ практически не оказывает поражающего воздействия.

При наземных и низких воздушных взрывах в зоне радиусом несколько километров от места взрыва в линиях связи и электроснабжения наводятся напряжения, которые могут вызвать пробой изоляции проводов и кабелей относительно земли, пробои изоляции элементов аппаратуры и устройств, подключенных к воздушным и подземным линиям.

Воздействию ЭМИ сильно подвержены линии связи, так как применяемые в них кабели и аппаратура имеют электрическую прочность, не превышающую 2–4 кВ напряжения постоянного тока.

Задача от ЭМИ достигается экранированием линий энергоснабжения и управления, а также аппаратуры. Все наружные линии должны быть хорошо изолированными от земли.

## **10.3. Обычное оружие и его поражающие факторы**

Обычные средства поражения, при применении которых могут возникать очаги поражения, – это зажигательные средства, боеприпасы объемного взрыва, кассетные боеприпасы (так называемое «площадное» оружие), фугасные боеприпасы большой мощности и другие виды оружия.

**Зажигательное оружие** включает зажигательные боеприпасы и огнесмеси, а также средства их доставки к цели. Действие зажигательного оружия основано на использовании зажигательных веществ, которые применяют в виде смесей в жидком, желеобразном и твердом виде; при горении они способны выделять большое количество тепла и разогревать высокую температуру. В зависимости от химического состава зажигательные вещества делятся на горящие, с использованием кислорода, воздуха (напалм, пирогель, белый фосфор, сплав «электрон») и горящие без доступа воздуха (термит и термитно-зажигательные составы, кислородосодержащие соли). Последние в своем составе содержат окислители.

**Зажигательные вещества** на основе нефтепродуктов и органических горючих растворителей типа напалмов американские войска широко использовали в период войны в Корее и Вьетнаме. Характерная особенность поражающего действия напалма – сочетание его зажигательных свойств с отравляющим действием окиси углерода, образующейся при горении напалма. Способность напалма налипать на пораженные участки приводит к сильным ожогам с коагуляцией мышечных, жировых и других глубоко расположенных тканей, а при попадании на различные конструкции затрудняет тушение возникающих пожаров. Зажигательные боеприпасы и огнесмеси применяются авиацией (зажигательные баки, бомбы, кассеты), артиллерией (зажигательные снаряды, мины), в огнеметах.

**Вакуумное оружие** – боеприпасы объемного взрыва. Для снаряжения таких боеприпасов используются жидкие и пастообразные рецептуры углеводородных горючих веществ, которые при распылении в воздушной среде в виде аэрозоля образуют взрывчатые топливно-воздушные смеси. Действие данных боеприпасов основано на одновременном подрыве распыленного облака горючих смесей в нескольких точках. В результате взрыва по всему объему образуется жесткая ударная волна, резко возрастает температура воздуха, создается обедненная кислородом и отравленная продуктами сгорания атмосфера. Энергия взрыва и поражающее действие боеприпасов объемного взрыва в 4–6 раз, а в перспективе, по мнению американских специалистов, могут быть в 10–12 раз больше, чем у равных по весу фугасных боеприпасов,

снаряженных тротилом. Например, при весе снаряжения такого боеприпаса 450 кг действие объемного взрыва может быть эквивалентным ядерному взрыву мощностью 10 т. Таким образом, боеприпасы объемного взрыва по поражающему действию сопоставимы с ядерными боеприпасами сверхмалого калибра.

**Кассетные боеприпасы** – это авиационные кассеты (управляемые и неуправляемые), установки кассетного типа с управляемыми ракетами, реактивные снаряды, снаряженные боевыми элементами (субснарядами), и др. Субснаряды выбрасываются вышибным снарядом над целью для ее поражения. Используются боевые элементы различного назначения: осколочные, осколочно-фугасные, кумулятивные, загигательные и др.

Достижение сочетания мощности боевого заряда и точности его доставки к конкретно назначенной цели должно обеспечивать ее поражение первым выстрелом с вероятностью не менее 0,5.

**Радиочастотное оружие** – это такие средства, поражающее действие которых основано на использовании радиоизлучений сверхвысоких или очень низких частот (от 3 до 30 ГГц; от 3 до 30 кГц). Вызывают поражения жизненно важных органов и систем человека (мозг, сердце, ЦНС), также действуют на психику.

**Инфразвуковое оружие** – это средства массового поражения, основанные на использовании направленного излучения мощных инфразвуковых колебаний, – с частотой ниже 16 Гц. Такие излучения воздействуют на ЦНС и пищеварительные органы, вызывают головную боль, болевые ощущения, чувство страха и паники.

**Радиологическое оружие** – оружие, действие которого основано на использовании боевых радиоактивных веществ (порошки и растворы веществ, содержащих радиоактивные изотопы).

В военных целях могут быть использованы новые виды биосферного оружия: геофизическое и техносферное.

**Геофизическое оружие** – это различные средства, позволяющие использовать в военных целях разрушительные силы неживой природы путем искусственно вызываемых изменений в физических процессах, протекающих в атмосфере и литосфере Земли. Геофизические процессы характеризуются огромными запасами энергии, которые по мощности превышают все средства поражения. К разновидностям геофизического оружия относят: метеорологическое, гидросферное, литосферное и климатическое оружие.

**Метеорологическое оружие** – воздействие на атмосферные процессы: разрушение слоя озона; изменение газового состава в локальных объемах; создание зон возмущений в ионосфере.

*Гидросферное оружие* – изменение химических, физических и электрических свойств океана: создание волн типа цунами; воздействие на тайфуны; разрушение гидротехнических сооружений и создание наводнений.

*Литосферное оружие* – инициирование землетрясений, стимулирование извержений вулканов.

*Климатическое оружие* – изменение температурного режима в определенных районах и климата в целом.

В развернутой гонке вооружения особое внимание уделяется созданию оружия, основанного на новых физических принципах. К таким видам оружия относится лучевое (направленной энергии), которое основано на непосредственном переносе энергии от источника излучения к объекту поражения. Виды лучевого оружия: лазерное, пучковое и сверхвысокочастотное.

Лазерное оружие основано на использовании энергии узких пучков электромагнитного излучения в оптическом диапазоне спектра. Считается, что поражающим фактором лазерного оружия является термомеханическое воздействие на объект. Луч лазера, генерируемый короткими импульсами, вызывает быстрое повышение температуры поверхности цели, в результате чего часть оболочки расплывается и даже испаряется. При испарении оболочки происходит взрыв и возникает ударная волна, проникающая внутрь цели. При испарении металлической оболочки может возникать рентгеновское излучение большой мощности, способное разрушить цель или вывести из строя электронную аппаратуру. Оно может применяться для разрушения (быстрого плавления и испарения) многих видов оружия и боевой техники.

Пучковое оружие основано на воздействии узкого пучка высокогенеретических элементарных частиц на цель. Считается, что поражающими факторами пучкового оружия являются термомеханическое и радиационное воздействие на цель. Первое происходит в результате преобразования кинетической энергии частиц в тепловую, которая вызывает плавление и испарение материала цели. Радиационное поражение (живой силы, электронной аппаратуры и др.) обусловлено воздействием частиц высокой энергии на клетки организма и аппаратуру.

Неотъемлемым элементом общемировой политической жизни был и остается терроризм, в самом общем смысле слова понимаемый как резкое, неожиданное и концентрированное насилие. Направленный на ключевые персоны, социальные и этнические группы, общественные, политические или государственные организации, террор подобен партизанскому движению на оккупированной территории. При этом глобальным объектом для атаки сегодня является не конкретная жертва, а общественное мнение.

Это стало возможным, потому что цивилизация рубежа столетий выстроена вокруг высоких технологий информационного обмена. Сбор, обработка и распределение громадных массивов данных теперь гораздо важнее для общества, чем разведка и добыча полезных ископаемых, доходнее, чем производство автомобилей и самолетов.

Разрывы нефтепроводов и крушения танкеров, трагедии Бхопала и Чернобыля подтвердили, что современная техносфера очень уязвима. Нет почти никаких препятствий для устройства катастроф, результаты которых были бы сравнимы с боевым применением оружия массового поражения. Но удары по объектам техносферы лишь масштабами отличаются от взрывов автомобилей и поездов.

Спутниковые комплексы являются привлекательной целью для атаки по ряду обстоятельств. Это, без сомнения, ключевое звено глобальных сетей связи и управления. Современный бизнес немыслим без перекачки массивов коммерческой информации международными системами типа «Интелсат» или сотовой телефонной связи. В быт цивилизованного человека прочно вошло спутниковое телевидение. Управление военными операциями невозможно без космических помехозащитных комплексов.



1. Перечислите основные источники военных конфликтов.
2. Охарактеризуйте черты современной войны.
3. Назовите варианты антропогенного воздействия на объекты природной среды при ведении военных действий, приводящие к экологической катастрофе.
4. Чем отличается нейтронная бомба от обычного ядерного боеприпаса по воздействию на биологические объекты?
5. Охарактеризуйте поражающие факторы ядерного взрыва.
6. Какие виды вооружений относят к обычному оружию?
7. Какая роль высокоточного оружия в современной войне?
8. Какие виды обычного оружия по масштабам поражения сравнимы с оружием массового поражения?

## ЛЕКЦИЯ 11

# ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ПРИМЕНЕНИЕМ ОРУЖИЯ МАССОВОГО ПОРАЖЕНИЯ

- 11.1. Химическое оружие.
- 11.2. Биологическое оружие.
- 11.3. Характеристика очагов ядерного, химического и биологического поражения.
- 11.4. Характеристика очагов поражения, возникающих при авариях на радиационно-опасных объектах.
- 11.5. Очаги поражения, возникающие при авариях на предприятиях со взрыво- и пожароопасными технологиями.
- 11.6. Очаги поражения, возникающие в результате стихийных бедствий.

### 11.1. Химическое оружие

Среди современных средств массового поражения химическое оружие занимает одно из главных мест. Оно отличается от огнестрельного тем, что поражает людей на больших площадях (достигающих сотен квадратных километров), причем находящихся в различных укрытиях.

Основой химического оружия выступают *отравляющие вещества* – высокотоксичные соединения, предназначенные для поражения людей. По сравнению с миллионами известных химических соединений, число боевых ОВ и ядов незначительно.

Применение химического оружия запрещено международными соглашениями, однако использование его по сей день не исключено, так как компоненты ОВ применяются в химической промышленности в качестве сырья для получения продукции мирного назначения. Разработка химических боеприпасов в бинарном снаряжении позволяет скрыть от международного контроля производство химического оружия, так как компоненты бинарных боеприпасов – нетоксичные или малотоксичные химические вещества.

**Классификация отравляющих веществ.** Наибольшее практическое применение получила физиологическая классификация, которая

основана на механизме токсического действия ОВ на организм. По этой классификации ОВ подразделяются на шесть групп: нервно-паралитические, общедовитые, кожно-нарывные, удушающие, психохимические и раздражающие.

**Нервно-паралитические ОВ** – зарин, зоман, ви-икс (V-газы) – поражают через органы дыхания, кожные покровы и при попадании ОВ в желудочно-кишечный тракт. При ингаляционном воздействии симптомы поражения проявляются чрезвычайно быстро. Через 1–2 мин у человека появляется миоз (сужение зрачка), сопровождающийся затруднением дыхания, усиливается выделение слюны и слизи из носа. Эти явления сопровождаются сильными головными болями и могут сохраняться от 2 до 3 сут. При воздействии на организм смертельных концентраций ОВ возникают сильный миоз, удушье, обильное слюнотечение и потоотделение, появляются чувство страха, рвота, судороги, которые могут продолжаться несколько часов, потеря сознания. Смерть наступает от паралича дыхания и сердца.

При действии через кожу картина поражения в основном аналогична ингаляционной.

**Первая помощь.** Пораженному необходимо ввести антидот с помощью шприца-тюбика с красным колпачком из индивидуальной аптечки и удалить его из зараженной атмосферы. Если в течение 10 мин судороги не сняты, антидот вводится повторно. В случае остановки дыхания произвести искусственное дыхание. При попадании ОВ на тело немедленно обработать зараженные места с помощью индивидуального противохимического пакета (ИПП). При попадании ОВ в желудок необходимо вызвать рвоту и промыть желудок 1%-ным раствором питьевой соды, пораженные глаза промыть 2%-ным раствором питьевой соды.

Наличие нервно-паралитических ОВ в воздухе и объектах обнаруживается с помощью приборов химической разведки (индикаторная трубка с красным кольцом и точкой) и газосигнализаторов. Для обнаружения аэрозолей ви-икс используется индикаторная пленка АП.

**Отравляющие вещества общедовитого действия** вызывают общее отравление организма, поражая его жизненно важные системы. При попадании этих веществ в организм нарушается передача кислорода из крови к тканям. К ним относятся синильная кислота, хлорциан, оксид углерода.

**Синильная кислота** в больших количествах используется в химической промышленности, относится к чрезвычайно токсичным веществам, поэтому может быть применена в качестве отравляющего вещества. Поражение наступает при вдыхании зараженного воздуха, при высоких концентрациях – и через кожу. При поражении синильной кислотой

появляются металлический привкус, жжение во рту, онемение кончика языка, покалывание в области глаз, состояние беспокойства, слабость и головокружение. Появляется чувство страха, расширяются глаза, пульс становится резким, а дыхание неравномерным. Пораженный теряет сознание, начинается приступ судорог, за которым следует паралич. Смерть наступает от остановки дыхания.

При действии очень высоких концентраций возникает так называемая молниеносная форма поражения: человек сразу же теряет сознание и от остановки дыхания наступает смерть. При попадании через органы дыхания смертельная доза составляет  $2000 \text{ мг}\cdot\text{мин}/\text{м}^3$ .

*Хлорциан* – бесцветная летучая жидкость с резким неприятным запахом, температурой кипения  $12,6^\circ\text{C}$ , является стабилизатором синильной кислоты. Смертельная доза  $4000 \text{ мг}\cdot\text{мин}/\text{м}^3$ . По своим токсическим свойствам похож на синильную кислоту.

*Первая помощь.* На пораженного надеть противогаз и ввести антидот (амилнитрит) в подмасочное пространство лицевой части противогаза. При необходимости сделать искусственное дыхание.

Основным *отравляющим веществом кожно-нарывного действия* является *иприт*, который представляет собой желтоватую жидкость с запахом чеснока или горчицы, хорошо растворимую в органических растворителях и плохо растворимую в воде.

Иприт обладает поражающим действием при любых путях проникновения в организм. Поражения слизистых оболочек глаз, носоглотки и верхних дыхательных путей проявляются даже при незначительных концентрациях иприта. При более высоких концентрациях наряду с местными поражениями происходит общее отравление организма. Иприт имеет период скрытого действия (2–8 ч) и обладает кумулятивностью. В момент контакта с ипритом раздражение кожи и болевые эффекты отсутствуют. Пораженные ипритом места предрасположены к инфекции. Поражение кожи начинается с покраснения, которое проявляется через 2–6 с после воздействия иприта. Через сутки на месте покраснения образуются мелкие пузыри, наполненные желтой прозрачной жидкостью. В последующем происходит слияние пузырей. Через 2–3 дня пузыри лопаются и образуются долго незаживающие язвы.

При вдыхании паров или аэрозоля иприта первые признаки поражения проявляются через несколько часов в виде сухости и жжения в носоглотке, затем наступает сильный отек слизистой носоглотки, сопровождающийся гнойными выделениями. В тяжелых случаях развивается воспаление легких, смерть наступает на 3–4-й день от удушья. Особенно чувствительны к парам иприта глаза.

При попадании иприта в желудочно-кишечный тракт через 30–60 мин появляются резкие боли в желудке, слюнотечение, тошнота, рвота, в дальнейшем развивается понос.

*Первая помощь.* Капли иприта на коже необходимо немедленно прогазировать с помощью ИПП. Глаза и нос следует обильно промыть, а рот и горло прополоскать 2%-ным раствором питьевой соды или чистой водой. При отравлении водой или пищей, зараженной ипритом, вызвать рвоту, а затем ввести кашицу, приготовленную из расчета 25 г активированного угля на 100 мл воды.

Наличие паров иприта определяется прибором ВПХР при помощи индикаторной трубки.

*К отравляющим веществам удушающего действия* относятся фосген и дифосген.

*Фосген* широко используется в химической промышленности в качестве сырья, относится к чрезвычайно токсичным веществам, поэтому может быть применен в качестве ОВ. Стойкость на местности 30–50 мин, смертельная доза 10 000 мг·мин/м<sup>3</sup>. Фосген поражает организм только через органы дыхания, при этом ощущается слабое раздражение слизистой оболочки глаз, слезотечение, головокружение, кашель, тошнота.

При вдыхании паров ощущается запах гниющих яблок. Поражение наступает по истечении периода скрытого действия, который в зависимости от полученной дозы продолжается от 4–6 ч до 1 сут. У пораженных возникает кашель, затруднение дыхания, боль в груди при вдохе, сильные хрипы. Температура тела повышается. Отек легких достигает своего максимального значения к концу первых суток. При явлениях сильного кислородного голодаия в первые двое суток наступает гибель пораженных.

После выхода из зараженной атмосферы эти явления проходят, и в течение 4–5 ч пораженный чувствует себя здоровым. Это так называемый *период скрытого действия*. Затем вследствие отека легких наступает резкое ухудшение состояния: учащается дыхание, появляется сильный кашель, головная боль, одышка, посинение губ, учащение пульса, боль в области сердца, слабость и удушье. Температура тела повышается до 38–39°C. Отек легких длится несколько суток и обычно заканчивается смертельным исходом.

*Первая помощь.* На пораженного надеть противогаз, вывести из зараженной атмосферы, дать горячее питье, укрыть от холода и доставить в медицинское учреждение.

*К отравляющим веществам психохимического действия* относятся ОВ би-зет и ДЛК (диэтиламид лизергиновой кислоты). *Би-зет (BZ)* – белое кристаллическое вещество без запаха, нерастворимое в воде. Оно по-

ражает организм при вдыхании зараженного воздуха и приема зараженной пищи и воды.

Действие Би-зет начинает проявляться через 0,5–3,0 ч. При действии малых концентраций наступает сонливость. При действии больших концентраций на начальном этапе в течение нескольких часов наблюдается учащенное сердцебиение, сухость кожи, расширение зрачков, в последующем наступает оцепенение и заторможенность речи. Затем следует период возбуждения, продолжающийся до 4 сут, после которого начинается постепенное возвращение к нормальному состоянию.

*Отравляющими веществами раздражающего действия* являются химические соединения, вызывающие раздражение глаз и органов дыхания. Основные вещества этого класса: CS, CR, хлорацетофенон и адамсит.

*Cи-эс (CS)* – белое, твердое кристаллическое вещество с запахом перца. Плохо растворим в воде, хорошо – в органических растворителях. В виде аэрозоля Си-эс оказывает раздражающее действие на глаза и верхние органы дыхания, пороговая концентрация  $2 \cdot 10^{-2}$  мг/м<sup>3</sup>, непереносимая концентрация – 6 мг/м<sup>3</sup>. В малых концентрациях обладает раздражающим действием на глаза и верхние дыхательные пути, в больших – вызывает ожоги открытых участков кожи, в некоторых случаях паралич дыхания, сердца и смерть.

*Хлорацетофенон* – кристаллический белый порошок с запахом черемухи, практически нерастворим в воде, хорошо растворяется в дихлорэтане, хлороформе. При концентрации паров хлорацетофенона  $2 \cdot 10^{-5}$  г/м<sup>3</sup> в воздухе обнаруживается по запаху, концентрация  $3 \cdot 10^{-3}$  г/м<sup>3</sup> является непереносимой без противогаза. Максимально возможная концентрация паров хлорацетофенона в летних условиях не превышает 0,2 г/м<sup>3</sup>.

*Адамсит (фенарсазин)* – мышьякорганическое соединение, кристаллическое вещество от светло-желтого до интенсивно-зеленого цвета, без запаха. В воде нерастворим, растворяется в органических растворителях при нагревании, в ацетоне растворим хорошо, смертельна концентрация 3000 мг/м<sup>3</sup>. При действии на организм вызывает сильное раздражение носоглотки, боль в груди, рвоту. Для защиты используются фильтрующие противогазы.

## 11.2. Биологическое оружие

*Биологическое оружие* относится к оружию массового поражения и представляет собой боеприпасы или приборы, начиненные бактериальными средствами для поражения людей, животных, сельскохозяйственных культур и запасов продовольствия

**Бактериальные средства** – это болезнетворные микробы и их токсины, а также зараженные насекомые, предназначенные для распространения и сохранения микробов во внешней среде. Бактериальные средства могут быть в виде жидких или сухих смесей болезнетворных микробов и их токсинов с добавками веществ, обеспечивающих их устойчивость.

Использование бактериологического оружия в военных целях запрещено международным правом. В 1971 г. Генеральная Ассамблея ООН одобрила Конвенцию о запрещении разработки, производства и накопления запасов бактериологического (биологического) и токсического оружия и об их уничтожении.

Интерес к биологическому оружию за рубежом в последнее время возрос и в связи с крупными достижениями биологии и генной инженерии. Исследования, ведущиеся на стыке биологии и химии, создают предпосылки для разработки нового вида оружия – биохимического, не попадающего под запрет Конвенций о биологическом и химическом оружии.

Особенностями биологического оружия являются:

- высокая потенциальная эффективность, т. е. способность поражать людей или животных ничтожно малыми дозами;
- наличие скрытого (инкубационного) периода, специфического для каждого инфекционного заболевания;
- контагиозность – способность инфекционных болезней передаваться от больного здоровому;
- продолжительность действия, обусловленная способностью некоторых (спорообразующих) микроорганизмов длительное время сохраняться в окружающей среде;
- трудность обнаружения;
- избирательность (целенаправленность) действия связана с наличием большого количества возбудителей инфекционных заболеваний, опасных для человека, животных и растений, и возможностью осуществлять их выбор;
- сильное психологическое воздействие;
- относительная дешевизна производства биологического оружия по сравнению с химическим и ядерным.

Основные способы применения биологического оружия:

- 1) аэрозольный, позволяющий заражать обширные территории и все объекты окружающей среды;
- 2) распространение на местности зараженных переносчиков инфекционных заболеваний (клещей, насекомых, грызунов);
- 3) диверсионный – путем заражения питьевой воды и пищевых продуктов.

**Заштита от биологического оружия.** При чрезвычайных ситуациях, обусловленных возникновением массовых инфекционных заболеваний среди населения, применяются специальные режимно-ограничительные меры, направленные на недопущение распространения заболеваний. В зависимости от масштабов ЧС и вида заболевания в очаге биологического поражения это могут быть обсервационные меры или карантинные.

*Мероприятия, проводимые при обсервации*, имеют ограничительный характер и включают: ограничение выезда, въезда и транзитного проезда через населенный пункт, в котором возникла данная ситуация, ограничение контактирования населения с людьми вне очага.

*Карантинный режим* более строг. Он вводится при возникновении особо опасных заболеваний (чума, натуральная оспа, холера), характеризующихся очень высокой контагиозностью. Режим карантина предусматривает полную изоляцию очага с введением вооруженной охраны основные места въезда и выставлением оцепления по периметру. Запрещаются зрелищные и другие массовые мероприятия, выезд, резко ограничивается въезд, вводится особая система снабжения продуктами питания.

Действие этих ограничительных мер заканчивается по прошествии срока, равного длительности инкубационного периода заболевания и исчисляемого с момента выявления последнего больного.

Одним из мероприятий, играющих важную роль в комплексе мер по ликвидации инфекционных заболеваний и эпидемических вспышек, служит *дезинфекция*. Она проводится с целью уничтожения возбудителей инфекционных заболеваний на объектах и в различных субстратах внешней среды.

В комплексе мероприятий по борьбе с инфекционными заболеваниями важная роль принадлежит *вакцинации*. Она проводится с целью повышения невосприимчивости населения к возбудителям самых различных инфекционных заболеваний. Для этого используются вакцины, сыворотки и анатоксины. Вакцинация, или прививки, может проводиться в плановом порядке (так называемая обязательная вакцинация), когда заболевания нет, и по эпидемическим показаниям в период вспышки. Важнейшей профилактической мерой является соблюдение элементарных правил личной гигиены. Это особенно важно, если был выявлен больной в семье или коллективе.

При ликвидации последствий ЧС в очагах биологического загрязнения личный состав формирований использует средства защиты органов дыхания и кожи. После проведения работ личный состав проходит полную санитарную обработку с заменой белья и одежды.

В любом государстве общество вынуждено отвечать на вопросы о том, какой уровень безопасности может считаться приемлемым, как

достичь минимума ущерба или максимума выгод при ограниченных ресурсах, выделенных на устранение различных бедствий.

Принципы достаточной безопасности и приемлемого риска, дополненные социально-экономическими факторами, должны являться основой программ в области гражданской обороны. Их реализация на современном этапе требует применения адекватных экономико-математических моделей, отражающих сущность социально-экономических, производственно-хозяйственных, гуманистических систем, объединенных в единый класс систем защиты населения от чрезвычайных ситуаций.

### **11.3. Характеристика очагов ядерного, химического и биологического поражения**

**Очагом ядерного поражения (ОЯП)** называется территория, на которой под воздействием поражающих факторов ядерного взрыва возникают разрушения зданий и сооружений, пожары, радиоактивное заражение местности и поражения населения.

ОЯП характеризуется массовыми разрушениями зданий, сооружений и техники, завалами на больших площадях, повреждениями и разрушениями защитных сооружений, разрушениями мостов и гидротехнических сооружений, авариями на коммунально-энергетических сетях, пожарами на большей части территории, радиоактивным заражением, потерями среди населения.

Распространение пожаров в ОЯП не только увеличивает объем разрушений и потерь среди незащищенного населения, но и приводит к дополнительным жертвам среди людей, находящихся в убежищах, в которых не предусмотрены мероприятия по защите от перегрева, проникания газов, а также очистке и охлаждению воздуха, подаваемого в сооружения.

По масштабам и характеру поражающего действия ОЯП отличается от очага поражения, возникающего при взрыве обычных боеприпасов. Одновременное воздействие ударной волны, светового излучения и проникающей радиации в значительной мере обуславливает комбинированный характер поражающего действия ядерного взрыва на людей, здания и сооружения.

Размеры очага ядерного поражения зависят от мощности примененного боеприпаса, вида взрыва, характера застройки, рельефа местности и погодных условий. Очаг ядерного поражения не имеет ярко выраженных контуров.

Внешней границей очага ядерного поражения считается условная линия на местности, где избыточное давление воздушной ударной волны составляет 10 кПа.

Для определения характера возможных разрушений в зависимости от величины избыточного давления во фронте ударной волны ОЯП условно делится на четыре зоны (рис. 11.1).

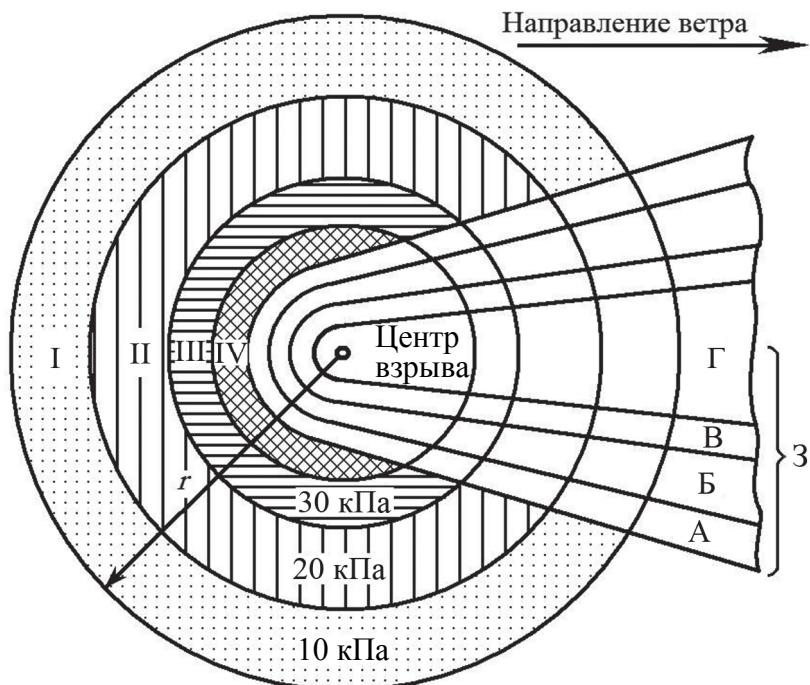


Рис. 11.1. Очаг ядерного поражения:

- I – зона слабых разрушений;
- II – зона средних разрушений;
- III – зона сильных разрушений;
- IV – зона полных разрушений;
- 3 – зона радиоактивного заражения (А – умеренного, Б – сильного, В – опасного, Г – чрезвычайно опасного);
- $r$  – радиус очага ядерного поражения

В зоне полных разрушений (IV) избыточное давление ударной волны составляет 50 кПа и более. В этой зоне полностью разрушаются жилые и промышленные здания, противорадиационные укрытия и часть убежищ, расположенных вокруг центра взрыва.

В результате разрушения зданий на улицах города образуются сплошные завалы. Входы и выходы встроенных убежищ оказываются заваленными. Пожары в зоне полных разрушений не возникают, так как воспламенившиеся от светового излучения здания разрушаются, а горящие конструкции разбрасываются и засыпаются обломками. В результате этого обломки только тлеют, не вызывая сильных пожаров. Горение в завалах может продолжаться в течение 2–3 сут и сопровождаться

большим выделением окиси углерода и других вредных газов. Для зоны полных разрушений характерны массовые потери среди незащищённого населения. В зоне полных разрушений спасательные работы проводятся в очень сложных условиях и включают расчистку сплошных завалов, спасение укрывающихся из заваленных убежищ, и в первую очередь подачу воздуха в убежища, в которых нарушена система фильтровентиляции.

В зоне сильных разрушений (III) избыточное давление ударной волны составляет от 50 до 30 кПа. В этой зоне здания и сооружения получают сильные разрушения, убежища и коммунально-энергетические сети, большинство противорадиационных укрытий подвального типа сохраняются. В результате разрушений зданий образуются сплошные и местные завалы. От светового излучения возникают массовые пожары.

Зонами массовых пожаров принято считать участки застройки, на которых развиваются пожары одновременно не менее чем 25% зданий.

Для зоны характерны массовые и в значительной мере безвозвратные потери среди незащищенной части населения. Люди, оставшиеся в разрушенных зданиях, могут быть завалены либо получить травмы и ожоги, вне зданий – легкие и средней тяжести травмы и ожоги. Кроме того, возможны поражения обломками построек, осколками стекла и другими летящими предметами, а также «вторичные ожоги» от пламени горящих зданий.

Основные спасательные работы в этой зоне – расчистка завалов, тушение пожаров, спасение людей из заваленных убежищ и ПРУ, а также из разрушенных и горящих зданий.

В зоне средних разрушений (II) избыточное давление ударной волны составляет от 30 до 20 кПа. В пределах этой зоны здания получают средние разрушения, а убежища и большая часть ПРУ полностью сохраняются. В результате разрушения зданий образуются местные завалы. От светового излучения возникают массовые пожары.

Для зоны характерны массовые санитарные потери среди незащищённого населения. Люди могут получить легкие травмы, ожоги, а при наземных взрывах возможны поражения радиоактивными осадками.

Основными спасательными работами в этой зоне являются: тушение пожаров, спасение людей из-под завалов, разрушенных и горящих зданий.

В зоне слабых разрушений (I) избыточное давление составляет от 20 до 10 кПа. В этой зоне здания получают слабые разрушения (разрушаются перегородки, дверные и оконные переплеты), в результате чего могут возникнуть отдельные завалы. От светового излучения могут возникнуть отдельные очаги пожаров.

В процессе развития пожаров в сохранившихся и частично разрушенных зданиях возможно распространение огня на соседние здания. В отдельных районах города через 2–4 ч с момента взрыва могут возникать зоны сплошных пожаров, которые характеризуются одновременным горением не менее 70% зданий.

Незащищенные люди могут получить ожоги, легкие травмы от летящих осколков стекла и других небольших предметов, а также поражения радиоактивными веществами при наземных взрывах.

Основные спасательные работы в этой зоне – это тушение пожаров и спасение людей из частично разрушенных и горящих зданий.

За пределами зоны слабых разрушений ударная волна практически безопасна для незащищенного человека. Здания могут получить незначительные повреждения (разрушение остекления, кровли, дверей, оконных рам). Кроме того, возможно возникновение местных пожаров. Люди могут получить легкие ранения; население способно самостоятельно оказать помощь пораженным и устраниить повреждения.

Таким образом, ОЯП характеризуется массовым поражением людей; разрушением и повреждением зданий и сооружений, убежищ и ПРУ; возникновением местных, сплошных и массовых пожаров; образованием завалов улиц, проездов и внутриквартальных участков; возникновением массовых аварий на сетях коммунального хозяйства; образованием районов и зон радиоактивного заражения местности.

При комбинированном поражении людей травмы и контузии от воздействия ударной волны могут сочетаться с ожогами от светового излучения, лучевой болезнью от воздействия проникающей радиации и радиоактивного заражения. Комбинированные поражения являются наиболее тяжелыми для человека. Так, лучевая болезнь затрудняет лечение травм и ожогов, которые, в свою очередь, осложняют течение лучевой болезни. Кроме того, снижается сопротивляемость организма человека к инфекционным заболеваниям.

**Очагом химического поражения** называется территория, в пределах которой в результате воздействия химического оружия или выброса СДЯВ произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений (рис. 11.2).

Очаг химического поражения включает территорию непосредственного применения ОВ, а также территорию, на которой распространилось облако, зараженное отравляющими веществами с поражающими концентрациями (рис. 11.2, а). В зону химического заражения сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ) входит участок разлива и территории, над которыми распространились пары этих веществ с поражающими концентрациями (рис. 11.2, б).

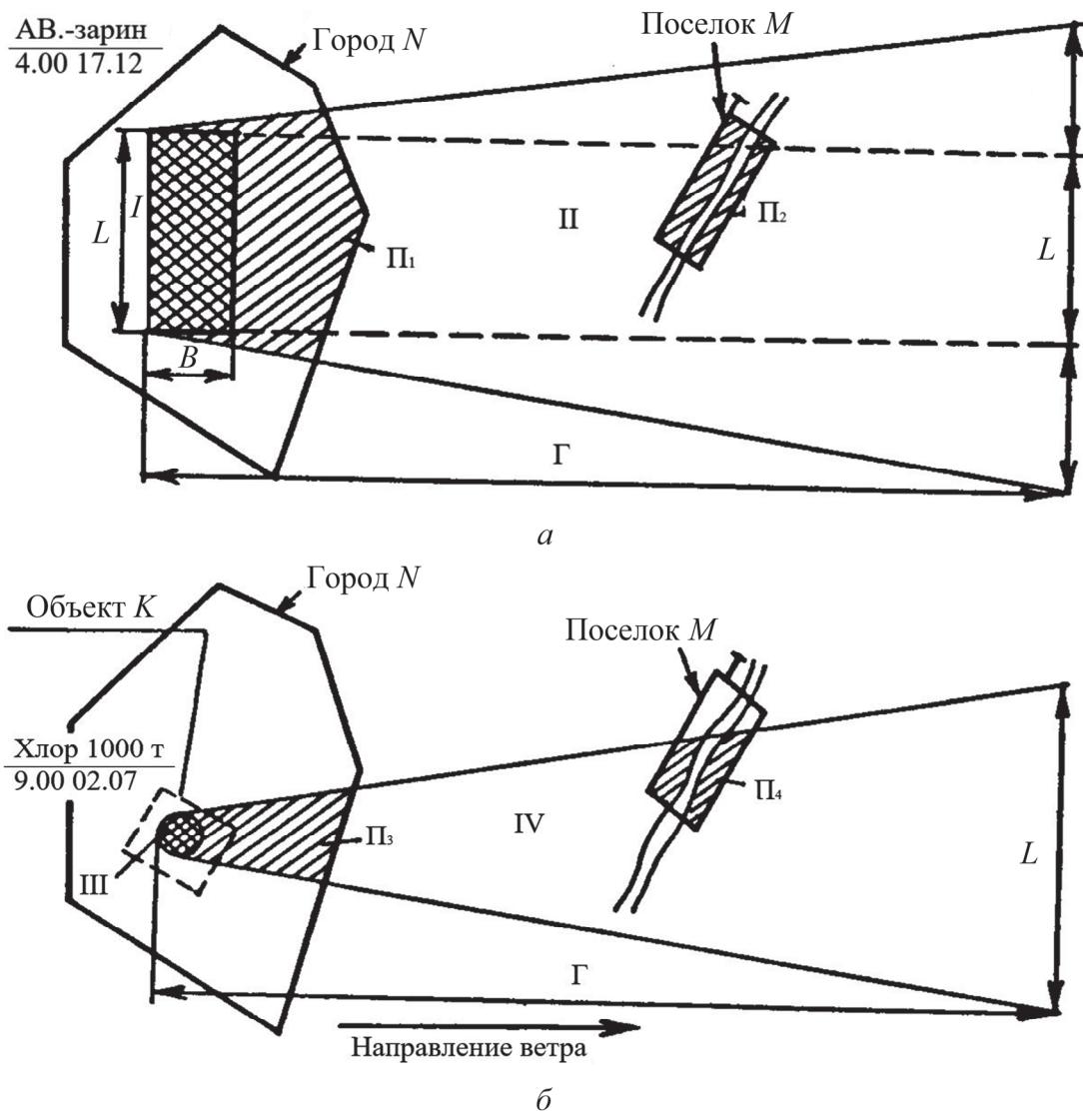


Рис. 11.2. Зоны химического заражения:

*a* – зона заражения ОВ; *б* – зона заражения СДЯВ:  
 $\Pi_1$ – $\Pi_4$  – очаги поражения; I – район применения ОВ;  
II – территория распространения ОВ; III – участок разлива СДЯВ;  
IV – территория распространения СДЯВ; Г – глубина зоны;  
 $L$  – ширина зоны;  $\alpha$  – величина расширения зоны заражения

Зона заражения характеризуется типами ОВ или СДЯВ, размерами, расположением по отношению к населенным пунктам, степенью заражения воздушной среды и местности и изменением этой зараженности во времени. Границы зоны определяются значениями пороговых токсичных доз ОВ или СДЯВ, вызывающих начальные симптомы поражения, и зависят от размеров района применения химического оружия (разлива СДЯВ), метеорологических условий, рельефа местности. Наибольшую стойкость и размеры имеют зоны химического заражения, образовавшиеся при применении ОВ типа зарин, зоман, V-газы и иприт.

Из метеорологических условий наибольшее влияние на стойкость заражения оказывает температура почвы и скорость ветра. Чем они выше, тем быстрее испаряется и уносится ОВ или СДЯВ из района применения или района аварии, тем менее стоеч очаг химического заражения. В зависимости от времени суток и метеоусловий наблюдается различное состояние вертикальной устойчивости приземного слоя воздуха, что также влияет на стойкость ОВ и СДЯВ: при конвекции зона химического заражения уменьшается, при изотермии и особенно при инверсии – увеличивается и дольше сохраняется.

В населенных пунктах с плотной застройкой и узкими улицами, а также в лесах ОВ и СДЯВ будут задерживаться дольше и сохранять высокую концентрацию. Лес, оказавшийся на пути распространения облака зараженного воздуха, задержит его дальнейшее распространение, и зона заражения будет иметь меньшую глубину, чем на открытой местности.

Глубина распространения облака зараженного воздуха с учетом леса рассчитывается по формуле

$$\Gamma = \Gamma_0 - 2,5 \cdot L, \quad (11.1)$$

где  $\Gamma_0$  – глубина распространения, км, на открытой местности;  $L$  – глубина леса на пути распространения зараженного воздуха, км.

Задача от химических средств поражения достигается применением средств индивидуальной и коллективной защиты.

Химическое оружие непосредственного влияния на здания, сооружения и оборудование промышленных предприятий не оказывает. Однако производственный процесс на предприятиях возобновляется после дегазации оборудования, помещений и прилегающей территории.

Мероприятия по нейтрализации (дегазации) ОВ и СДЯВ требуют большого труда, огромного количества техники и дегазирующих средств.

Одной из важнейших особенностей очага поражения, возникающего в результате разрушения объекта химической промышленности, является способность большинства СДЯВ оказывать поражающее воздействие на людей, даже находящихся в средствах защиты. Это объясняется тем, что фильтрующие элементы современных противогазов и фильтровентиляционных установок имеют ограниченные возможности по защите от паров СДЯВ (не более 10–20 мин) и практически не обеспечивают даже кратковременную защиту от таких СДЯВ, как окись углерода, фтористый водород, гидразин, аммиак, а от многих других СДЯВ при высоких концентрациях имеют ограниченное время защитного действия.

Время защитного действия фильтрующих противогазов резко сокращается с увеличением концентрации паров СДЯВ в воздухе и интенсивности дыхания (таблица).

### Время защитного действия фильтрующих гражданских противогазов

Наименование СДЯВ	ПДК, мг/л	Время защитного действия по парам и аэрозолям СДЯВ, мин		
		концентрация СДЯВ, мг/л	ГП-5	ГП-7
Хлор	$10^{-3}$	5	15	20
Аммиак	$2 \cdot 10^{-2}$	5	1	2
Фосген	$5 \cdot 10^{-4}$	5	45	50
Оксид углерода	0,02	3	0	0
Диоксид серы	0,01	5	15	16
Сероуглерод	0,01	5	12	13
Фтористый водород	$5 \cdot 10^{-4}$	5	0	0
Тетраэтилсвинец	$5 \cdot 10^{-6}$	1	65	70
Гидразин	$10^{-4}$	1	0	0

Особенно высокие концентрации паров СДЯВ наблюдаются вблизи разрушенного объекта на удалении от нескольких сот метров до 3–5 км по направлению ветра в приземном слое воздуха. В течение 8–10 ч после разрушения объекта в этой зоне даже в средствах защиты населению находится опасно.

Защитные свойства гражданских фильтрующих противогазов можно расширить, если их использовать с дополнительным патроном ДП-2, который обеспечивает защиту от аммиака и окиси углерода.

Для защиты персонала объектов химической промышленности, использующих в технологическом цикле СДЯВ, применяют промышленные противогазы.

Формирования гражданской обороны (ГО) при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) в очаге выброса СДЯВ используют изолирующие противогазы и средства защиты кожи.

**Очагом биологического поражения** называется территория, на которой в результате воздействия биологического оружия произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных, растений. Он может образоваться как в зоне заражения, так и в результате распространения инфекционных заболеваний за границы зоны заражения.

Очаг биологического поражения характеризуется видом примененных бактериальных средств, количеством пораженных людей, животных, растений, продолжительностью сохранения поражающих свойств возбудителей болезней.

Границы очага биологического поражения устанавливаются формированиями медицинской и ветеринарной службы на основе обобщенных

данных, полученных от постов радиационного и химического наблюдения, разведывательных формирований, метеорологических и санитарно-эпидемических станций.

Для предотвращения распространения инфекционных болезней, локализации и ликвидации зон и очагов биологического поражения устанавливается карантин и обсервация.

**Карантин** – это система противоэпидемических и режимно-ограничительных мероприятий, направленных на полную изоляцию всего очага поражения и ликвидацию в нем инфекционных заболеваний. На внешних границах зоны карантина устанавливается охрана. Запрещается выход людей, вывод животных и вывоз имущества.

В зоне карантина прекращается работа всех учебных заведений, здравицких учреждений и рынков.

В том случае, когда установленный вид возбудителя не относится к группе особо опасных инфекционных болезней и нет угрозы массовых заболеваний, карантин заменяется обсервацией.

Под **обсервацией** понимают проведение в очаге поражения ряда изоляционно-ограничительных и лечебно-профилактических мероприятий, направленных на предупреждение распространения инфекционных заболеваний.

Режимные мероприятия в зоне обсервации, в отличие от мероприятий в зоне карантина, включают: максимальное ограничение въезда и выезда, а также вывоза из очага имущества без предварительного обеззараживания; усиление медицинского контроля за питанием и водоснабжением; ограничение общения между отдельными группами людей.

Сроки карантина и обсервации устанавливают исходя из длительности инкубационного периода заболевания. Его исчисляют с момента госпитализации последнего больного и окончания дезинфекции.

#### **11.4. Характеристика очагов поражения, возникающих при авариях на радиационно-опасных объектах**

Широкое использование ядерных энергетических установок и других источников ионизирующих излучений повысило потенциальную опасность радиационных аварий. В ходе работы ядерного реактора в результате деления ядер урана не только выделяется тепловая энергия, но и образуется значительное количество радиоактивных продуктов деления – около 200 изотопов различных элементов, от газообразных до твердых с различными периодами полураспада, которые накапливаются

в активной зоне реактора. Кроме реактора, значительное количество активности продуктов деления содержится в обработанном топливе, хранящемся на станции. Наконец, некоторое количество радиоактивных веществ сосредоточено в жидких и твердых отходах.

При нормальной эксплуатации АЭС количество радиоактивных веществ (РВ), поступающих во внешнюю среду за счет газообразных выбросов и жидких сбросов, невелико. На границе санитарно-защищенной зоны АЭС и за ее пределами фактическая доза внешнего и внутреннего облучения организма человека намного ниже предельно установленного уровня.

Это снижение обеспечивается наличием нескольких защитных барьеров на пути распространения радиоактивности от ядерного топлива до внешней среды. Такими барьерами являются:

- герметичность оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОв);
- герметичность корпуса реактора и корпуса теплоносителя в целом;
- герметичность помещений или защитной оболочки, внутри которой размещается все основное оборудование ядерной паропроизводящей установки.

Дополнительным фактором обеспечения безопасности является наличие санитарно-защитной зоны вокруг площадки станции. Однако на АЭС могут возникнуть непредвиденные ситуации, при которых возможен выход значительных количеств РВ за пределы АЭС. Например, такая ситуация возникает при случайном падении самолета на АЭС и выходе из строя систем безопасности.

Не исключаются полностью сильная сейсмическая активность или катастрофические стихийные явления в обычно спокойных районах. Наконец, возможны грубые ошибки персонала АЭС, приводящие к тяжелым последствиям.

Независимо от причины возникновения аварии с радиационными последствиями на АЭС делятся на следующие три типа: локальные, местные и общие.

*Локальная авария* – авария, радиационные последствия которой ограничиваются одним зданием или сооружением и при которой возможны облучение персонала и загрязнение здания или сооружения выше уровней, предусмотренных для нормальной эксплуатации.

*Местная авария* – авария, радиационные последствия которой ограничиваются зданиями и территорией АЭС и при которой возможны облучение персонала и загрязнение зданий или сооружений, находящихся на территории выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации.

*Общая авария* – авария, радиационные последствия которой распространяются за границу территории АЭС и приводят к облучению

населения и радиоактивному загрязнению окружающей среды выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации.

При аварии ядерного реактора с выбросом в атмосферу РВ возможны следующие основные пути воздействия радиационных факторов на население:

- внешнее гамма-облучение при прохождении радиоактивного облака;
- внутреннее облучение за счет вдыхания радиоактивных аэрозолей (ингаляционная опасность);
- контактное облучение при радиоактивном загрязнении кожных покровов и одежды;
- общее внешнее облучение людей от РВ, осевших на поверхности земли и местных объектах (здания, сооружения и т. п.);
- внутреннее облучение в результате потребления населением воды и местных продуктов, загрязненных РВ.

Радиоактивное заражение при разрушении ядерного реактора будет иметь ряд особенностей, отличных от радиоактивного заражения при ядерном взрыве. При разрушениях АЭС основной массой выброса будут твердые радиоактивные продукты в виде мелкодисперсного аэрозоля. Другая часть продуктов выброса будет представлять собой газообразные и легколетучие РВ. Защита от таких газо-аэрозольных РВ – задача чрезвычайно сложная.

Важная особенность радиоактивного заражения при разрушении АЭС заключается в особенности значительно дольше сохранять поражающее действие вследствие того, что существенная часть радиоактивных продуктов, образующихся в реакторе, имеют большой период полураспада.

Это обусловлено тем, что в реакторе большая часть радионуклидов образуется задолго до его разрушения, и относительное содержание короткоживущих радионуклидов в нем будет значительно ниже по сравнению с продуктами ядерного взрыва. Этим объясняется более медленный спад уровней радиации на местности, зараженной продуктами деления, выброшенными из ядерного реактора.

Другими характерными особенностями радиационной обстановки при разрушении АЭС являются: неравномерность радиоактивного заражения в радиальных направлениях, обусловливаемая непостоянством параметров выбросов и метеоусловий; образование зон заражения локального (очагового) характера и сложной конфигурации с различной интенсивностью спада уровней радиации; непрерывное изменение характеристик радиоактивного заражения в результате продолжающихся выбросов и вторичных переносов РВ.

Наиболее опасным поражающим действием при разрушении ядерных реакторов обладает первичное облако газо-аэрозольной смеси радионуклидов.

Эквивалентная доза суммарного (внутреннего и внешнего) облучения в этом облаке может достигать нескольких тысяч бэр. Расчеты показывают, что доза только внешнего облучения за время прохождения первичного облака на удалении 2 км от разрушенного реактора может достигать 100 Зв, а на удалении 50 км – до 0,30 Зв.

## **11.5. Очаги поражения, возникающие при авариях на предприятиях со взрыво- и пожароопасными технологиями**

Разрушение и повреждение зданий, сооружений, технологических установок и трубопроводов на предприятиях нефтеперерабатывающей, химической и некоторых других отраслей промышленности со взрыво-, газо- и пожароопасными технологиями может привести к истечению газообразных или сжиженных углеводородных продуктов и ядовитых газов. При перемешивании углеводородных продуктов с воздухом образуются взрыво- или пожароопасные смеси, а по следу движения ядовитого облака – зоны опасного заражения.

Наиболее распространенными взрыво- и пожароопасными смесями являются смесь с воздухом углеводородных газов: метана, этана, пропана, бутана, этилена, пропилена, пентана и др.

Пары бензина и других органических растворителей в смеси с воздухом также взрыво- и пожароопасны.

Взрыв или возгорание этих углеводородных продуктов наступает при определенном содержании газа или пара в воздухе. Пределы взрывоопасности и возгорания различных углеводородных продуктов приводятся в соответствующих справочниках. Например, взрыв паров ацетона в смеси с воздухом возможен при содержании их от 2 до 13% по объему. При повышении содержания газа (пара) в воздухе выше предела взрываемости взрыва не происходит.

Взрывоопасные газовоздушные смеси чаще всего образуются в замкнутых помещениях.

Однако при авариях на предприятиях со взрыво- и пожароопасными технологиями взрывы не исключены и в атмосфере. Так, в 1974 г. на заводе по производству капролактама в Фликсборо (Великобритания) в результате разрыва трубопровода в атмосферу было выброшено 40 т циклогексана, который, испарившись, образовал облако в диаметре

200 м. Через 45 с облако, встретившись с источником пламени, взорвалось. По мощности взрыв был эквивалентен заряду 50 т тринитротолуола. На площади 4,5 га возник сплошной пожар. Завод был практически уничтожен. Взрывом убиты 29 и ранены 36 чел. За пределами завода 53 чел. получили серьезные ранения, сотни человек – легкие; было повреждено около 2000 зданий.

При взрыве газовоздушной смеси образуется очаг взрыва, в котором принято выделять три круговые зоны:

- зона детонационной волны в пределах облака взрыва;
- зона действия продуктов взрыва;
- зона воздушной ударной волны.

Радиус зоны детонационной волны  $r_1$ , м, приближенно может быть определен по формуле

$$r_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (11.2)$$

где  $Q$  – количество сжиженных углеводородных газов, т. Избыточное давление в пределах зоны принимается равным 1700 кПа.

*Зона действия продуктов взрыва* охватывает всю площадь разлета продуктов газовоздушной смеси в результате ее детонации. Радиус этой зоны  $r_1$ , м, равен

$$r_2 = 1,7 \cdot r_1. \quad (11.3)$$

Избыточное давление в пределах данной зоны снижается до 300 кПа.

В зоне действия воздушной ударной волны формируется фронт ударной волны, распространяющийся по поверхности земли. Величина избыточного давления определяется по справочникам. Для этого необходимо знать количество взрывоопасной смеси, хранящейся в емкости или аппарате. В зоне действия воздушной ударной волны избыточное давление изменяется от 300 до 10 кПа.

Характер разрушения зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, а также степень поражения людей и другие последствия, вызываемые воздействием избыточного давления при взрыве газовоздушных смесей, приближенно могут приниматься такими же, как и при взрыве ядерных боеприпасов.

В результате разрушения зданий и сооружений в жилых районах города и на промышленных объектах образуются завалы. Чем больше величина избыточного давления, при которой разрушается здание, тем в большей степени происходит разрушение отдельных элементов завалов и тем дальше эти обломки разлетаются от зданий.

При избыточном давлении 40–50 кПа дальность разлета обломков составляет примерно половину высоты зданий. При увеличении давления

до 100–120 кПа дальность разлета обломков увеличивается в 2,5–3 раза, а высота завалов при этом для однотипных зданий уменьшается в 1,75–2 раза.

Сплошные завалы примерно с равномерной высотой образуются, как правило, при давлении 100–120 кПа. В районах с высокой плотностью застройки сплошные завалы могут образовываться при давлении меньше 100 кПа. В этом случае завалы будут разными по высоте. Наибольшая высота будет наблюдаться в пределах контуров разрушенных зданий.

Спасательные и неотложные работы в очагах газовоздушных взрывов организуются и проводятся так же, как и в очагах ядерного поражения, и включают расчистку завалов, оказание первой медицинской помощи раненым и пострадавшим от взрыва, эвакуацию их в медицинские заведения, локализацию и тушение пожаров и другие работы, направленные на восстановление жизнедеятельности.

## **11.6. Очаги поражения, возникающие в результате стихийных бедствий**

Стихийные бедствия могут возникнуть как независимо друг от друга, так и во взаимосвязи: одно из них может повлечь за собой другое. Независимо от источника возникновения стихийные бедствия характеризуются значительными масштабами и различной продолжительностью – от нескольких секунд и минут (землетрясения, снежные лавины) до нескольких часов (сели), дней (оползни) и месяцев (наводнения).

**Очагом поражения при землетрясении** называется территория, в пределах которой произошли массовые разрушения и повреждения зданий, сооружений и других объектов, сопровождающиеся поражением и гибелью людей, животных, растений.

Очаги массового поражения возникают обычно в районе землетрясения, в котором интенсивность его по шкале Рихтера составляет 7–8 баллов и более, при этом большинство зданий и сооружений получает средние и сильные разрушения.

Оценка возможных масштабов разрушений при землетрясении проводится по справочникам, в качестве критерия берется максимальная интенсивность землетрясения в баллах по шкале Рихтера.

**Очагом поражения при наводнении** называется территория, в пределах которой произошли затопления местности, повреждения и разрушения зданий, сооружений и других объектов, сопровождающиеся

поражениями и гибелью людей, животных и урожая сельскохозяйственных культур, порчей и уничтожением материальных ценностей.

Масштабы наводнений зависят от высоты и продолжительности стояния опасных уровней воды, площади затопления, времени затопления (весной, летом, зимой) и др.



- 
1. Охарактеризуйте очаг ядерного поражения по зонам разрушений.
  2. В каких зонах ОЯП сохраняются убежища и ПРУ?
  3. Назовите средства индивидуальной защиты, используемые формированиями ГО при ликвидации очага химического заражения.
  4. Какие режимно-ограничительные мероприятия устанавливаются в очаге биологического поражения?
  5. Охарактеризуйте основные пути воздействия радиационных факторов на население при разрушении активной зоны реактора АЭС.
  6. Какие объекты экономики относят к взрывопожароопасным?

## ЛЕКЦИЯ 12

# ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

- 12.1. Правила поведения при посещении общественно-политических и зрелищных мероприятий.
- 12.2. Права и обязанности граждан в области защиты населения.
- 12.3. Организация обучения населения в системе гражданской обороны.
- 12.4. Оповещение населения при возникновении чрезвычайных ситуаций.
- 12.5. Основные рекомендации в области антитеррористической деятельности.

### **12.1. Правила поведения при посещении общественно-политических и зрелищных мероприятий**

Необходимо помнить, что участие в любом массовом мероприятии сопряжено с повышенной опасностью. Для избежания возможных не приятностей каждому необходимо знать основные правила поведения в местах большого скопления людей. Человек, находящийся в толпе, подвергается опасности:

- из-за возможности возникновения давки;
- возможного проявления агрессии со стороны участников мероприятия (футбольных фанатов, хулиганов, участников митинга);
- возможности столкновения с сотрудниками органов правопорядка (при участии в акциях протеста).

**Подготовка к посещению массовых мероприятий.** К походу в место скопления людей нужно готовиться. По возможности наеньте плотную одежду, прилегающую к телу. Она не должна иметь длинных и свисающих элементов (полы плащей, декоративные цепочки, концы шарфов (в холодное время года шарф нужно заправить под верхнюю одежду)). Всегда необходимо надевать головной убор. Нахождение в

толпе может затянуться. Зимой шапка спасет вас от переохлаждения, летом кепка не даст получить солнечный удар.

Постарайтесь, чтобы на одежде не было надписей и рисунков двойкой трактовки, в особенности тех, которые можно расценить как оскорбительные. Это проявит вас как вежливого человека и снизит шансы стать мишенью агрессии. Прежде всего этот совет касается посещения спортивных и музыкальных мероприятий.

С собой должны быть документы, их лучше спрятать, небольшая сумма денег и заряженный мобильный телефон.

Не берите с собой крупногабаритные, стеклянные, металлические предметы. Даже массивный брелок с ключами в кармане может стать причиной серьезных травм.

Старайтесь не появляться в местах массового скопления людей с маленькими детьми. Ребенка легко потерять в плотной толпе, кроме того, из-за небольшого роста он подвергается воздействию опасных факторов давки в гораздо большей степени, чем взрослый.

Оказавшись в месте проведения массового культурно-зрелищного или спортивного мероприятия, не стремитесь попасть в наиболее плотное скопление людей на ограниченном пространстве. Помните: никакое зрелище не компенсирует возможные неудобства и травмы.

Заранее изучите пути возможной эвакуации, расположение медицинских пунктов и полицейских постов. Запомните места расположения легко преодолимых заборов, лестниц, дворов, окон, запасных выходов.

Если вам придется столкнуться с теснотой проходов в месте проведения массового зрелища, нарушениями правил пожарной безопасности и общественного порядка, лучше покинуть такое мероприятие.

**Что делать, если вы оказались в движущейся толпе внутри помещения?** В замкнутом пространстве (на концерте или на ином массовом мероприятии) при возникновении опасности люди начинают одновременно искать спасения. В подавляющем большинстве случаев это происходит хаотично. Особенно активными становятся люди, находящиеся вдалеке от выходов. Они начинают изо всех сил напирать на тех, кто впереди, и большинство «передних» оказываются прижатыми к стенам. Возникает давка, в результате которой многие могут оказаться раздавленными между каменной стеной и стеной людских тел.

В первую очередь необходимо придерживаться общей скорости потока движения, не толкаться, не напирать на впереди идущих. Толчки сзади и сбоку нужно сдерживать согнутыми в локтях и прижатыми к телу руками.

Если рядом с вами находится ребенок, постарайтесь посадить его на плечи. В таком положении он не задохнется, сдавленный массой тел.

Двое или трое взрослых могут, обступив ребенка и сцепив руки, образовать подобие защитного барьера.

Если нет непосредственной опасности для жизни (распространяющегося пожара, обрушения конструкций здания), постарайтесь оказаться вместе с наименьшей плотностью толпы. Дождитесь, когда основная масса людей покинет помещение, и уходите сами. Следуя этому совету, ни в коем случае не пытайтесь идти против или поперек направления движения массы людей. Пересекать толпу нужно по диагонали, двигаясь как бы вместе со всеми и при этом смещаешься в нужном направлении (так, словно вы переплыvаете реку с сильным течением). Никогда не наклоняйтесь, чтобы подобрать упавшие предметы, даже если это паспорт или кошелек с деньгами.

**Что делать, если вы оказались в движущейся толпе на улице?** Уличную толпу принято считать не столь опасной, как толпу в замкнутом пространстве. Однако психологи с этим не согласны, счи-тая, что уличная толпа чаще выступает в роли носителя агрессивных настроений, и что по количеству преднамеренных жертв уличная пре-восходит толпу в замкнутом пространстве.

В целом правила поведения во время массовых уличных скоплений почти не отличаются от тех, что были приведены выше.

Не присоединяйтесь к толпе, как бы ни хотелось посмотреть на про-исходящие события. Если оказались в толпе, позвольте ей нести вас, но попытайтесь выбраться из нее. При приближении толпы необходимо ретироваться в боковые улицы и переулки, используя проходные дворы.

Оказавшись в движущейся толпе, нужно держаться подальше от любых стен и выступов. Особенno опасны в этих случаях всевозможные металлические решетки. Нельзя хвататься за выступающие пред-меты, старайтесь их обойти, держитесь дальше от стеклянных витрин, сетчатых оград, турникетов, сцены. Главная задача – любой ценой усто-ять на ногах. Падение внутри движущейся толпы смертельно опасно, но если это все-таки произойдет, то при падении не думайте о своей одежде или сумке, согните руки и ноги, защитите голову руками, а живот – сгибанием и подтягиванием ног к туловищу. Затем быстро попытайтесь упереться руками и одной ногой в землю и резко выпря-миться по ходу движения людей.

Во время участия в массовых мероприятиях граждане **обязаны**:

- соблюдать и поддерживать общественный порядок;
- не допускать действий, способных привести к возникновению экстремальных ситуаций и создающих опасность для окружающих;
- бережно относиться к сооружениям и оборудованию объекта про-ведения массового мероприятия;

- вести себя уважительно по отношению к другим гражданам, обслуживающему персоналу, обеспечивающему проведение массового мероприятия, должностным лицам, ответственным за поддержание общественного порядка и безопасности при проведении массовых мероприятий;
- выполнять законные требования сотрудников правоохранительных органов и иных лиц, ответственных за поддержание порядка и пожарной безопасности во время проведения мероприятия;
- не оставлять без присмотра несовершеннолетних детей;
- парковать автотранспорт в специально отведенных местах.
- при получении информации об эвакуации действовать согласно указаниям сотрудников органов внутренних дел (администрации объекта) или ответственных за обеспечение правопорядка, соблюдать спокойствие и не создавать паники.

**Участникам массового мероприятия запрещается:**

- 1) допускать выкрики или иные действия, оскорбляющие честь и достоинство других людей;
- 2) проносить запрещенные к обороту предметы и вещества, огнестрельное и холодное оружие, колющие, режущие, а также иные предметы, которые могут быть использованы для нанесения телесных повреждений, пиротехнические изделия, огнеопасные, ядовитые и раздражающие слизистые оболочки человеческого организма вещества, алкогольные напитки, пиво, напитки и продукцию в стеклянной и металлической таре; крупногабаритные свертки, сумки, чемоданы и иные предметы, мешающие другим участникам, а также нормальному проведению массового мероприятия;
- 3) выбрасывать предметы на трибуну, сцену и другие места выступлений участников массового мероприятия, а также совершать иные действия, нарушающие порядок проведения массового мероприятия;
- 4) распивать спиртные напитки или появляться в пьяном виде в общественных местах;
- 5) совершать действия, оскорбляющие других граждан, нарушающие общественный порядок и угрожающие общественной безопасности;
- 6) создавать помехи передвижению участников мероприятия и транспортных средств, забираться на ограждения, парапеты, осветительные устройства, площадки для телевизионных съемок, деревья, крыши, несущие конструкции и другие сооружения, не предназначенные для размещения на них людей;
- 7) повреждать оборудование, элементы оформления сооружений и зеленые насаждения;
- 8) использовать плакаты и иную демонстрационную продукцию из любых материалов, демонстрирующих условные обозначения, символику,

лозунги, направленные на разжигание расовой, социальной, национальной, религиозной и иной ненависти и вражды, а также наносить их на любые поверхности и предметы.

И все же лучший способ избежать возможной гибели в выбегающей из помещения толпе – не попадать в нее. Заранее обратите внимание на двери, над которыми висят таблички «Запасной выход» или горит окрашенный в красный цвет плафон, тогда вам не придется толкаться локтями, защищая свое право на жизнь.

## **12.2. Права и обязанности граждан в области защиты населения**

Права и обязанности граждан в области защиты населения от ЧС определены статьей 20 Закона Республики Беларусь «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного техногенного характера» (в ред. от 17.07.2018 № 125-З).

Граждане Республики Беларусь в области защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций (ЧС) *имеют право*:

- на защиту жизни, здоровья и личного имущества в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;
- использовать в соответствии с планами ликвидации ЧС СИЗ и другое имущество всех органов государственного управления, предназначеннное для защиты населения от ЧС;
- на информацию о риске, которому они могут подвергнуться в определенных местах пребывания на территории страны, и о мерах необходимой безопасности;
- на обращение в государственные органы, иные организации, а также к индивидуальным предпринимателям по вопросам защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций;
- участвовать в установленном порядке в мероприятиях по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- на возмещение вреда, причиненного их здоровью от ЧС;
- на бесплатное медицинское обслуживание, компенсации и льготы за проживание и работу в зонах ЧС;
- на бесплатное государственное социальное страхование, получение компенсаций и льгот за вред, причиненный их здоровью во время участия в мероприятиях по ликвидации ЧС;
- на пенсионное обеспечение в случае потери трудоспособности в связи сувечьем или заболеванием, полученными при исполнении обязанностей по защите населения и территории от ЧС;

– на пенсионное обеспечение по случаю потери кормильца, погибшего или умершего отувечья или заболевания, полученных при исполнении обязанностей по защите населения и территории от ЧС, в порядке, установленном для семей граждан, погибших или умерших отувечья, полученного при выполнении гражданского долга по спасению человеческой жизни, охране собственности и правопорядка.

Граждане Республики Беларусь в области защиты населения и территории от ЧС **обязаны**:

- 1) соблюдать законодательство в области защиты населения и территории от ЧС;
- 2) соблюдать меры безопасности в быту и повседневной трудовой деятельности, не допускать нарушений производственной и технологической дисциплины, требований экологической безопасности, которые могут привести к возникновению ЧС;
- 3) изучать основные способы защиты населения и территории от ЧС, методы оказания первой помощи при угрозе жизни и (или) здоровья человека, правила пользования СИЗ, постоянно совершенствовать свои знания и практические навыки в указанной области;
- 4) выполнять установленные правила поведения при угрозе и возникновении ЧС;
- 5) оказывать при необходимости содействие в проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР).

## **12.3. Организация обучения населения в системе гражданской обороны**

Обучение населения способам защиты от поражающих факторов природных, военных и техногенных ЧС – одна из основных задач ГО. Обеспечение готовности ГО является главнейшей задачей государственной политики в области национальной безопасности и обеспечения устойчивого развития страны.

Порядок подготовки населения, руководителей и других работников организаций к действиям в ЧС и пропаганды знаний в области защиты от чрезвычайных ситуаций определяются статьей 21 Закона Республики Беларусь «О защите населения и территории от ЧС природного техногенного характера».

Подготовка населения к действиям в ЧС осуществляется в организациях, в том числе учреждениях образования, а также по месту жительства. В школе изучается дисциплина «Основы безопасности жизнедеятельности»,

в вузах – курс «Защита населения и объектов от ЧС. Радиационная безопасность».

Порядок подготовки населения в области защиты от ЧС определяется постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 мая 2013 г. № 413 «Об утверждении положения о порядке обучения руководителей и работников республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных правительству Республики Беларусь, местных исполнительных и распорядительных органов, организаций независимо от форм собственности и населения в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и ГО, а также граждан, которыми комплектуются специальные формирования органов и подразделений по ЧС по мобилизации».

Руководители всех уровней в обязательном порядке проходят подготовку к действиям в ЧС.

Подготовка руководителей и специалистов организаций, а также сил ГСЧС осуществляется в учебных заведениях, учреждениях повышения квалификации, на курсах в специальных учебно-методических центрах и непосредственно по месту работы по специальным программам. Для повышения уровня подготовки этих категорий систематически проводятся учения, штабные тренировки и тренировки руководящего состава, формирований.

## **12.4. Оповещение населения при возникновении чрезвычайных ситуаций**

В Республике Беларусь на республиканском, территориальном, местном и объектовом уровнях создана и совершенствуется система оповещения. В ней объединены и используются все средства проводной и телевизионной связи для решения задач по своевременному оповещению населения о ЧС в мирное и военное время.

Передача сигналов и информации оповещения осуществляется в автоматизированном режиме задействования электросиреного оповещения, радиотрансляционных сетей и телевизионного вещания с перерывом вещательных программ для оповещения и информирования населения в речевой форме. Также возможно оповещение населения через СМС-рассылку.

Общепринятыми сигналами гражданской обороны являются: «Внимание всем!», «Воздушная тревога», «Отбой воздушной тревоги», «Радиационная опасность», «Химическая тревога».

Ниже приведены действия по сигналам оповещения в мирное и военное время.

### **СИГНАЛ «ВНИМАНИЕ ВСЕМ!»**

Способ подачи сигнала: звуковой сигнал с помощью сирен, гудков и других звуковых средств оповещения, установленных в городах, населенных пунктах и на предприятиях.

Этот сигнал подается для привлечения внимания персонала и населения о передаче сигналов гражданской обороны «Воздушная тревога», «Отбой воздушной тревоги», «Радиационная опасность», «Химическая тревога» и информации об авариях, катастрофах, стихийных бедствиях.

*Действия по сигналу:* немедленно включить все имеющиеся средства радио- и телекоммуникаций, внимательно прослушать экстренное сообщение о сложившейся обстановке и порядке действий, держать все указанные средства включенными в течение всего периода ликвидации аварии, катастрофы или стихийного бедствия.

### **СИГНАЛ «ВОЗДУШНАЯ ТРЕВОГА»**

Способ подачи сигнала: объявление по радиотрансляционным и телевизионным приемникам информации о воздушной опасности в течение 2–3 мин непрерывно открытым текстом: «ВНИМАНИЕ! ВНИМАНИЕ! ГРАЖДАНЕ! ВОЗДУШНАЯ ТРЕВОГА!» и объяснение кратких действий по этому сигналу.

Данный сигнал подается для предупреждения персонала и населения о непосредственно возникшей опасности нападения противника.

*Действия по сигналу:* соблюдать спокойствие и порядок, отключить свет и воду, взять СИЗ, документы, запас продуктов и воды, занять места в защитном сооружении (убежище, подвале и т. д.), находиться в них до следующего сообщения штаба ГО.

### **СИГНАЛ «ОТБОЙ ВОЗДУШНОЙ ТРЕВОГИ»**

Этот сигнал передается органами гражданской обороны. По радиотрансляционной сети звучит следующий текст: «ВНИМАНИЕ! ВНИМАНИЕ! ГРАЖДАНЕ! ОТБОЙ ВОЗДУШНОЙ ТРЕВОГИ! ОТБОЙ ВОЗДУШНОЙ ТРЕВОГИ!»

*Действия по сигналу:* по данному сигналу население с разрешения комендантов убежищ и укрытий может покинуть их. Рабочие и служащие возвращаются непосредственно на свои рабочие места и приступают к работе.

В городах (районах), по которым противник нанес удары оружием массового поражения, для укрываемых передается информация об обстановке, сложившейся вне укрытий, о принимаемых мерах по ликвидации последствий нападения, правилах поведения населения и другая необходимая информация для последующих действий.

## **СИГНАЛ «РАДИАЦИОННАЯ ОПАСНОСТЬ»**

Этот сигнал подается в населенных пунктах и районах, по направлению к которым движется радиоактивное облако, образовавшееся при взрыве ядерного боеприпаса или аварии на радиационно опасном объекте.

*Действия по сигналу:* необходимо использовать средства защиты органов дыхания (надеть противогаз, респиратор, противопылевую тканевую маску или ватно-марлевую повязку); взять подготовленный запас продуктов, индивидуальные средства медицинской защиты, предметы первой необходимости и уйти в убежище, противорадиационное или простейшее укрытие.

## **СИГНАЛ «ХИМИЧЕСКАЯ ТРЕВОГА»**

Этот сигнал подается при угрозе или непосредственном обнаружении химического либо бактериологического нападения (заражения).

*Действия по сигналу:* нужно быстро надеть противогаз (или подручными СИЗ органов дыхания), а в случае необходимости и СИЗ кожи и при первой же возможности укрыться в защитном сооружении. При отсутствии защитного сооружения от поражения аэрозолями отравляющих веществ и бактериальных средств можно укрыться в жилых, производственных или подсобных помещениях.

Во всех перечисленных случаях следует строго выполнять распоряжения органов ГО. О том, что опасность нападения противника миновала, и о порядке дальнейших действий распоряжение поступит по тем же каналам связи, что и сигнал оповещения.

## **12.5. Основные рекомендации в области антитеррористической деятельности**

**Терроризм** – это метод, при котором преступная группа стремится достичь своей цели путем использования насилия. Для нагнетания страха применяются взрывы и поджоги жилых и административных зданий, магазинов, вокзалов, захват заложников, угон самолетов и т. д.

**Что делать, чтобы избежать возможного террористического акта или уменьшить его последствия:**

1) не трогайте в транспорте, подъезде, общественном месте бесхозные пакеты, сумки или коробки и не подпускайте к ним других. Сообщите о находке сотруднику милиции;

2) в присутствии террористов не выражайте свое недовольство, воздержитесь от резких движений, криков;

- 3) в случае угрозы применения оружия ложитесь на живот, защищая голову руками, подальше от окон, застекленных дверей, проходов, лестниц;
- 4) в случае ранения для уменьшения потери крови меньше двигайтесь;
- 5) будьте внимательны, используйте любую возможность спасения;
- 6) если произошел взрыв, постарайтесь не допустить пожара и паники, окажите первую медицинскую помощь пострадавшим;
- 7) постарайтесь запомнить приметы подозрительных лиц, сообщите их сотрудникам спецслужб.

**При обнаружении подозрительных предметов и веществ** следуйте следующим правилам.

*В общественном транспорте:* опросите окружающих, постарайтесь определить, кому принадлежит предмет (сумка, пакет) или кто мог его оставить. Если хозяин не установлен, немедленно сообщите о находке водителю (начальнику поезда и т. д.).

*В подъезде своего дома:* опросите соседей, возможно, вещь принадлежит им. Если владелец не установлен – немедленно сообщите о находке в ближайшее отделение милиции.

*В учреждении:* немедленно сообщите о находке руководителю учреждения.

*Во всех этих случаях:*

- не трогайте, не вскрывайте и не передвигайте находку;
- зафиксируйте время обнаружения находки;
- постарайтесь сделать так, чтобы люди отошли как можно дальше;
- обязательно дождитесь прибытия оперативно-следственной группы;
- помните, что вы являетесь основным свидетелем.

Вы отвечаете за жизнь, здоровье и душевный покой ваших детей! Объясните, что каждый предмет, найденный на улице или в подъезде, может быть опасным для жизни. Не делайте ничего самостоятельно с подозрительными находками – это может привести к взрыву, многочисленным жертвам, разрушению.

**Помните!** Внешний вид предмета может скрывать его настояще назначение. В качестве камуфляжа для взрывных устройств используют обычные сумки, свертки, пакеты, коробки, игрушки и др.

*Если вы получили информацию об эвакуации, соблюдайте спокойствие и четко выполняйте команды компетентных органов.*

1. Возьмите личные документы, деньги, ценности.
2. Отключите электроэнергию, воду и газ.
3. Окажите помощь пожилым и тяжелобольным людям.
4. Обязательно закройте входную дверь на замок – это защитит помещение от возможного проникновения мародеров.

Не впадайте в панику, избегайте истерики и спешки. Покидайте помещение организовано. Возвращайтесь только после разрешения ответственных лиц. Помните, что от слаженности и четкости ваших действий зависит жизнь и здоровье многих людей.

**Что делать, если вы оказались в заложниках:**

- 1) как можно быстрее возьмите себя в руки, всеми силами подавите панику и, насколько это возможно, успокойтесь;
- 2) подготовьтесь к моральным, физическим и эмоциональным испытаниям. Причем заранее уясните себе, что все происходящее с вами необходимо пережить;
- 3) вытекает из первых двух – говорите спокойным ровным голосом. Ни в коем случае не допускайте вызывающего, враждебного тона. Не стоит провоцировать террористов;
- 4) не допускайте действий, которые могут спровоцировать нападающих к применению оружия и привести к человеческим жертвам. Никакой спонтанности и необдуманных поступков: не бегите, но и не брайтесь на террористов, не пытайтесь с ними помириться или найти общий язык, но и не боритесь с ними, не хватайтесь за их оружие;
- 5) переносите оскорблений и унижения без возражений. Не рекомендуется прямой взгляд в глаза террориста – это вызов;
- 6) экономьте и поддерживайте силы чем угодно, используйте любую возможность;
- 7) максимально выполняйте требования преступников, особенно в первое время (полчаса – час). Пределов жестокости и бесчеловечности нет, тут вам никто не поможет, только вы сами устанавливаете для себя предел выполнимости приказов террористов. Но если это возможно – постарайтесь выполнять;
- 8) не совершайте каких-либо действий без разрешения;
- 9) постараитесь поменьше двигаться, если вы ранены;
- 10) постоянно напоминайте себе, что ваша цель – остаться в живых. Сделайте все, чтобы потом оказать помощь следствию: внимательно слушайте, смотрите, запоминайте лица, клички, имена, манеру общения, характерные мелочи;
- 11) всегда помните, что в момент вашего захвата спецслужбы и власти получили сообщение об этом. Для вашего освобождения делаются все необходимое и возможное;
- 12) во время штурма необходимо занять позицию подальше от окон и дверных проемов (при стрельбе осколки стекла и строительных конструкций могут причинить дополнительные травмы). Также нужно держаться подальше от террористов, потому что при штурме по ним могут применять оружие снайперы спецназа.

*Как действовать после теракта:*

- Сохраняйте спокойствие и будьте терпеливыми.
- Слушайте сообщения.
- Выполняйте инструкции.
- Окажите помощь пострадавшим.
- Проверьте повреждения, используя фонарик, ни в коем случае не зажигайте свечи или спички, не включайте электроприборы.
- Проверьте, нет ли пожара и утечки газа.
- Выключите все поврежденные приборы.
- Позаботьтесь о домашних животных.
- Проверьте прилегающую территорию и обеспечьте первую помощь пострадавшим.

**Рекомендации по поведению пострадавшего при завале.**

Если вы попали в зону завала, то будьте готовы к тесноте и темноте, боли. Постарайтесь переползти туда, где, по вашему мнению, вероятность обвала меньше.

Укрепите потолок своей западни – возможно, вам придется провести здесь около суток. Если вы понимаете, что запас воздуха у вас ограничен, старайтесь дышать реже. Каждый час спасатели наверху объявляют «время тишины». Это время специально для того, чтобы услышать живых.

Как только контакт со спасателями установлен, сообщите им свое имя, опишите ваши повреждения, состояние завала вокруг вас, место, где вы находились в здании при обвале.



- 
1. Правила поведения на массовых мероприятиях.
  2. Правила выживания в уличной толпе.
  3. Правила выживания при возникновении паники в кинотеатре.
  4. Обязанности граждан по защите населения.
  5. Обучение населения способам защиты в ЧС.
  6. Оповещение населения о ЧС. Средства оповещения.
  7. Действия при обнаружении подозрительных предметов и веществ?
  8. Что нужно делать, если вы оказались в заложниках?
  9. Поведение пострадавшего при завале.

## ЛЕКЦИЯ 13

# ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ОРГАНЫ ПО ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

- 13.1. Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.
- 13.2. Силы и средства Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.
- 13.3. Место гражданской обороны в Государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.
- 13.4. Опасные производственные объекты. Декларация промышленной безопасности.

### **13.1. Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций**

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера» функционирует Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ГСЧС), которая решает одну из основных проблем государства и общества – создание гарантий безопасного проживания и деятельности населения на всей территории страны как в мирное, так и в военное время.

**ГСЧС** – это система органов государственного управления, сил и средств, специально уполномоченных на решение задач в области гражданской обороны (ГО) и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС), включающая республиканские, территориальные, местные и объектовые органы повседневного управления по ЧС.

**Основная цель ГСЧС** – объединение усилий республиканских и местных органов исполнительной и распорядительной власти, а также организаций и учреждений для предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера, обеспечения промышленной, пожарной и радиационной безопасности.

**Предупреждение чрезвычайных ситуаций** – это комплекс мероприятий, проводимых заранее и направленных на максимально

возможное уменьшение риска ЧС, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей среде и материальных потерь в случае их возникновения.

**Ликвидация чрезвычайных ситуаций** – аварийно-спасательные и другие неотложные работы (АСиДНР), проводимые при возникновении ЧС и направленные на спасение жизни и сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь, а также на локализацию зон ЧС, прекращение действия характерных для них опасных факторов.

ГСЧС базируется на нескольких постулатах:

- признание факта невозможности исключить риск возникновения ЧС;
- соблюдение принципа превентивной безопасности, предусматривающего снижение вероятности возникновения ЧС;
- приоритет профилактической работе;
- комплексный подход при формировании системы, учет всех видов ЧС, всех стадий их развития и разнообразия последствий;
- построение системы на правовой основе с разграничением прав и обязанностей.

**Основными задачами ГСЧС являются:**

- 1) разработка и реализация правовых и экономических норм по обеспечению защиты населения и территорий от ЧС;
- 2) осуществление целевых и научно-технических программ, направленных на предупреждение ЧС и повышение устойчивости функционирования организаций, а также объектов социального назначения в ЧС;
- 3) обеспечение готовности к действиям органов управления, сил и средств, предназначенных для предупреждения и ликвидации ЧС;
- 4) создание резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации ЧС;
- 5) сбор, обработка, обмен и выдача информации в области защиты населения и территорий от ЧС;
- 6) подготовка населения к действиям в ЧС;
- 7) прогнозирование и оценка социально-экономических последствий ЧС;
- 8) осуществление государственной экспертизы, надзора и контроля в области защиты населения и территорий от ЧС;
- 9) ликвидация ЧС;
- 10) осуществление мероприятий по социальной защите населения, пострадавшего от ЧС, проведение гуманитарных акций;
- 11) реализация прав и обязанностей населения в области защиты от ЧС, а также лиц, участвующих в их ликвидации;
- 12) международное сотрудничество в области защиты населения и территорий от ЧС.

ГСЧС включает в себя все задачи по обеспечению природной и технической безопасности страны, в том числе функции ГО.

Организационно в состав ГСЧС входит комиссия по чрезвычайным ситуациям при Совете Министров Республики Беларусь, Министерство по чрезвычайным ситуациям (МЧС), территориальные и отраслевые подсистемы, звенья, принадлежащие перечисленным структурам. Имеет четыре уровня: республиканский, территориальный, местный и объектовый.

*Территориальные подсистемы* ГСЧС создаются исполнительными и распорядительными органами областей и Минска для организации мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС в пределах их территорий, состоят из звеньев (район, город), соответствующих принятому в республике административно-территориальному делению.

*Отраслевые подсистемы* ГСЧС создаются министерствами, другими республиканскими органами государственного управления, объединениями (учреждениями), подчиненными Правительству Республики Беларусь, для организации и осуществления работы по защите подведомственных организаций от ЧС.

*Республиканский уровень* включает Совет Министров, республиканские органы государственного управления; учреждения, подчиненные Правительству Республики Беларусь.

*Территориальный уровень* включает все области и Минск, их исполнительные и распорядительные органы.

*Местный уровень* – это территория района, города, районов в городе, их распорядительные и исполнительные органы.

*Объектовый уровень* – это объекты, отнесенные к категориям по ГО; объекты, размещенные в зоне опасного химического, радиационного заражения катастрофического затопления, объекты с численностью работающих не более 300 чел., территория организации, конкретного объекта.

Каждый уровень ГСЧС имеет координирующие органы, постоянно действующие органы повседневного управления по чрезвычайным ситуациям, силы и средства, системы связи, оповещения, информационного обеспечения, резервы финансовых и материальных ресурсов.

Координирующими органами ГСЧС являются:

– на республиканском уровне – Комиссия по ЧС при Совете Министров Республики Беларусь и комиссии по ЧС республиканских органов государственного управления объединений (учреждений), подчиненных Правительству Республики Беларусь;

– на территориальном уровне, охватывающем территорию области и Минска, – комиссии по ЧС при исполнительных и распорядительных органах областей и Минска;

– на местном уровне, охватывающем территорию района, города (района в городе), – комиссия по ЧС при исполнительных органах районов (городов);

– на объектовом уровне, охватывающем территорию организации или объекта, – комиссия по ЧС организации (объекта).

Комиссии по ЧС на республиканском, территориальном и местном уровнях возглавляют заместители соответствующих руководителей, на объектовом уровне – руководитель объекта.

Органами повседневного управления по ЧС являются:

1) на республиканском уровне – Министерство по чрезвычайным ситуациям (МЧС), отделы (секторы) по ЧС республиканских органов государственного управления, объединений (учреждений), подчиненных правительству Республики Беларусь;

2) на территориальном уровне – областные и Минское городское управления МЧС;

3) на местном уровне – районные (городские) отделы по ЧС областных и Минского городского управлений МЧС;

4) на объектовом уровне – структурные подразделения, организации (объекта) – отделы, секторы или отдельные работники, занимающиеся вопросами ЧС.

Руководство всей системой ГСЧС повседневно осуществляют Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

В зависимости от обстановки, масштаба прогнозируемой или возможной ЧС решением руководителя исполнительного и распорядительного органа, организации (объекта) в пределах конкретной территории области (Минска), района (города), организации (объекта) устанавливается один из следующих режимов функционирования ГСЧС:

а) режим повседневной деятельности – при нормальной производственно-промышленной, радиационной, биологической (бактериологической), химической, сейсмической и гидрометеорологической обстановке, при отсутствии пандемий, эпидемий, эпизотий и эпифитотий;

б) режим повышенной готовности – при ухудшении производственно-промышленной, радиационной, химической, биологической (бактериологической), сейсмической и гидрометеорологической обстановки, при получении прогноза о возможности возникновения ЧС;

в) чрезвычайный режим – при возникновении / во время ликвидации ЧС.

Для каждого режима устанавливается перечень мероприятий, которые организуются и осуществляются в подсистемах и звеньях ГСЧС.

*В режиме повседневной деятельности:*

– наблюдение за состоянием окружающей среды, обстановкой на потенциально опасных объектах и прилегающих территориях;

- планирование и выполнение государственных программ по предупреждению ЧС, обеспечению безопасности и защите населения, сокращению возможных потерь и ущерба от ЧС и по повышению устойчивости работы объектов и отраслей экономики в ЧС;
- совершенствование подготовки руководящего состава органов управления по ЧС, сил и средств системы ГСЧС к действиям в ЧС, организация обучения населения способам защиты и действиям в ЧС;
- создание резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации ЧС;
- осуществление всех видов страхования.

*В режиме повышенной готовности:*

- принятие на себя соответствующими комиссиями по чрезвычайным ситуациям непосредственного руководства функционированием подсистем и звеньев ГСЧС, формирование при необходимости оперативных групп для выявления причин ухудшения обстановки непосредственно в районе возможной ЧС и выработка предложений по ее нормализации;
- уточнение планов защиты населения и территорий от ЧС областей (районов) и планов ликвидации аварийных ситуаций в организациях;
- усиление дежурно-диспетчерской службы;
- усиление наблюдения за состоянием окружающей природной среды, обстановкой на потенциально опасных объектах и прилегающих к ним территориях, прогнозирование возможности ЧС и их масштабов;
- принятие мер по защите населения и окружающей природной среды, по обеспечению устойчивого функционирования объектов;
- приведение в состояние готовности сил и средств системы ГСЧС, уточнение планов их действий и перемещение при необходимости в предполагаемый район ЧС.

*В режиме чрезвычайной ситуации:*

- введение в действие планов защиты населения и территорий от ЧС областей (районов) и планов ликвидации аварийных ситуаций в организациях;
- организация защиты населения;
- перемещение оперативных групп в район ЧС;
- организация ликвидации ЧС;
- определение границ зоны ЧС;
- организация работ по обеспечению устойчивого функционирования объектов, жизнеобеспечению пострадавшего населения;
- осуществление непрерывного контроля за состоянием окружающей природной среды в районе ЧС, обстановкой на аварийных объектах и на прилегающей к ним территории.

## **13.2. Силы и средства Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций**

В состав сил и средств ГСЧС входят:

- 1) силы и средства предупреждения и ликвидации ЧС;
- 2) силы и средства наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды и потенциально опасных объектов.

Силы и средства предупреждения и ликвидации ЧС состоят:

- из органов и подразделений МЧС (1-й эшелон – готовность 30 с);
- территориальных и объектовых невоенизированных формирований ГО;
- организаций и подразделений экстренной медицинской помощи Министерства здравоохранения (в постоянной готовности);
- штатных аварийно-спасательных, аварийно-восстановительных подразделений и формирований министерств, других республиканских органов государственного управления, объединений (учреждений), подчиненных Правительству Республики Беларусь;
- учреждений ветеринарной службы и станций защиты растений Министерства сельского хозяйства и продовольствия;
- территориальных и объектовых аварийно-спасательных формирований;
- специализированных подразделений, создаваемых на базе организаций строительного комплекса.

Аварийно-спасательные формирования должны иметь материально-технические ресурсы, обеспечивающие работу в автономном режиме в течение не менее 3 сут.

В мирное время ликвидация последствий ЧС осуществляется силами и средствами организаций, органов исполнительной власти (областей, Минска, районов), на территории которых сложились ЧС.

Непосредственное руководство ликвидацией последствий осуществляется соответствующей комиссией по ЧС.

***Основу аварийно-спасательных сил ГСЧС образуют:***

- 1) пожарные аварийно-спасательные отряды (ПАСО) областных управлений МЧС-6;
- 2) пожарные аварийно-спасательные части (ПАСЧ) МЧС-313;
- 3) пожарные аварийно-спасательные посты (ПАСП) МЧС-518;
- 4) аварийно-спасательные и аварийно-восстановительные подразделения министерств (ведомств), территориальных подсистем.

На базе Республиканского отряда специального назначения (РОСН) МЧС в целях оперативного реагирования на ЧС за пределами Беларуси сформирован отряд корпуса сил СНГ.

На случай возникновения ЧС, связанных с терактами, создан мобильный отряд МЧС. Оба эти подразделения могут работать в автономном режиме и выдвигаются к месту ЧС за 4–6 ч.

**Силы и средства наблюдения и контроля** за состоянием окружающей среды и потенциально опасных объектов организационно входят в состав:

- Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды;
- Департамента по гидрометеорологии;
- Комитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике при МЧС;
- институтов НАН Беларуси;
- Министерства здравоохранения;
- Государственной лесной охраны Министерства лесного хозяйства;
- ветеринарной службы и станции защиты растений Министерства сельского хозяйства и продовольствия (Минсельхозпрода);
- профильных научно-исследовательских организаций;
- подразделений, организаций (учреждений) сети наблюдения и лабораторного контроля (СНЛК).

Задачами сил и средств наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды и потенциально опасных объектов являются:

- 1) сбор и анализ информации о состоянии природной среды и потенциально опасных объектов;
- 2) представление необходимых данных в органы повседневного управления ГСЧС при угрозе и возникновении ЧС;
- 3) прогнозирование и наблюдение за возникновением и развитием стихийных природных явлений, гидрометеорологической и экологической обстановкой;
- 4) контроль за промышленной, экологической, радиационной и пожарной безопасностью, в том числе при строительстве, модернизации и реконструкции объектов;
- 5) проведение экологической экспертизы текущих и перспективных планов развития и размещения производительных сил, отраслей промышленности и их объектов;
- 6) контроль за использованием природных ресурсов и эксплуатацией природных объектов;
- 7) прогнозирование и оценка экологических и социальных последствий стихийных бедствий, техногенных аварий и катастроф;
- 8) прогнозирование развития эпизоотий и эпифитотий.

### **13.3. Место гражданской обороны в системе Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций**

Общее руководство ГО в стране возложено на правительство Республики Беларусь, начальником гражданской обороны является Председатель Совета Министров Республики Беларусь.

Непосредственное руководство ГО Республики Беларусь возложено на МЧС, которое отвечает за общую готовность к выполнению возложенных на нее задач и осуществляет разработку основных направлений развития и совершенствования ГО.

ГО тесно связана с ГСЧС как направление подготовки страны к деятельности в особых условиях военного времени.

Организация и ведение ГО – одна из важнейших функций государства, составная часть оборонного строительства, элемент национальной безопасности.

На объектах экономики руководство ГО осуществляют руководитель объекта, который является начальником ГО.

При начальнике создается штаб ГО – основной орган управления, через который осуществляется планирование, организация, проведение и контроль выполняемых мероприятий.

Для выполнения специальных мероприятий создают службы ГО: оповещения и связи, медицинская, аварийно-спасательная, убежищ и укрытий, противорадиационной и противохимической защиты, транспортная, материально-технического снабжения, противопожарная и др.

На хозяйственных объектах ликвидация ЧС осуществляется силами гражданских формирований гражданской обороны (ГФГО).

В качестве спасательных сил используют обученные спасательные формирования, создаваемые заблаговременно из числа работников объекта.

В гражданские формирования ГО не включаются инвалиды, беременные женщины и женщины, имеющие детей до 8 лет.

Существует два вида формирований:

- 1) формирования общего назначения;
- 2) формирования служб гражданской обороны.

*Формирования общего назначения* необходимы для самостоятельного выполнения спасательных и других неотложных работ, а *формирования служб* – для выполнения специальных задач и усиления формирований общего назначения.

Организационная структура ГФГО объектов экономики различна, но, как правило, включает: командный состав, спасательные, аварийно-технические, пожарные и медицинские группы, звенья управления, связи и разведки (рис. 13.1–13.3).

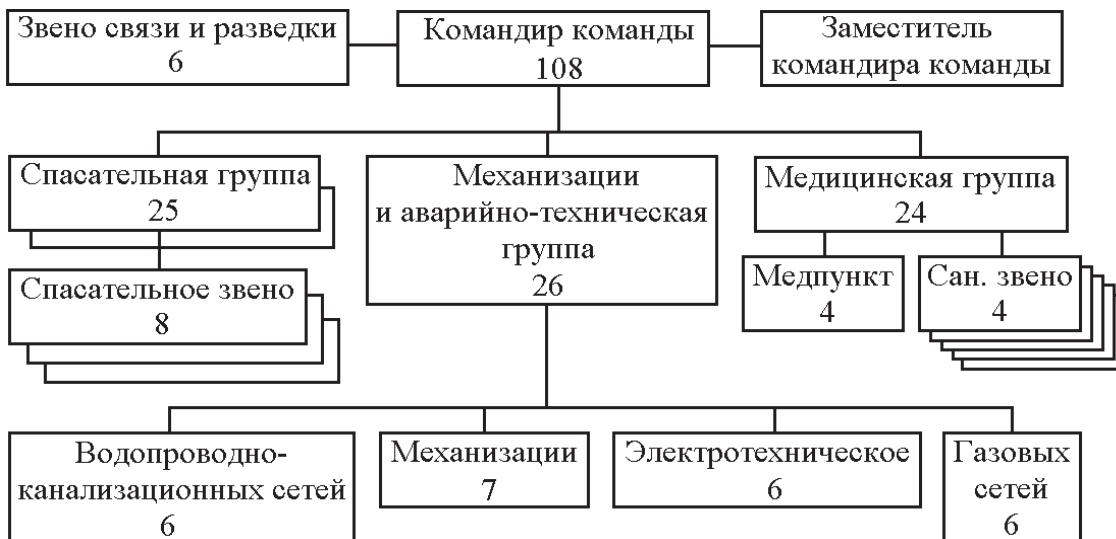


Рис. 13.1. Организация сводной команды ГО объекта экономики

В сводной команде (рис. 13.1) – 108 чел. Техника: бульдозер – 1, автокран – 1, компрессорная станция – 1, электростанция силовая – 1, электростанция осветительная – 1, грузовых автомобилей – 6, сварочный аппарат – 1.

Возможности команды по ведению АСиДНР за 10 ч:

- извлечение пострадавших из-под завалов и поврежденных убежищ – до 500 чел.;
- откапывание и вскрытие заваленных убежищ – 3–4 шт.;
- устройство проездов по завалу шириной 3–3,5 м – до 1 км;
- возведение убежищ из лесоматериалов на 50–100 чел. – 3–4 шт.;
- отключение 5–10 участков разрушенных сетей;
- устройство до 100 м обводных линий на водопроводных, канализационных и газовых сетях.

Комплектование формирований осуществляется по производственному принципу: по цехам, участкам производства, рабочим сменам и бригадам с учетом следующих общих положений:

- а) сохранения существующей структуры организации;
- б) сохранения специализации персонала с учетом производственной деятельности, квалификации и опыта работы;
- в) назначения минимального состава звеньев, групп и других структурных подразделений формирования;

г) обеспечения условий быстрого оповещения и сбора личного состава и техники формирования.

Основными организационными единицами гражданских формирований ГО являются отряды, команды и группы. Структура и численность их может меняться в зависимости от технической оснащенности, предполагаемых условий и объемов работ.

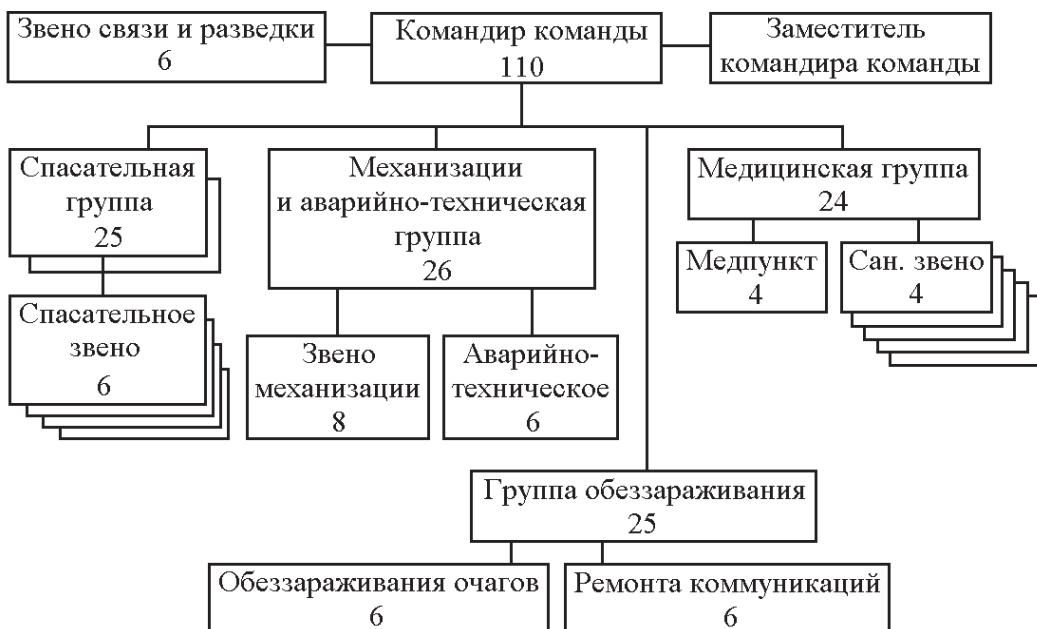


Рис. 13.2. Организация сводной команды противорадиационной и противохимической защиты объекта химической промышленности

В составе команды противорадиационной и противохимической защиты объекта химической промышленности (ПРИПХЗ): личного состава – 110 чел., поливомоечные машины – 4, бульдозер – 1, экскаватор – 1, санитарный автомобиль – 1, автокран – 1, сварочных аппаратов – 5.

Возможности команды по ведению АСиДНР:

- извлечение пострадавших людей из-под завалов и убежищ – 200 чел.;
- дезактивация проездов с твердым покрытием шириной 6 м мойкой (расход воды 3 л/м<sup>2</sup>) – 24 км;
- дегазация (дезинфекция) поливной сусpenзией ДТС-ТК (расход 2 л/м<sup>2</sup>) – 40 км;
- дезактивация транспорта струей воды – 200 ед.;
- локализация и ликвидация очагов с СДЯВ (ремонт коммуникаций, дегазация очагов с СДЯВ) – 2 очага;
- устройство проездов по завалу шириной 3,0–3,5 м – до 500 м.

В составе лесопожарной команды (рис. 13.3): личного состава – 40 чел., бульдозеры – 2, грузовых автомобилей – 3, прицепов-цистерн – 2, мотопомпы М-600 – 2, ранцевых огнетушителей – 18 шт.



Рис. 13.3. Организация лесопожарной команды лесхоза

Возможности этой команды за 10 ч работы:

- локализация пожара (пуск встречного низового огня от создаваемых опорных полос) – 24–34 км;
- тушение низового пожара 20–25 км.

## **13.4. Опасные производственные объекты. Декларация промышленной безопасности**

С целью осуществления контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на промышленных объектах Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности» № 354-3 от 05.01.2016 г. в статье 28 «Декларация промышленной безопасности» введено обязательное декларирование безопасности производственных объектов Республики Беларусь, деятельность которых связана с химически, ядерно-, радиационно, взрыво- и пожароопасными производствами и технологиями и представляет повышенную угрозу жизни и здоровью их персонала и населения.

Декларация промышленной безопасности является документом, в котором отражены характер и масштабы опасности на соответствующем объекте, а также выработанные мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и готовности к действиям по предупреждению этих ситуаций и ликвидации их последствий.

**Декларация безопасности** – это официальное заявление о готовности к обеспечению безопасной деятельности производственного объекта Республики Беларусь.

Отнесение к особо опасным производствам основано на величине пороговых количеств потенциально опасных веществ, обращающихся на производственном объекте или хранящихся на нем (таблица).

### Предельные количества опасных веществ

Наименование опасного вещества	Предельное количество опасного вещества, т
Аммиак	500
Нитрат аммония	2 500
Нитрат аммония в форме удобрения	10 000
Акрилонитрил	200
Хлор	25
Оксид этилена	50
Цианистый водород	20
Триоксид серы	75
Фосген	0,75
Метилизоционат	0,15
Воспламеняющиеся газы	200
Горючие жидкости на складах и базах	50 000
Горючие жидкости (транспортировка по трубопроводу)	200
Токсичные вещества	200
Высокотоксичные вещества	20
Окисляющие вещества	200
Взрывчатые вещества	50

К категории опасных производственных объектов относятся предприятия, на которых получаются, используются, перерабатываются, хранятся воспламеняющиеся, окисляющие, взрывчатые, высокотоксичные вещества; используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115°C; применяются стационарно установленные грузоподъемные механизмы; получаются расплавы черных и цветных металлов; ведутся горные работы, а также работы в подземных условиях.

**Декларация безопасности имеет следующую структуру:**

*Титульный лист и аннотация* (наименование декларации и сведения о разработчиках).

*Краткие сведения о промышленном объекте* – адрес, перечень и количество опасных веществ, топография расположения объекта, численность персонала и населения на прилегающих территориях, вид страхования объекта, порядок возмещения ущерба.

*Анализ опасностей и риска:*

- характеристика опасного вещества;
- описание технологической схемы с системой автоматики и запорных устройств, технические характеристики;

- распределение опасных веществ на производстве и физические условия их содержания;
- сведения об известных авариях;
- обеспечение готовности объекта к локализации и ликвидации аварии.

*Меры по обеспечению технической безопасности* (системы контроля, профессиональная подготовка персонала).

*Действия в случае промышленной аварии* (оповещение, защита людей, медицинское обеспечение).

*Информационный лист* содержит сведения об опасном промышленном объекте для информирования общественности.



- 
1. Перечислите основные задачи, решаемые ГСЧС.
  2. На каких постулатах базируется ГСЧС?
  3. Назовите органы, входящие в состав ГСЧС.
  4. Какие функции выполняют территориальная и отраслевая подсистемы ГСЧС?
  5. Назовите уровни ГСЧС и решаемые задачи.
  6. Охарактеризуйте координирующие органы ГСЧС.
  7. Перечислите силы и средства ГСЧС.
  8. Какова роль и место гражданской обороны в системе ГСЧС?
  9. С какой целью осуществляется декларирование промышленной безопасности опасных объектов и производств?

## ЛЕКЦИЯ 14

# ЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ И ПОРЯДОК ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- 14.1. Классификация защитных сооружений гражданской обороны. Требования, предъявляемые к ним.
- 14.2. Планировка защитных сооружений и системы жизнеобеспечения.
- 14.3. Правила использования защитных сооружений в чрезвычайных ситуациях.

### **14.1. Классификация защитных сооружений гражданской обороны. Требования, предъявляемые к ним**

Одним из основных способов защиты населения от современных средств поражения в результате крупномасштабных ЧС, вызванных авариями и катастрофами на химически и радиационно опасных объектах, пожарами и взрывами, является укрытие персонала предприятий и населения в защитных сооружениях.

*Защитные сооружения ГО* – это инженерные сооружения, предназначенные для защиты населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

В соответствии с техническим кодексом установившейся практики ТКП 45-2.03-231-2011 «Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования» защитные сооружения делят *по защитным свойствам* на типы:

1) *убежища*, защищающие от поражающих факторов современных средств поражения, СДЯВ (АХОВ), высоких температур и продуктов горения при пожарах. Обеспечивают непрерывное пребывание в них укрываемых в течение 2 сут;

2) *противорадиационные укрытия* (ПРУ), защищающие от воздействия ионизирующих излучений, возникающих при радиоактивном заграждении местности  $K_3$  – не ниже 100 и от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа;

3) сооружения двойного назначения, обеспечивающие защиту от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа и допускающие непрерывное пребывание в них укрываемых до 6 ч;

4) защитные укрытия, обеспечивающие защиту укрываемых от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа и допускающие непрерывное пребывание укрываемых до 2 сут.

**Убежища** – сложные в техническом отношении сооружения, оборудованные различными инженерными системами и измерительными приборами для обеспечения защиты людей.

Для защиты от химически опасных веществ, биологических средств и радиоактивной пыли убежища герметизируют и оснащают фильтровентиляционным оборудованием, которое очищает наружный воздух, распределяет его по отсекам. Для жизнеобеспечения укрываемых защитные сооружения, помимо системы фильтровентиляции, снабжающей людей воздухом, должны иметь надежное электроснабжение, санитарно-технические системы (водопровод, канализацию, отопление), радио- и телефонную связь, а также запасы воды и продовольствия.

### **Классификация убежищ.**

#### **По назначению:**

- двойного назначения: в мирное время они используются как хозяйственно-бытовые помещения (гардероб, помещения торговли или общественного питания), спортивные, зрелищные, но в любом случае убежище должно быть готово к заполнению людьми через 12 ч;
- специальные, постоянно готовые к приему людей.

#### **По вместимости:**

- малые (до 600 чел.);
- средние (600–1200 чел.);
- большие (более 1200 чел.).

Убежища большой вместимости имеют наиболее сложное внутреннее оборудование. Сложность внутреннего оборудования и инженерных сетей, оснащенность агрегатами, механизмами, приборами зависят также от назначения и характера использования помещения в мирное время.

**По степени защиты** убежища подразделяются на классы в зависимости от расчетной величины избыточного давления воздушной ударной волны, которую они могут выдержать, и коэффициента защиты от ионизирующих излучений (табл. 14.1).

Убежища классов А–I и А–II предназначены для размещения пунктов управления и крупных узлов связи, строятся по особому указанию. Для укрытия населения и персонала промышленных объектов используют убежища класса А–IV.

Таблица 14.1  
**Классификация убежищ по защитным свойствам**

Класс убежища	Степень защиты	
	от избыточного давления ударной волны, кПа	от ионизирующих излучений (коэффициент защиты)
A-I	500	5000
A-II	300	3000
A-II	200	2000
A-IV	100	1000

**По месту расположения** в застройке:

- отдельно стоящие;
- встроенные.

Отдельно стоящие убежища возводят на свободных от застройки участках, а встроенные сооружают в подвалах, полуподвальных (цокольных) и первых этажах зданий. Отдельно стоящие убежища бывают заглубленными, полузаглубленными и возвышающимися. Ко встроенным относятся убежища, возводимые внутри одноэтажных производственных зданий и не связанные с его ограждающими конструкциями.

Противорадиационные укрытия по сравнению с убежищами имеют более простое оборудование (табл. 14.2). Они могут быть размещены в любых подвалах, цокольных и первых этажах зданий.

Таблица 14.2  
**Классификация ПРУ по степени защиты**

Группа ПРУ	Степень защиты	
	от ионизирующих излучений (коэффициент защиты)	от избыточного давления, кПа
П-1	200	20–50
П-2	200	20
П-3	100	20
П-4	100	20

**Требования к убежищам.** Убежища должны строиться на участках местности, не подвергающихся затоплению, вне зон и очагов пожаров, иметь входы и выходы с той же степенью защиты, что и основное помещение, а на случай завала их – аварийные выходы. Все входы и выходы должны быть разнесены на расстояние не менее 10 м, чтобы не произошло их одновременного завала. К убежищам должны быть свободные подходы, где не должно быть сгораемых или сильно дымящихся материалов.

Убежища должны обеспечивать непрерывное пребывание людей в течение не менее 2 сут. В убежищах воздух должен содержать углекислый газ не более 1% об.; иметь влажность не более 70% и температуру не более 23°C.

Высота основного помещения – от 2,2 до 3,5 м, а уровень пола должен быть выше уровня грунтовых вод более чем на 20 см. Убежища должны иметь фильтровентиляционное оборудование, обеспечивающее очистку воздуха от примесей и подачу в него не менее 2 м<sup>3</sup> воздуха в час на одного человека.

## **14.2. Планировка защитных сооружений и системы жизнеобеспечения**

Задачи сооружения должны рационально использоваться в мирное время, т. е. они имеют двойное назначение. Поэтому, помимо требований к защите, учитывают объемно-планировочные и технологические особенности помещений и внутреннего оборудования, связанные с работой в мирное время. Предпочтение отдается такому назначению убежищ и ПРУ, при котором помещения отсеков большую часть суток свободны и в них поддерживаются требуемые санитарно-гигиенические условия (гардеробные, комнаты отдыха, помещения для дежурных бригад, помещения для занятий и т. д.).

Помещения делятся на основные и вспомогательные.

*Основными* являются помещения, в которых размещают людей, пункт управления и медпункт.

К *вспомогательным* относятся фильтровентиляционные камеры, санузлы, помещения дизельной электростанции, помещения с баками для воды, помещения для станций перекачки фекальных вод, тамбуры, шлюзы и др.

Вместимость убежища определяют исходя из нормы 0,5 м<sup>2</sup> на человека при двухъярусном и 0,4 м<sup>2</sup> – при трехъярусном расположении.

Высота помещений должна быть не менее 2,2 м. Общий объем помещений – не менее 1,5 м<sup>3</sup> на человека. Размер мест для сидения – 0,45×0,45 м на 1 чел., а для лежания при 2- и 3-ярусном расположении нар – 0,55×1,80 м.

Число мест для сидения при двух ярусах составляет 80%, при трех – 70%. Санитарные посты оборудуются из расчета один пост площадью 2 м<sup>2</sup> на 500 чел. Помимо санитарных постов, в убежищах вместимостью не менее 900 чел. должен быть медпункт площадью 9 м<sup>2</sup>.

Медицинский пункт размещают на возможно большем удалении от фильтровентиляционной камеры и ДЭС. Помещение ДЭС должно соединяться с убежищами через тамбур с двумя герметическими дверями.

**Выходы и аварийные входы.** При проектировании входов учитывают необходимость защиты проемов от поражающих факторов современного оружия и пропуска расчетного числа людей в минимальное время. Для того чтобы сократить максимально это время, предусматривают не менее двух входов.

**Защитные устройства дверных проемов.** В убежищах применяют различные типы специально изготавливаемых защитных устройств входных проемов-дверей, ставней, ворот. По свойствам они делятся на *защитные* и *защитно-герметические*, а также *герметические*.

Для защиты от ударной волны во входах устанавливают защитно-герметические двери. Конструкцию входа рассчитывают на нагрузку, превышающую в 1,5–2 раза нормативную для перекрытий убежища. Предпочтение следует отдавать сквозняковым входам. Ко входу в убежище обычно ведет лестничный спуск или наклонная площадка (пандус). В тамбуре устанавливают две двери – защитно-герметическую и герметическую, которые открываются наружу.

Количество входов и ширину дверных проемов определяют в зависимости от вместимости убежища, его расположения: вход размером  $1,2 \times 2,0$  м – на 300 чел. и  $0,8 \times 1,8$  м – на 200 чел.

Для эвакуации людей из заваленного убежища устраивают аварийный выход в виде заглубленной галереи, заканчивающейся шахтой с оголовком. Длина аварийного выхода должна быть не менее высоты наземной части здания. Для ПРУ количество и размеры входов предусматривают такие же, как и для убежищ.

**Система воздухоснабжения.** Система воздухоснабжения должна обеспечивать людей необходимым количеством чистого воздуха соответствующей температуры, влажности и газового состава в условиях, которыми характеризуется очаг поражения.

Система воздухоснабжения, как правило, может работать в двух режимах – *чистой вентиляции* и *фильтровентиляции*. Если убежище расположено в пожароопасном районе или в районе возможной загазованности АХОВ, дополнительно предусматривают режим полной изоляции с регенерацией внутреннего воздуха (третий режим).

В режиме чистой вентиляции воздух очищается только от пыли, норма подачи воздуха –  $10 \text{ м}^3$  на одного укрываемого.

При режиме фильтровентиляции воздух, очищенный от пыли, пропускают через фильтры-поглотители, в которых он очищается от АХОВ и биологических средств. Для убежищ принятые следующие нормы подачи воздуха:  $2 \text{ м}^3$  на одного укрываемого,  $5 \text{ м}^3$  на одного работающего в фильтровентиляционной камере с электроручными вентиляторами или в помещении пункта управления.

Система воздухоснабжения включает в себя воздухозаборные устройства, противопыльные фильтры, фильтры-поглотители, вентиляторы, разводящую сеть, воздухоохладители, фильтр для очистки воздуха от окиси углерода.

Воздухозабор для режима чистой вентиляции совмещают с галереей аварийного выхода. При выходе из строя воздухозабора фильтровентиляции можно использовать воздухозабор чистой вентиляции, для чего между воздухозаборами прокладывают байпасную линию с герметическим клапаном.

Для защиты от затекания ударной волны внутрь убежища на воздухозаборах и на вытяжных устройствах устанавливают противовзрывные устройства, имеющие расширительные камеры.

**Санитарно-технические устройства и оборудование.** Отопление убежищ и ПРУ устраивается в виде ответвления от отопительной сети здания.

Водоснабжение выполняют водом от наружной сети с установкой на воде внутри убежища запорной арматуры и обратного клапана, на случай прекращения подачи воды в убежище предусматривается запас питьевой воды в емкостях из расчета 3 л/сут на каждого укрываемого.

Канализация защитных сооружений имеет выпуск в наружную канализационную сеть или соединяется в ней с помощью станции перекачки. В качестве санитарных приборов наряду с обычными унитазами применяются напольные чаши и унитазы вагонного типа. Объем резервуара для сточных вод устанавливается из расчета 2 л/сут на одного укрываемого.

Электроснабжение больших убежищ осуществляется следующим образом: постоянное – от городских сетей, аварийное – от встроенной дизельной электростанции.

В каждом убежище предусматривается телефон, радиотрансляционная точка, противопожарный инвентарь, шанцевый инструмент и средства радиационного и химического контроля.

### **14.3. Правила использования защитных сооружений в чрезвычайных ситуациях**

Все защитные сооружения должны содержаться в полной исправности и постоянной готовности к использованию по назначению. Подготовка защитных сооружений к приему людей проводится по указанию начальника ГО объекта. Работы выполняет личный состав групп (звеньев) по обслуживанию убежищ и укрытий.

Во время пребывания людей в убежище подпор воздуха должен быть не менее 5–7 мм водяного столба.

В случае обнаружения проникновения вместе с воздухом ядовитых и отравляющих веществ укрываемые немедленно надевают средства защиты органов дыхания, а убежище переводится в режим фильтровентиляции. При возникновении вблизи убежища пожаров или образования опасных концентраций АХОВ защитное сооружение переводят на режим полной изоляции и включают установку регенерации воздуха.

На случай отключения электроснабжения должны быть аккумуляторные батареи, керосиновые фонари, лампы, свечи.

Важное значение приобретает строгий контроль за воздушной средой. Если в убежище температура воздуха ниже 30°C, концентрация углекислого газа не превышает 30 мг/м<sup>3</sup>, а кислорода содержится 17% и более, то такие условия принято считать нормальными.

Надо помнить, что во время заполнения защитных сооружений не исключена возможность возникновения паники. На психическое состояние людей во многом влияет поведение самого личного состава, обслуживающего сооружение. Уверенные действия, спокойные и четкие распоряжения, дисциплинированность – все это успокаивающее действует на окружающих, придает им чувство уверенности.



1. Назовите категории защитных сооружений в соответствии с ТКП.
2. По каким признакам классифицируют защитные сооружения ГО?
3. Перечислите системы жизнеобеспечения убежищ и требования к ним.
4. Охарактеризуйте режимы вентиляции защитных сооружений.
5. Какие требования предъявляются к убежищам и ПРУ.
6. Охарактеризуйте размещение и оборудование входов и аварийных выходов.
7. Назовите правила поведения в защитных сооружениях ГО.

## ЛЕКЦИЯ 15

# УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

- 15.1. Основы устойчивости работы хозяйственных объектов.
- 15.2. Исследование устойчивости функционирования хозяйственного объекта в чрезвычайных ситуациях.

### 15.1. Основы устойчивости работы хозяйственных объектов

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» одной из основных задач государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС является осуществление целевых и научно-технических программ, направленных на предупреждение ЧС и повышение устойчивости функционирования предприятий, организаций, учреждений и объектов социального назначения.

Проблема повышения устойчивости функционирования хозяйственных объектов в современных условиях приобретает все большее значение. Это связано с рядом причин:

- ослабление механизмов государственного регулирования и безопасности в производственной сфере;
- снижение противоаварийной устойчивости производств, произошедшей вследствие высокого износа основных производственных фондов, особенно на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей и металлургической промышленности с одновременным снижением темпов обновления фондов;
- повышение вероятности террористических актов.

Проблемы повышения устойчивости функционирования хозяйственных объектов направлены на предупреждение ЧС техногенного характера, смягчение последствий стихийных бедствий и создание условий для быстрой ликвидации их последствий.

Под *устойчивостью функционирования хозяйственных объектов в ЧС* понимается их способность предупреждать возникновение аварий

и катастроф, противостоять воздействию их поражающих факторов в целях предотвращения или ограничения угрозы жизни, здоровью персонала и проживающего вблизи населения, снижение материального ущерба в ЧС, а также обеспечивать восстановление нарушенного производства в минимально короткие сроки.

Сущность устойчивости объектов в ЧС заключается в заблаговременной разработке комплекса мероприятий, направленных:

- а) на предотвращение техногенных аварий и катастроф;
- б) снижение возможных потерь и разрушений от стихийных бедствий и применение современных средств поражения;
- в) создание условий для восстановления нарушенного производства в минимально короткие сроки;
- г) обеспечение жизнедеятельности персонала объекта экономики.

Современный типовой комплекс промышленного предприятия составляют здания и сооружения, в которых размещаются цехи, станочное и технологическое оборудование; сооружения энергетического хозяйства, системы энергоснабжения, инженерные и топливные коммуникации; отдельно стоящие технологические установки; сеть внутреннего транспорта, системы связи и управления; складское хозяйство; различные здания и сооружения административного, бытового и хозяйственного назначения.

На устойчивость работы хозяйственных объектов в ЧС влияют следующие факторы, которые подразделяются на внешние и внутренние.

К *внешним* факторам относятся:

- регион размещения объекта, который определяет наиболее вероятные и опасные стихийные бедствия;
- рельеф местности, характер окружающей застройки, насыщенность транспортными коммуникациями, наличие потенциально опасных предприятий (радиационно-, химически-, биологически-, пожаро-взрывоопасных).

К *внутренним* факторам, влияющим на устойчивость объектов, относятся:

- численность работающих, уровень их компетенции и дисциплины;
- размеры и характер объекта, выпускаемая продукция;
- характеристика зданий и сооружений;
- особенности производства, применяемых технологий и материалов, веществ;
- потребности в основных видах энергоносителей и воде, наличие своих ТЭЦ (котельных).

Заделка городов, реконструкция жилых и промышленных районов, проектирование и строительство предприятий, зданий и сооружений осуществляется в соответствии с нормами проектирования.

**Нормы проектирования** – это нормативный документ, регламентирующий объем и содержание обязательных к выполнению мероприятий инженерно-технической защиты населения.

Основными инженерно-техническими мероприятиями по защите населения являются:

а) укрытие людей в приспособленных для их защиты помещениях производственных, общественных и жилых зданий, а также в специальных защитных сооружениях;

б) повышение надежности систем жизнеобеспечения (водо-, энергоснабжение, теплофикация и др.) при авариях, катастрофах, стихийных бедствиях, а также устойчивость важных объектов социального и производственного назначения;

в) выполнение ряда градостроительных требований, позволяющих при крупномасштабных ЧС и применении в военных конфликтах современных средств поражения уменьшить количество жертв, обеспечить выход населения из разрушенных частей города в загородную зону, а также создать условия для ввода в пораженную зону аварийно-спасательных сил.

Требования норм проектирования распространяются:

1) на крупные города и расположенные за их пределами важные объекты, а также на прилегающую к ним территорию, на которой возможны разрушения зданий, сооружений и поражение людей;

2) хозяйственные объекты, находящиеся в крупных городах, и на прилегающую к ним территорию в пределах зоны возможных разрушений;

3) всю территорию страны (в части противорадиационной защиты населения).

Все требования норм проектирования закладываются в строительные нормы и правила.

Новые промышленные предприятия не должны располагаться в зонах возможного сильного радиоактивного заражения категорированных городов и объектов особой важности, в зонах катастрофического затопления и в регионах, в которых строительство запрещено или ограничено, за исключением предприятий соцкультбыта.

Здания и сооружения на объекте необходимо размещать рассредоточенно, с учетом возможных разрушений. Расстояние между зданиями должно исключать вероятность переноса огня с одного здания на другое даже в том случае, если тушение пожара не производится.

Складские помещения для легковоспламеняющихся веществ (бензин, керосин, нефть, мазут) должны размещаться в отдельных блоках заглубленного или полузаглубленного типа у границ территории объекта или за ее пределами.

Электроснабжение является основой всякого производства. Необходимо, чтобы оно осуществлялось от энергосистем, в состав которых входят электростанции, работающие на различных видах топлива. Снабжение электроэнергией объектов следует предусматривать от двух независимых источников.

На многих объектах газ используется в качестве топлива, а на химических предприятиях и как исходное сырье. Газовые сети закольцовываются и прокладываются под землей. На газопроводах устанавливают запорную арматуру с дистанционным управлением и краны, автоматически перекрывающие подачу газа при разрыве труб, что позволяет отключать газовые сети разрушенных участков.

Для повышения устойчивости снабжения объектов водой необходимо, чтобы система водоснабжения базировалась не менее чем на двух независимых источниках, один из которых целесообразно устраивать подземным. Сети водоснабжения должны быть закольцованны. Водопроводное кольцо объекта должно питаться от двух различных магистралей.

На объектах, технологический процесс которых связан с применением АХОВ пожароопасных и взрывчатых веществ, устанавливается необходимый минимум их запасов. Хранение таких веществ на территории предприятия организуется в защищенных хранилищах.

В помещениях, в которых возможно заражение воздуха АХОВ, должны устанавливаться автоматические устройства нейтрализации, которые при определенной концентрации ядовитых веществ начинают разбрызгивать жидкости, нейтрализующие эти вещества.

## **15.2. Исследование устойчивости функционирования хозяйственного объекта в чрезвычайных ситуациях**

*Устойчивость хозяйственного объекта* – это способность продолжать работу в ЧС. Первоначально устойчивость закладывается еще на стадии проектирования здания, сооружения, промышленной установки, технологической линии.

Однако с течением времени та устойчивость, которая была заложена в проект и воплощена при строительстве, перестает соответствовать новым условиям. С течением времени здания, сооружения, оборудование стареют, к тому же, время от времени изменяются технологии, осваивается выпуск другой продукции, поэтому возникает необходимость выявления слабых мест. Для этого не реже одного раза в 5 лет

организуются исследования по повышению устойчивости функционирования хозяйственного объекта.

Под *повышением устойчивости функционирования хозяйственного объекта в ЧС* понимается комплекс мероприятий по предотвращению или снижению угрозы жизни и здоровью персонала и проживающего вблизи населения и материального ущерба в ЧС, а также подготовке к проведению спасательных и других работ в зоне ЧС.

Основой для разработки такого плана служат результаты изучения и оценки устойчивости работы хозяйственного объекта к воздействию современных средств поражения, аварий, катастроф и стихийных бедствий.

*Исследования на объекте* проводят в интересах повышения устойчивости его работы в условиях ЧС для того, чтобы:

- конкретизировать общие требования по устойчивости применительно к данному объекту с учетом характера производства и возможного влияния стихийных бедствий, производственных аварий и катастроф и современных средств поражения;
- определить оптимальные показатели, при которых обеспечивается устойчивая работа объекта в чрезвычайных ситуациях;
- определить на основе анализа полученных данных объем и содержание конкретных мероприятий, которые необходимо в плановом порядке осуществлять в ходе обычной производственной деятельности и которые следует включать в план мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий ЧС для выполнения в краткие сроки.

Исследование устойчивости предприятий проводится силами инженерно-технического персонала объекта с привлечением специалистов научно-исследовательских и проектных организаций, связанных с данным предприятием.

Из числа специалистов создают рабочие группы по службам хозяйственного объекта, системам энерго-, газо- и водоснабжения, экономическим связям и т. п.

Организатором и руководителем исследований является руководитель предприятия. Руководителями исследовательских групп выступают главные специалисты и начальники служб объекта.

Исходными данными для оценки устойчивости работы объекта являются:

- 1) защищенность персонала (обеспеченность защитными сооружениями на объекте наибольшей работающей смены; обеспеченность средствами индивидуальной защиты);
- 2) характеристика конструкций зданий и сооружений, их прочность и огнестойкость;

3) качество промышленного оборудования (станков, аппаратуры управления, автоматизированных систем и т. д.);

4) характеристика производства (категория) по пожарной устойчивости;

5) состояние коммунально-энергетических сетей;

6) характеристика территории объекта и окружающей местности.

Оценка устойчивости осуществляется по следующим основным направлениям:

– вероятность возникновения ЧС на самом объекте или вблизи него и влияние на его жизнедеятельность;

– физическая устойчивость зданий и сооружений;

– надежность защиты персонала;

– устойчивость системы управления;

– надежность материально-технического снабжения и производственных связей;

– готовность объекта к восстановлению нарушенного производства.

При определении вероятности возникновения ЧС на объекте и вблизи него учитывается воздействие на людей поражающих факторов, возможные потери, общее влияние ЧС на функционирование объекта.

Физическая устойчивость объекта оценивается последовательно по воздействию каждого поражающего фактора на отдельные элементы: здания и сооружения, технологическое оборудование, коммунально-энергетические сети, а также воздействие вторичных поражающих факторов на людей.

Поражающими факторами являются ударная волна (ядерного взрыва, взрыва обычных взрывчатых веществ (ВВ), углеводородных смесей), сейсмическая волна, световое излучение, проникающая радиация, электромагнитный импульс.

В качестве показателя физической устойчивости может быть выбрано максимальное значение параметра поражающего фактора  $\Pi_{кр}$ , при котором устойчивость работы объекта не нарушается. Оценка сводится к определению показателей физической устойчивости для каждого элемента и выявлению среди них наиболее уязвимых. Наиболее уязвимым (слабым) элементом объекта будет тот, для которого показатель  $\Pi_{кр}$  наименьший по сравнению с другими. Повышение устойчивости производится прежде всего увеличением надежности слабых элементов.

При изучении физической устойчивости рекомендуется придерживаться такой последовательности.

Сначала выявляют все элементы, наиболее чувствительные к воздействию избранного поражающего фактора, и вносятся в сводную таблицу.

Потом находят характер разрушений элементов объекта при различных значениях параметра поражающего фактора. И все это опять заносится в сводную таблицу. Устанавливают максимальное значение параметра поражающего фактора, при котором устойчивость элементов не нарушается.

На основе сравнительного анализа данных таблиц определяют наиболее уязвимые элементы.

После этого оценивают технически возможный и экономически оправданный предел повышения устойчивости слабых элементов.

Надежность защиты персонала определяют, учитывая многие элементы: количество сооружений, которые могут быть использованы для укрытия, и их защитные свойства; общая их вместимость с учетом возможного переуплотнения; максимальное количество работников, которых потребуется укрыть; количество недостающих мест в защитных сооружениях и других укрытиях; обеспеченность персонала средствами индивидуальной защиты (СИЗ); состояние системы питьевого водоснабжения и возможности обеспечения продовольствием в ЧС; наличие средств для оказания первой медицинской помощи пострадавшим.

Устойчивость системы управления объекта оценивается по наличию, защищенности, готовности пунктов управления и средств связи. Затем должен быть план замещения руководящего состава объекта на случай потерь.

Надежность материально-технического снабжения (МТС) и производственных связей оценивается по следующим параметрам:

- запасы сырья, топлива, комплектующих изделий и других материалов, обеспечивающих автономную работу объекта;
- неразрывность существующих связей с поставщиками комплектующих изделий и потребителями готовой продукции;
- наличие и реальность планов перевода производства на использование местных ресурсов.

**Показатели устойчивости МТС.** За основу могут быть взяты: время, в течение которого объект способен проработать автономно, и возможность обеспечения производства местными ресурсами (с учетом замены некоторых видов сырья).

Готовность объекта к восстановлению нарушенного производства оценивается:

- а) по наличию планов и графиков восстановления объекта при получении слабых и средних разрушений;
- б) обеспеченности восстановительных работ материалами, оборудованием, строительными конструкциями;
- в) наличию и качеству технической документации для проведения восстановительных работ;

г) количеству и состоянию подготовки ремонтно-восстановительных бригад.

Из всего этого делается вывод и разрабатываются мероприятия, направленные на повышение готовности объекта к восстановлению нарушенного производства.



1. Назовите факторы, влияющие на устойчивость работы объектов в ЧС.
2. Какие мероприятия повышают устойчивость объекта в ЧС?
3. Что собой представляет содержание инженерно-технических мероприятий по защите персонала и населения от ЧС?
4. По каким направлениям производятся исследования устойчивости работы объекта?
5. Перечислите основные требования к системам энерго-, газо- и водоснабжения объектов экономики.

## ЛЕКЦИЯ 16

# АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ И ДРУГИЕ НЕОТЛОЖНЫЕ РАБОТЫ В ОЧАГАХ ПОРАЖЕНИЯ

- 16.1. Цель, содержание и условия проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) в чрезвычайных ситуациях.
- 16.2. Спасательные и неотложные работы в очагах радиоактивного, химического и биологического заражения.
- 16.3. Спасательные и неотложные работы в районах стихийных бедствий.

### **16.1. Цель, содержание и условия проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в чрезвычайных ситуациях**

В связи с многообразием видов ЧС, вызванные стихийными бедствиями, авариями, катастрофами или применением современных средств поражения, имеют свои характерные особенности.

Последствия воздействия поражающих факторов при ЧС в мирное и военное время могут быть самыми разнообразными. Это, естественно, определяет вполне конкретный перечень мероприятий, который необходимо выполнить в целях обеспечения безопасности населения.

Одной из главных задач Государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС является организация и проведение АСиДНР прежде всего в очагах поражения.

*Аварийно-спасательные работы* – это действия по спасению людей, материальных и культурных ценностей, защите природной среды в зоне ЧС, локализации ЧС и подавлению или доведению до минимально возможного уровня воздействия характерных для них опасных факторов.

*Неотложные работы при ликвидации ЧС* – это деятельность по всестороннему обеспечению аварийно-спасательных работ, оказанию населению, пострадавшему в ЧС, медицинской и других видов помощи, созданию условий, минимально необходимых для сохранения жизни и здоровья людей, поддержания их работоспособности.

АСиДНР будут проводиться в весьма сложной обстановке, сильных разрушениях и завалах, радиоактивном, химическом и биологическом заражении, затоплении территории и воздействии других неблагоприятных условий.

**Комплекс аварийно-спасательных работ включает:**

- разведку маршрутов движения и участков работ;
- локализацию и тушение пожаров;
- поиск пораженных и извлечение их из поврежденных и горящих зданий и завалов;
- локализацию аварий на коммунально-энергетических сетях, мешающих проведению спасательных работ;
- вскрытие разрушенных, поврежденных и заваленных защитных сооружений и спасение находящихся в них людей;
- подачу воздуха в защитные сооружения с поврежденными фильтровентиляционными системами;
- оказание первой медицинской помощи пострадавшим и эвакуация их в медицинские учреждения;
- вывод населения в безопасные районы из опасных мест.

Разведка в кратчайшие сроки должна установить характер разрушений и пожаров, степень радиоактивного, химического и биологического загрязнения в различных районах очага, наличие пораженных людей и их состояние, возможные пути ввода спасательных формирований и эвакуации пострадавших. По данным разведки определяют объемы работ, разрабатывают план ликвидации последствий ЧС.

Пожары мешают спасению пострадавших, а также увеличивают число пораженных. Для проведения спасательных работ в зданиях следует в первую очередь локализовать, а затем и ликвидировать пожары. Кроме того, необходимо не допустить распространения пожаров на другие здания.

Спасательные работы по извлечению пораженных из-под завалов являются исключительно сложными. Особое место в ведении спасательных работ занимает поиск и освобождение из-под завалов пострадавших. Их поиск начинается с уцелевших подвальных помещений, околостенных пространств нижних этажей зданий, далее обследуется весь участок работ.

Для извлечения людей из-под завала применяют разборку завала сверху, устройство галерей, пробивание проемов в стенке. Далее пытаются установить связь с попавшими в завалы (голосом или перестукиванием). Для извлечения пораженного в первую очередь освобождают голову и грудь, плечи, ноги пострадавшего от обломков путем разборки завала сверху. Затем пострадавшему оказывают первую помощь и выносят на пункт сбора пострадавших.

Основным способом локализации аварий на коммунальных системах жизнеобеспечения, мешающих проведению спасательных работ, является отключение разрушенных и поврежденных участков.

Заваленными убежищами и укрытиями являются такие, из которых укрывающиеся самостоятельно выйти не могут.

Принято считать заваленным встроенным убежище (укрытие) в случае сильных разрушений лестничных клеток и завалов или разрушений оголовков (люков) аварийных выходов при высоте завалов над ними более 0,5 м. Завалы оголовков возможны в зонах с избыточным давлением, превышающим 70 кПа, когда разрушенные элементы здания (сооружения) относятся от него скоростным напором воздуха на десятки метров.

Отыскав заваленное убежище, в первую очередь необходимо установить связь с укрывающимися, чтобы узнать, в каком положении они находятся, и в соответствии с этим выбрать порядок и способы работы.

Связь с укрывающимися в убежищах можно установить по телефону или радио. При невозможности вести переговоры по телефону либо радио, можно использовать для переговоров воздухозаборные и другие отверстия.

Предельная длительность непрерывного пребывания людей в убежищах с вышедшей из строя системой фильтровентиляции составляет 4–5 ч. В тех случаях, когда сил и средств для откопки и вскрытия убежищ с нарушенной системой вентиляции недостаточно, осуществляется предварительная подача воздуха в эти сооружения.

Работы по обеспечению подачи воздуха в заваленные убежища с вышедшей из строя системой воздухоснабжения должны быть закончены через 4–5 ч после завала.

Оказание первой медицинской и врачебной помощи пострадавшим организуется медицинской службой и проводится силами медицинских формирований, действующих в тесном взаимодействии со спасательными и другими формированиями ГО. От своевременного проведения этих работ зависит жизнь большого числа пострадавших людей. Первая медицинская помощь пораженным оказывается спасателями и санитарными дружинами на месте обнаружения пораженных. Первая врачебная помощь пораженным оказывается в отрядах первой медицинской помощи и лечебных учреждениях.

При проведении АСиДНР в условиях плохой видимости организуется освещение участков работ, обозначение опасных мест (котлованов, зон возможных обвалов).

Комплексом аварийно-спасательных работ необходимо обеспечить поиск и удаление людей за пределы зон действия опасных и вредных для их жизни и здоровья факторов, оказание неотложной медицинской

помощи пострадавшим и их эвакуацию в лечебные учреждения, создание для спасенных необходимых условий физиологически нормального существования человеческого организма.

**Другие неотложные работы включают:**

- прокладывание колонных путей и устройство проездов в завалах;
- локализацию аварий на коммунально-энергетических сетях;
- укрепление или обрушение конструкций, угрожающих обвалом и препятствующих движению и безопасному ведению работ;
- ремонт и восстановление поврежденных защитных сооружений.

Завалы мешают проведению спасательных работ, поэтому расчистка завалов и устройство проездов является важнейшей неотложной задачей формирований ГО. В зонах с местными завалами пути прокладываются расчисткой до поверхности проезжей части улицы. В зонах сплошных завалов пути прокладываются по завалу, при этом ширина пути должна быть не менее 4 м. Для разъездов встречных машин через каждые 150–200 м устраивают специальные площадки.

Локализация аварий на коммунально-энергетических сетях, технологических трубопроводах и установках проводится путем отключения разрушенных и поврежденных участков.

В процессе работ необходимо предупредить возможную опасность обрушения поврежденных зданий на проезжую часть улиц. Для этого временно укрепляют или обрушают конструкции зданий, грозящие обвалом.

Неотложные работы должны обеспечить блокирование, локализацию или нейтрализацию источников опасности, снижение интенсивности, ограничение распространения и устранение действия поблажек поражающих факторов в зоне бедствия, аварий или катастрофы до уровней, позволяющих эффективно применять и другие мероприятия защиты.

АСиДНР должны быть организованы в короткие сроки и проводиться днем и ночью до полного завершения, даже если они будут очень сложными. Сложность спасательных работ может быть вызвана их большим объемом, ограниченностью времени, проведением на зараженной местности. Поэтому для успеха АСиДНР от спасательных формирований требуется высокая организованность, морально-психологическая стойкость, физическая выносливость и мобилизация всех сил и средств.

Для проведения АСиДНР, кроме сил и средств ГО, могут привлекаться работники и вся транспортная, инженерно-строительная, дорожная техника промышленных объектов и коммунально-энергетического хозяйства города (района): бульдозеры, экскаваторы, автокраны, компрессорные станции, пожарные мотопомпы и др.

## **16.2. Спасательные и неотложные работы в очагах радиоактивного, химического и биологического заражения**

Радиоактивное и химическое загрязнение (зарождение) является следствием аварий на радиационно и химически опасных объектах, аварий транспортных средств, перевозящих радиоактивные, химические вещества, а также применения ядерного и химического оружия.

К спасательным работам в условиях радиоактивного и химического загрязнения привлекаются формирования медицинской службы и службы обеззараживания. Для оцепления очага загрязнения используются формирования службы общественного порядка.

С целью получения данных об обстановке в очагах загрязнения организуется и проводится радиационная и химическая разведка, которая определяет мощность дозы излучения, вид АХОВ, границу загрязнения и обозначает ее специальными знаками.

Спасательные и неотложные работы в очагах радиоактивного и химического загрязнения проводятся в противогазах и средствах защиты кожи. Командиры формирований лично проверяют исправность, правильность надевания и подгонки индивидуальных средств защиты.

***Основными мерами защиты населения*** в очагах радиоактивного, химического загрязнения являются:

- использование коллективных и индивидуальных средств защиты;
- применение средств медицинской профилактики (антидотов и радиопротекторов);
- соблюдение режима поведения в условиях загрязнения;
- эвакуация населения с загрязненной территории;
- ограничение доступа на загрязненную территорию;
- исключение потребления загрязненных продуктов питания и воды;
- санитарная обработка людей, дезактивация, дегазация одежды, техники, территории.

Оказание помощи в химическом очаге загрязнения включает введение антидота, надевание противогаза на пораженных и быструю эвакуацию пораженных в медицинские центры, так как первая помощь эффективна в первые минуты поражения АХОВ.

В зонах загрязнения проводятся мероприятия по дезактивации территории, сооружений и других объектов, выполняются мероприятия по пылеподавлению. На границах зон загрязнения создаются пункты специальной обработки для проведения санитарной обработки людей и дезактивации транспорта.

Основным видом спасательных работ в очаге биологического заражения является выявление инфекционных больных, госпитализация их и лечение. Кроме того, принимаются меры по предотвращению распространения инфекционных заболеваний и ликвидации очагов поражения.

### **16.3. Спасательные и неотложные работы в районах стихийных бедствий**

В районах стихийных бедствий происходят разрушения, завалы, пожары, перекрытие русел рек и путепроводов, изменение ландшафта, разрыв путепроводов, повреждение опор мостов, линий электропередач, гидрооборужений. Поражающие факторы стихийных бедствий могут приводить к радиоактивному, химическому и биологическому загрязнению обширных территорий.

Размеры поражений, разрушений и потери населения зависят прежде всего от масштабов стихийного бедствия. Поэтому в районе стихийного бедствия в первую очередь проводятся те работы, от которых зависит спасение людей или их безопасность (перечень АСиДНР подробно рассмотрен в подразд. 15.1).

Масштабы последствий наводнения зависят от высоты, площади и продолжительности затопления, скорости потока, сезона, плотности населения, интенсивности хозяйственной деятельности, наличия гидротехнических сооружений. По удельному материальному ущербу наводнения уступают лишь землетрясениям.

Спасение людей и имущества при наводнениях и затоплениях включает поиск их на затопленной территории, посадку на плавсредства (баржи, катера, лодки, плоты) или вертолеты и эвакуацию в пункт временного размещения. В случае необходимости пострадавшим оказывают первую медицинскую помощь.

Ураганы, бури, смерчи разрушают прочные и сносят легкие строения, опустошают поля, обрывают провода, валят столбы линий электропередач и связи, деревья, повреждают транспортные магистрали, образуют завалы на улицах населенных пунктов.

Гидрометслужба за несколько часов, как правило, предупреждает об этих стихийных бедствиях. При приближении урагана необходимо укрыться в прочном здании.

*Спасательные работы* после прохождения урагана включают: поиск пострадавших в поврежденных, разрушенных зданиях и сооружениях, освобождение людей из-под завалов, оказание первой медицинской

помощи пострадавшим и эвакуацию их в медицинские учреждения, эвакуацию населения, оставшегося без крова, в пункты временного размещения.

*Неотложные работы* включают: локализацию аварий на системах жизнеобеспечения населенных пунктов, расчистку завалов на дорогах и улицах населенных пунктов, ремонт и восстановление поврежденных зданий и сооружений.

Каждому стихийному бедствию присущи свои особенности, характер поражений, объем и масштабы разрушений, величина бедствий и человеческих потерь – все это определяет содержание и объем спасательных и неотложных работ в чрезвычайных ситуациях.



- 
1. В каких условиях проводятся АСиДНР?
  2. Назовите мероприятия, содержащие комплекс аварийно-спасательных работ.
  3. Какие мероприятия включают неотложные работы?
  4. Охарактеризуйте особенности эвакуации населения из очага радиоактивного загрязнения.
  5. Перечислите особенности оказания первой медицинской помощи в очаге химического поражения.
  6. Какие формирования привлекаются для проведения АСиНДР в очаге биологического поражения?
  7. Назовите спасательные средства, используемые для эвакуации населения из района наводнения.
  8. Каковы объем и содержание АСиНДР после прохождения урагана?
  9. Перечислите основные этапы ликвидации последствий ЧС.

## ЛЕКЦИЯ 17

# КАТАСТРОФА НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

- 17.1. Причины аварии на Чернобыльской АЭС. Развитие аварии. Радиоактивное загрязнение местности.
- 17.2. Радиационная обстановка после аварии на Чернобыльской АЭС.
- 17.3. Поведение радионуклидов в почве и переход их в растения.
- 17.4. Социально-экономические последствия катастрофы в Республике Беларусь.

### **17.1. Причины аварии на Чернобыльской АЭС. Развитие аварии. Радиоактивное загрязнение местности**

Авария на ЧАЭС по своим масштабам беспрецедентна. Произошла она 26 апреля 1986 г. в 1 ч 24 мин во время испытания четвертого блока. В условиях работы реактора на низкой мощности операторы в нарушение правил вывели большую часть регулирующих стержней из активной зоны и отключили несколько важных систем аварийной защиты.

На основе анализа проектных материалов, нормативно-технической документации, имеющихся сегодня расчетных и фактических данных по развитию аварии на четвертом блоке ЧАЭС можно сделать вывод, что главной причиной катастрофического характера аварии явилась нестабильность реактора РБМК-1000, обусловленная недостатками его конструкции.

Активная зона спроектирована так, что в некоторых эксплуатационных состояниях рост паросодержания в реакторе приводит к дальнейшему росту мощности, а не ее уменьшению, как это требует принцип саморегулируемости. Увеличение мощности могло привести к разрушениям.

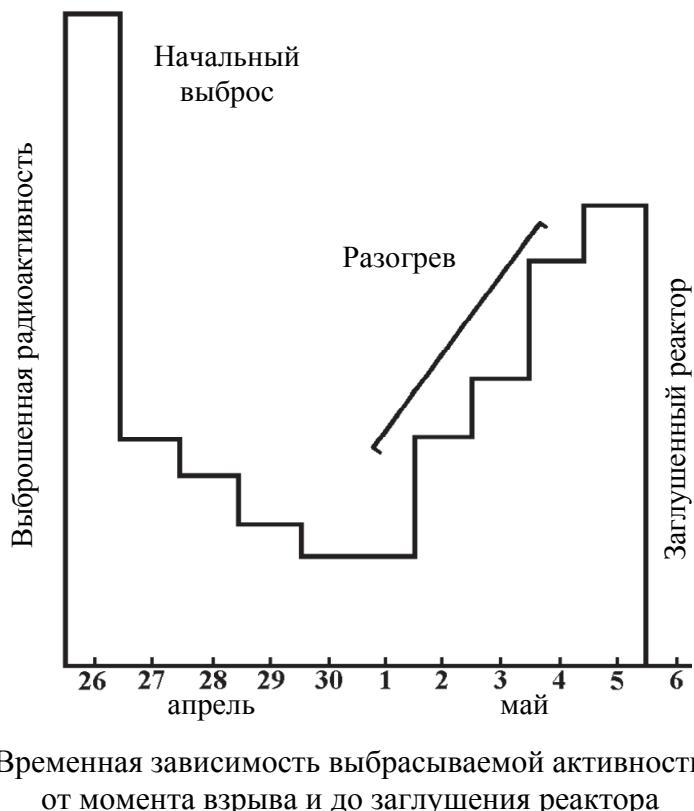
Ядерная авария на четвертом блоке ЧАЭС, катастрофическая динамика ее развития обусловлены в первую очередь нарушением в проекте РБМК-1000 правил ядерной безопасности в конструкции активной зоны, системы управления и защиты реактора. На период аварии система управления аварийной защитой аппарата РБМК-1000 не обеспечивала быстрого

и надежного гашения цепной реакции в аварийном режиме, не обладала достаточным быстродействием исполнительных органов аварийной защиты, отсутствовала система быстрой аварийной защиты.

В реакторах РБМК (*реактор большой мощности канальный*) время ввода всех стержней в активную зону было одинаковым – 18–21 с. Деление стержней на стержни регулирования и стержни автоматической защиты было чисто условным. Практически защита для нестабильных состояний реактора и аварийных ситуаций отсутствовала. Быстродействие в 18–21 с оказалось катастрофически недостаточным для остановки реактора.

Неверные эксплуатационные решения привели к резкому высвобождению ядерной энергии, разогреву активной зоны реактора и теплоносителя, что и обусловило паровой взрыв. Была сдвинута тысячтонная крышка реактора. Из активной зоны были выброшены графит и радионуклиды. В результате мощного взрыва газоаэрозольное облако, содержащее радиоактивные вещества, достигло высоты 1,8 км и начало перемещаться воздушными потоками в северо-западном и северном направлениях через западные и центральные районы Беларуси.

Повреждение реактора привело к возгоранию графита и выбросу большого количества радионуклидов. Интенсивный процесс выбросов радиоактивных веществ из реактора продолжался в течение 10 сут. На рисунке показана зависимость от момента взрыва и до заглушения реактора.



Временная зависимость выбрасываемой активности  
от момента взрыва и до заглушения реактора

Четырехдневный период увеличения выброса (2–5 мая) вплоть до заглушения реактора соответствует стадии саморазогрева топливной массы до 2000°С за счет остаточного тепловыделения и нарушения теплосъема при засыпке реактора с вертолета различными материалами (песок, бор, свинец), максимум выбросов приходится на 5 мая 1986 г.

При высокой температуре начали испаряться и тугоплавкие радионуклиды: цирконий, барий, стронций и др. Благодаря принятым мерам по снижению температуры активной зоны реактора выбросы после 5 мая 1986 г. снизились и полностью прекратились после завершения строительства «саркофага».

## **17.2. Радиационная обстановка после аварии на Чернобыльской АЭС**

Взрыв на четвертом энергоблоке ЧАЭС 26 апреля 1986 г. привел к разрушению реакторного пространства, разгерметизации оболочек тепловыделяющих элементов и выбросу во внешнюю среду радиоактивных веществ общей активностью около 10 ЭБк ( $1 \text{ Э} = 10^{18}$ ), в том числе 6,3 ЭБк радиоактивных благородных газов. Было выброшено 50–60% йода и 30–35% цезия, содержащихся в реакторе, всего в воздух было выброшено около 450 различных типов радионуклидов.

Формирование радиоактивного загрязнения Беларуси началось сразу же после взрыва реактора. 27–28 апреля 1986 г. территория Беларуси находилась под влиянием пониженного атмосферного давления. 28 апреля во всех областях республики прошли дожди, носившие ливневый характер.

С 29 апреля переместившиеся в северном направлении воздушные массы с радиоактивными выбросами в связи со сменой направления движения воздушных потоков начали перемещаться из Прибалтики в Беларусь. Такой перенос воздушных потоков сохранялся в районе станции до 6 мая.

С 8 мая произошло повторное изменение направления движения воздушных масс, и их траектория вновь проходила от Чернобыля в северном направлении.

Метеорологические условия движения радиоактивно загрязненных воздушных масс с 26 апреля по 10 мая 1986 г. в совокупности с дождями, особенно в конце апреля и начале мая, определили масштабность радиоактивного загрязнения территории Беларуси. Около 2/3 радиоактивных веществ в результате сухого и влажного осаждения выпали на ее территории.

В развитии аварии на ЧАЭС различают три стадии, каждая из которых требует принятия определенных мер по радиационной защите населения.

*Первая стадия* – выброс из реактора смеси летучих продуктов ядерного топлива. К ним, в частности, относятся следующие радионуклиды: криптон-85, ксенон-133, тритий, углерод-14, цезий-134, цезий-137, теллур-132, йод-131 и др. На первой стадии наибольшую радиационную опасность представляет мощное гамма-излучение облака, образованного летучими радионуклидами.

Единственным способом защиты от проникающего гамма-излучения является защита (экранировка) населения стенами жилых домов. К сожалению, в первые часы развития аварии на ЧАЭС население не получило указаний укрыться за стенами зданий и, таким образом, этот фактор снижения дозовых нагрузок на население остался неиспользованным.

На *второй стадии* развития аварии основным фактором радиационной опасности становится поступление в организм человека радиационных изотопов йода по пищевой цепочке и через органы дыхания. С радиоактивной струей выделилось несколько изотопов йода, в наибольшем количестве – изотоп йода-131. Из-за летучести он распространился на значительной территории. Уровни радиоактивного загрязнения короткоживущими изотопами йода во многих регионах республики были столь велики, что вызванное ими облучение людей квалифицируется специалистами как период «йодного удара».

Особенно острыми в радиационном отношении были первые недели после аварии. В апреле–мае 1986 г. наибольшие уровни радиоактивного йода-131 имели место в ближней к ЧАЭС (10–30 км) зоне в Брагинском, Хойникском и Наровлянском районах Гомельской области, где содержание его в почвах составило 37 000 кБк/м<sup>2</sup>. В Чечерском, Кормянском, Буда-Кошелевском, Добрушском районах уровни загрязнения достигали 18 000 кБк/м<sup>2</sup>.

Значительному загрязнению подверглись также юго-западные регионы – Ельский, Лельчицкий, Житковичский, Петриковский районы Гомельской области и Пинский, Лунинецкий, Столинский районы Брестской области.

Загрязнение территории йодом-131 обусловило большие дозы облучения щитовидной железы у людей, что привело в последующем к значительному увеличению ее патологии.

За период «йодной опасности» щитовидная железа оказалась облученной более чем у 1,5 млн чел., в том числе у 160 тыс. детей.

Опасность переоблучения щитовидной железы можно уменьшить методом йодной профилактики – введением стабильного йода (КІ). Йодная профилактика проводилась только со 2 мая для переселенцев из пострадавших районов, для остального населения она не проводилась.

На третьей, заключительной, стадии наибольшую опасность представляют долгоживущие радионуклиды. В настоящее время гамма-активность почв и растений в основном обусловлена цезием-137, бета-активность – стронцием-90 и цезием-137, альфа-активность – изотопами плутония-238, -239, -240, -241.

Авария на Чернобыльской АЭС по своим последствиям является самой крупной экологической катастрофой современности, последствия которой привели к загрязнению территории Беларуси – 46 445 км<sup>2</sup>, России – 56 905 км<sup>2</sup>, Украины – 41 835 км<sup>2</sup>.

В Беларуси на радиоактивно зараженной территории расположены 3600 населенных пунктов, в том числе 27 городов, в которых проживало 2,2 млн чел., т. е. свыше 20% населения Беларуси.

Однако радиоактивная загрязненность различных районов, в том числе и одинаково удаленных от места аварии, оказалась неравномерной. Пятна радиоактивности образовались не только вокруг ЧАЭС, но и на очень больших расстояниях от нее. Такая неравномерность связана с рядом причин. Во-первых, истечение радиоактивной струи из разрушенного реактора было длительным. Во-вторых, с изменением направления ветра менялось и направление радиоактивного облака. В-третьих, происходило неравномерное очищение атмосферы от радионуклидов. Самые легкие частицы поднялись очень высоко, они осаждались медленно, успев обогнуть несколько раз земной шар. Более тяжелые аэрозоли расположились в приземном слое воздуха, откуда в течение нескольких дней (недель) опускались на земную поверхность. Следует отметить, что дождь очень эффективно вымывает радионуклиды из атмосферы. И там, где весной 1986 г. пролились дожди, образовались радиоактивные пятна. Радиоактивные вещества после Чернобыльской аварии выпали в основном тремя крупными пятнами в Беларуси, Украине и западных областях России.

Радионуклиды из почвы поступают в воду, воздух, а также включаются в биологические циклы, создавая тем самым множественность путей внутреннего и внешнего облучения населения.

На величину этих процессов оказывает влияние ряд факторов, прежде всего определяющих скорость вертикальной миграции. Среди них нужно указать следующие: тип почвы, ее минеральный и органический состав, ландшафтно-геохимические особенности региона, физико-химическое состояние выпавших радионуклидов.

Обращают на себя внимание три принципиальных момента.

Во-первых, сохранение в течение длительного времени цезия-137 преимущественно в верхнем (0–5) см слое почвы и проникновение стронция-90 в более глубокие слои.

Во-вторых, по мере увеличения расстояния от станции вертикальная миграция всех радионуклидов возрастает.

В-третьих, миграционная способность америция-241 (являющегося дочерним продуктом распада плутония-241) выше, чем плутония.

В результате аварии на ЧАЭС в зоне радиоактивного загрязнения оказалось 1,73 млн га лесов, или 25% лесных угодий республики.

В первые дни после аварии на ЧАЭС 80% всех выброшенных радионуклидов было задержано наземными частями деревьев и около 20% осело на почву. К концу лета 1986 г. в наземной фитомассе осталось 13–15% радионуклидов от общего количества выпавших.

В настоящее время в наземной части лесных насаждений находится около 5–7% радионуклидов. Результаты прогноза показывают, что загрязнение древесных пород будет нарастать, и основным механизмом перехода радионуклидов в древесный ярус явится корневое поступление.

Радиационно-экологическая обстановка в Беларуси характеризуется сложностью и неоднородностью загрязнения территории альфа-, бета- и гамма-активными радионуклидами с различными периодами полураспада, а также присутствием радионуклидов практически во всех компонентах экосистем. Это обуславливает множественность путей воздействия радионуклидов на население и создает риск для его здоровья.

Динамика радиационной обстановки в ближайшее время и на перспективу будет определяться радиоактивным распадом, миграцией радионуклидов, трансформацией форм их существования.

### **17.3. Поведение радионуклидов в почве и переход их в растения**

Вертикальная миграция в почве цезия-137 и стронция-90 протекает с очень маленькой скоростью. На необрабатываемых землях практически все радионуклиды находятся в верхней части корнеобитаемого слоя гумусовых горизонтов. На пахотных почвах радионуклиды распределены сравнительно равномерно по всей глубине обрабатываемого слоя.

Доступность радионуклидов растениям и уровень загрязнения продукции зависит от прочности закрепления цезия-137 и стронция-90 в почве.

В результате перемещения радионуклидов в почве и последующего корневого поглощения радиоактивные вещества поступают в части растений, представляющие пищевую и кормовую ценность, и тем самым включаются в наземные пищевые цепочки.

Накопление радионуклидов в растениях может происходить:

1) за счет удержания части радиоактивных выпадений из атмосферы на поверхности растений (аэрозольный путь загрязнения);

2) механического загрязнения растений в процессе уборки урожая или в результате вторичного ветрового подъема радионуклидов с поверхности почвы.

Аэрозольное радиоактивное загрязнение растений происходит при оседании на их наземной части компонентов газообразных и аэрозольных выбросов, в основном криптона-85, ксенона-133, йода-131, трития, углерода-14, цезия-134, цезия-137. Поверхностное загрязнение растений превалирует лишь в течение нескольких первых месяцев после радиационной аварии.

Из почвы в растения поступают лишь растворимые в воде радионуклиды. Среди выпавших радионуклидов лучше всего растворяется стронций-90, а затем цезий-137 и в меньшей степени изотопы плутония.

На накопление радионуклидов разными видами и сортами сельскохозяйственных культур влияют их биологические особенности (продолжительность вегетационного периода, характер распределения корневых систем в почве, особенности минерального питания, различие в продуктивности).

Межвидовые различия в аккумуляции радионуклидов при корневом пути перехода могут достигать 10–30%. Влияние сортовых различий в накоплении радионуклидов менее значимо, чем видовых (2–3). Наиболее интенсивно идет накопление радионуклидов в стеблях и листьях и значительно слабее в генеративных органах растений. Так, в созревших растениях фасоли стронций-90 распределяется следующим образом: в листьях – 53–68%, в стеблях – 15–28%, створках бобов – 12–25% и в бобах – 7–14%.

Наиболее активно накапливают радиоактивные вещества лишайники, мхи, грибы, бобовые, злаки – так называемые растения-концентраты. Из дикорастущих ягод наименьшее загрязнение имеют ягоды рябины, земляники, малины, а наибольшее – черники, клюквы, голубики и брусники.

Дифференцированным должен быть подход к сбору грибов. По степени накопления цезия-137 основные виды съедобных грибов подразделяются на 4 группы.

1. *Грибы-аккумуляторы* – польский гриб, горкуша, краснушка, муховик, рыжик, масленок осенний, козляк. Собирать эти грибы допускается только в лесах с плотностью загрязнения до  $37 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $1 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ).

2. *Грибы, сильно накапливающие радионуклиды*, – подгруздок черный, лисичка желтая, волнушка розовая, груздь черный, зеленка,

подберезовик. Собирать эти грибы также допускается при плотности загрязнения до  $37 \text{ кБк}/\text{м}^2$ .

3. *Грибы, средне накапливающие*, – опенок осенний, белый гриб, подосиновик, подзеленка, сыроежка обыкновенная. Заготовку грибов данной группы можно проводить в лесах при плотности загрязнения до  $74 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $2 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ).

4. *Грибы – дискриминаторы радионуклидов*. В эту группу включены виды, отличающиеся наименьшим накоплением. К ним относятся: строчок обыкновенный, рядовка фиолетовая, шампиньон, дождевик шиповатый, сыроежка цельная, зонтик пестрый, опенок зимний, вешенка. Заготовку грибов данной группы можно проводить в лесах при плотности загрязнения до  $74 \text{ кБк}/\text{м}^2$ .

Для всех собираемых грибов проверка на содержание радионуклидов обязательна. При отваривании грибов в воду необходимо добавлять соль, немного столового уксуса или лимонной кислоты и первый отвар не использовать.

Для снижения поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию применяют комплекс специальных защитных мероприятий, основными из которых являются: подбор культур, специальная обработка почвы, известкование кислых почв, внесение органических и минеральных удобрений, осушение переувлажненных земель.

С целью получения продукции животноводства, отвечающей допустимым уровням радиоактивного загрязнения продуктов питания, рекомендуется использовать корма с допустимым содержанием цезия-137 и стронция-90. Снижение поступления радионуклидов в организм животных достигается путем использования рациональной кормовой базы, которая должна строиться на преимущественном производстве кормов, получаемых с пахотных земель, и сведении к минимуму использования естественных сенокосов и пастбищ.

## **17.4. Социально-экономические последствия катастрофы в Республике Беларусь**

Ущерб, нанесенный республике чернобыльской катастрофой в расчете на 30-летний период ее преодоления, оценивается в 235 млрд долл. США, что равно 32 бюджетам республики 1985 г. Сюда включены потери, связанные с ухудшением здоровья населения, ущербом, нанесенным промышленности и социальной сфере, сельскому хозяйству, строительному комплексу, транспорту и связи, жилищно-коммунальному хозяйству, загрязнением минерально-сырьевых, земельных, водных, лесных и других

ресурсов, а также дополнительные затраты, связанные с осуществлением мер по ликвидации и минимизации последствий катастрофы и обеспечением безопасных условий жизнедеятельности населения.

В структуре общего ущерба за 1986–2015 гг. наибольшую долю (81,6%) занимают затраты, связанные с поддержанием функционирования производства и осуществлением защитных мер, которые составляют 191,7 млрд долл.

На долю прямых и косвенных потерь приходится около 30 млрд долл. (12,6%). Упущеная выгода оценивается в 13,7 млрд долл. (5,8%). Прямые потери включают стоимость выведенной из использования части национального богатства республики: основные и оборотные производственные фонды, объекты социальной инфраструктуры, жилье и природные ресурсы. К косвенным отнесены потери, обусловленные влиянием экономических и социальных факторов (условия жизни, быта, состояние здоровья населения) на нарушение или прекращение производства, производительность труда, увеличение стоимости и сложности обеспечения других объектов государственной, кооперативной и личной собственности, а также потери от миграции населения из пораженных районов.

**Агропромышленный комплекс.** Из всех отраслей экономики Беларуси от чернобыльского взрыва наиболее пострадало сельскохозяйственное производство. Радиоактивному загрязнению подверглись 56 районов Беларуси. В хозяйствовании этих районов оказалось 1866 тыс. га сельхозугодий с уровнем загрязнения радионуклидами более 37 кБк/м<sup>2</sup>. В результате из оборота выведено 264 тыс. га сельхозугодий, ликвидированы 54 колхоза и совхоза.

Остановка производства на зараженных территориях на весь период выхода земель из оборота обусловила большой недобор сельскохозяйственной продукции. Упущеная выгода за 1986–2015 гг. достигает 10,3 млрд долл.

Одна из самых острых после катастрофных проблем – осуществление сельхозпроизводства на загрязненных территориях и получение продукции с безопасным для здоровья людей количеством радионуклидов, что требует больших дополнительных ресурсов.

Например, для того чтобы уменьшить переход радиоактивных элементов из почвы в растения, а из кормов к животным, необходимы организационные, агротехнические, агрохимические и зооветеринарные мероприятия.

Одной из важных мер является перспециализация сельхозпроизводства – смена структуры посевых площадей, поголовья скота, птицы (при обязательном откорме мясного скота на «чистых» кормах). На практике это привело к уменьшению чистой прибыли.

**Лесное хозяйство.** При оценке убытков лесного хозяйства от загрязнения радионуклидами все они были поделены на 3 группы: убытки материальных компонентов леса, дополнительные затраты на мероприятия по прекращению или ограничению распространения радионуклидов, неполучения выгоды.

К убыткам материальных компонентов леса отнесены потери лесных ресурсов. В группу дополнительных затрат включены затраты на облесение загрязненных радионуклидами территорий, научно-исследовательские работы, ликвидацию лесхозов и цехов по переработке древесины, организацию специализированных служб, перераспределение работников лесного хозяйства. К группе убытков от неполученной выгоды отнесены сокращения объемов выпуска промышленной продукции.

Лес – это не только древесина, но и грибы, ягоды, березовый сок, техническое сырье, кормовые и другие ресурсы. По оценкам специалистов, население Беларуси за 1986–2015 гг. потеряет от загрязнения леса радионуклидами 28,8 тыс. т грибов, около 22 тыс. т ягод и плодов, более чем 19 тыс. т березового сока. В целом за этот период будет потеряно более 190 тыс. т недревесных ресурсов.

Расчеты показывают, что общая сумма убытков лесного хозяйства за 1986–2015 гг. превысит 4 млрд долл. Наибольший объем убытков материальных компонентов леса выпадает на Гомельскую (60%) и Могилевскую (35,7%) области.

**Промышленность.** Катастрофа на ЧАЭС заметно подорвала промышленно-производственный потенциал республики. На загрязненных территориях находится около 340 промышленных предприятий, которые давали в 1986 г. более чем 17% промышленной продукции Беларуси.

Большее число предприятий (262 из 340) находится в подзоне с плотностью загрязнения 37–185 кБк/м<sup>2</sup>. Тут размещены такие крупные промышленные центры, как Гомель, Светлогорск, Жлобин, Мозырь, Речица и др. В зоне с плотностью загрязнения 185–555 кБк/м<sup>2</sup> расположено 57 промышленных предприятий, в том числе 25 предприятий пищевой промышленности.

Оценки специалистов свидетельствуют, что самый большой спад объема товарного производства произошел в загрязненной зоне в связи с прекращением деятельности некоторых предприятий и сокращением производственной деятельности на остальных предприятиях.

**Социальная сфера.** Включает жилищное хозяйство, защиту здоровья, народное просвещение, культуру, торговлю, общественное питание, бытовое обслуживание. Чернобыльская катастрофа принесла наиболее тяжелые убытки этой сфере. Особенно это коснулось жилищного

хозяйства: десятки тысяч оставленных домов, сотни тысяч переселенцев. Для них развернуто строительство новых поселков. Большие затраты пошли на то, чтобы поддерживать хотя бы минимальные условия жизни в населенных пунктах, которые и сейчас существуют на загрязненных территориях.

Подсчеты экспертов показывают, что прямые затраты от выведения из эксплуатации жилищного фонда составляют 1,4 млрд долл., а затраты на строительство новых поселков для переселенцев-чернобыльцев – 4,3 млрд долл.

При оценке экономического урона объектам народного просвещения и культуры, здравоохранения, торговли и общественного питания, бытового обслуживания увеличились прямые убытки, связанные с выбытием основных фондов; косвенные убытки, обусловленные снижением уровня производительности труда; упущенная выгода от остановки деятельности этих объектов; дополнительные затраты на строительство, реконструкцию и ремонт объектов социальной сферы в новых поселках и старых селах на загрязненной территории. Суммарные экономические убытки социальной сферы от катастрофы на ЧАЭС в 1986–2015 гг. составили 14,2 млрд долл.

**Строительный комплекс.** В зоне, загрязненной радионуклидами, оказалось более 100 строительно-монтажных организаций, а также заводы железобетонных изделий, комбинаты строительных материалов, деревообрабатывающие предприятия в Брагине, Быхове, Ельске, Краснополье, Славгороде, Черикове и др. Все эти организации не прекратили свою деятельность и после катастрофы, выполняли работу по строительству новых поселков, дезактивации и благоустройству населенных пунктов на загрязненных территориях.

Для обеспечения их материально-технической базы в 1986–1990 гг. выделено 33,2 млн долл. государственных капитальных вложений. Общий экономический урон строительному комплексу Республики Беларусь за 1986–2015 гг. оценивается примерно в 2,7 млрд долл.

**Транспорт и связь.** Суммарный экономический урон этих отраслей хозяйства оценивается примерно в 3,4 млрд долл. Наибольшие убытки нанесены предприятиям и объектам дорожного хозяйства (51,5–59,2%) и железнодорожного транспорта (31–39,3%).

Экономические убытки белорусской железной дороги составляются из прямых и косвенных убытков, упущенной выгоды, которая могла быть получена при использовании локомотивов, списанных из-за их загрязненности радионуклидами, и дополнительных затрат.

Результаты катастрофы существенно повлияли на развитие сети автодорог в Гомельской и Могилевской областях. В зону отчуждения в

Гомельской области попало 270 км дорог республиканского, областного и местного значения. Ситуация усложнялась тем, что на время катастрофы дороги в Гомельской и Могилевской областях, особенно в сельской местности, имели низкий уровень капитальности и благоустройства. Общая длина гравийных и грунтовых дорог в загрязненной зоне превышала 40 тыс. км. Пыль на таких дорогах стала дополнительным источником радиационного загрязнения окружающей среды. Поэтому были затрачены дополнительные средства на дезактивацию дорог, асфальтирование улиц, подъездов до сельских населенных пунктов и железнодорожных станций.

Большие убытки понесли средства связи. Только в результате переселения населения из 30-километровой зоны и территорий с уровнем радиационного загрязнения 1480 кБк/м<sup>2</sup> и выше закрыто 55 почтовых отделений связи, остановлена деятельность 3350 сельских АТС, около 5,7 тыс. км линий радиофикации.

**Минерально-сырьевые и водные ресурсы.** В результате радиационного загрязнения минерально-сырьевых ресурсов их эксплуатация или остановлена, или значительно уменьшена, что обусловило перебои в обеспечении отдельными видами сырья и нанесло значительный урон, который состоит из стоимости убытков полезных ископаемых в тех месторождениях, которые находятся на территории с уровнем 555 кБк/м<sup>2</sup> и выше, и из дополнительных затрат на радиационную безопасность при добыче полезных ископаемых с уровнем загрязнения до 555 кБк/м<sup>2</sup>.

Среди ресурсов, которые оказались в загрязненной зоне, – формоочечные, строительные и силикатные пески, стекольное и известковое сырье (мел, доломит), глина разных видов, цементное сырье, песчано-гравийная смесь, строительный и облицовочный камень, нефть, торф, бурый уголь, горючие сланцы, пресные подземные и поверхностные воды, минеральные воды. В зоне радионуклидного загрязнения находятся 132 таких месторождения.

Кроме минерально-сырьевых, радиационно-загрязненными оказались и водные ресурсы на площади 43,6 тыс. м<sup>2</sup>. Наибольший урон нанесен водным ресурсам в бассейнах р. Днепр и Припять от границы с Украиной до Мозыря в бассейне р. Сож от Гомеля до Кричева.

Убытки от загрязнения водных ресурсов радионуклидами несут все отрасли экономики. Прямой экономический урон выступает в форме убытков в результате ухудшения качества воды. Из-за этого гибнет рыба, выбывают из оборота производственные фонды или происходит их консервация.

Экономический ущерб от радиационного загрязнения минерально-сырьевых ресурсов за 1986–2015 гг. составит 2,67 млрд долл.

**Дезактивация загрязненных территорий.** Для уменьшения негативного влияния радиации на загрязненных территориях за границами 30-километровой зоны выполнен большой объем работ по дезактивации: очищены наружные поверхности зданий и техники; снят, переведен и захоронен 10-сантиметровый слой почвы, на место которого частично завезен новый грунт, снесены и захоронены многие строения, на больших территориях проведены работы по дезактивации сельскохозяйственных угодий и дворов.

Затраты на утилизацию и захоронение радиационно-загрязненных объектов составляют 0,7 млрд долл.

**Здоровье населения.** Самые большие убытки в результате катастрофы на ЧАЭС – ухудшение здоровья людей, увеличение заболеваний, инвалидности и смертности. Наблюдается тенденция роста таких заболеваний, как рак щитовидной железы, заболевания эндокринной системы, расстройства пищеварения, нарушение обмена веществ и иммунитета, сахарный диабет, заболевания нервной системы и органов чувств, заболевания системы кровообращения, гипертоническая болезнь, злокачественные новообразования и т. д.

**Социальная защита населения.** Самые большие средства страны направляет на создание нормальных социальных условий для населения как на загрязненных территориях, так и на новых местах жительства переселенцев. Только за 1986–1990 гг. бюджетные расходы на оплату льгот и компенсаций населению, которое пострадало от катастрофы на ЧАЭС, составили 564 млн долл. На осуществление закона «О социальной защите граждан, которые пострадали от катастрофы на Чернобыльской АЭС» в 1986–2015 гг. необходимо 86,32 млрд долл.



1. Назовите причины, развитие и ход ликвидации аварии на ЧАЭС.
2. Какие особенности радиоактивного загрязнения местности Беларуси?
3. Какая сложилась радиационная обстановка после аварии на ЧАЭС?
4. Что такое «йодный удар» после аварии на ЧАЭС?
5. Охарактеризуйте поведение радионуклидов в почве и переход их в растениеводческую продукцию.
6. Приведите социально-экономические последствия Чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь.

## **ЛИТЕРАТУРА**

---

1. О гражданской обороне: Закон Респ. Беларусь, 27 ноябр. 2006 г., № 183-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2006. – № 201. – 2/1280.
2. О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Закон Респ. Беларусь, 5 мая 1998 г., № 141-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 1998. – № 19. – 2/673.
3. О промышленной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 5 янв. 2016 г., № 354-3 // Национальный правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – 2016. – 2/2352.
4. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Закон Респ. Беларусь, 10 янв. 2000 г., № 343-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2000. – № 8. – 2/138.
5. О радиационной безопасности населения: Закон Респ. Беларусь, 5 янв. 1998 г., № 122-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 1998. – № 5. – 2/656.
6. О радиационной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 18 июня 2019 г., № 198-3 // Национальный правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – 2019. – 2/2636
7. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2010. – № 276. – 1/12080.
8. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения: ГОСТ 22.0.03-97. – Введ. 01.07.1999. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 8 с.
9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения: ГОСТ 22.0.04-97. – Введ. 01.07.1999. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 5 с.
10. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения: ГОСТ 22.0.05-97. – Введ. 01.07.1999. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 5 с.
11. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения: ГОСТ 22.3.03-97. – Введ. 01.07.1994. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 6 с.

12. Критерии оценки радиационного воздействия: ГН от 28.12.2012 № 213. – Введ. 01.01.2013. – Минск: Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. – 232 с.
13. Требования к радиационной безопасности: СанПиН от 28.12.2012 № 213. – Введ. 01.01.2013. – Минск: Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. – 40 с.
14. Чарнушэвіч, Р. А. Радыяцыйная бяспека: вучеб. дапаможнік для студэнтаў тэхнічных і тэхналагічных спецыяльносцей / Р. А. Чарнушэвіч. – Мінск: БДТУ, 2002. – 254 с.
15. Чернушевич, Г. А. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов по профилю образования «Техника и технологии» / Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин. – Минск: БГТУ, 2018. – 198 с.
16. Чернушевич, Г. А. Защита населения в чрезвычайных ситуациях: тексты лекций для студентов всех специальностей / Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин. – Минск: БГТУ, 2005. – 140 с.
17. Перетрухин, В. В. Радиационная безопасность / В. В. Перетрухин, А. К. Гармаза. – Минск: БГТУ, 2002. – 136 с.
18. Оценка обстановки в чрезвычайных ситуациях: учеб.-метод. пособие для студентов химико-технол. специальностей / Г. А. Чернушевич [и др.] – Минск: БГТУ, 2013. – 115 с.
19. Методика прогнозирования масштабов заражения СДЯВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: РД 52.04.253-90. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 24 с.
20. Радиобиологический справочник / В. А. Бударков [и др.] – Минск: Ураджай, 1992. – 336 с.
21. Защита от ионизирующих излучений: учеб. для вузов: в 2 т. / Н. Г. Гусев [и др.]; под. ред. Н. Г. Гусева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – Т. 1. Физические основы защиты от излучений. – 512 с.
22. Радиационная безопасность: учеб. пособие / П. Г. Кужир [и др.]; под ред. В. И. Стражева. – Минск: НПООО «ПИОН», 1999. – 280 с.
23. Курс радиационной безопасности: учеб. пособие / В. Т. Ветрова [и др.]; под ред. В. Т. Ветровой. – Минск: Ураджай, 1995. – 149 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ЛЕКЦИЯ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА.....	4
1.1. Цели и структура дисциплины. Понятие опасности, классификация опасностей.....	4
1.2. Источники опасности для человека, объектов и природной среды Республики Беларусь.....	8
ЛЕКЦИЯ 2. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИРОДНОГО, ТЕХНОГЕННОГО, ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И БИОЛОГО-СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА .....	14
2.1. Основные термины и определения. Классификация чрезвычайных ситуаций по масштабу распространения .....	14
2.2. Характеристика чрезвычайных ситуаций природного характера.....	16
2.3. Характеристика чрезвычайных ситуаций техногенного характера.....	23
2.4. Характеристика чрезвычайных ситуаций экологического характера.....	27
2.5. Характеристика биолого-социальных чрезвычайных ситуаций .....	30
2.6. Биологическое оружие .....	37
ЛЕКЦИЯ 3. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	40
3.1. Строение, свойства атома и ядра.....	40
3.2. Энергия связи атомных ядер.....	44
3.3. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада.....	46
3.4. Активность и единицы измерения .....	48
3.5. Деление тяжелых ядер и цепная реакция деления .....	50
ЛЕКЦИЯ 4. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ. ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЙ .....	66
4.1. Ионизирующие излучения, их характеристики.....	66
4.2. Альфа-излучение.....	68
4.3. Бета-излучение .....	69
4.4. Нейтронное излучение .....	72

4.5. Гамма-излучение.....	74
4.6. Основные дозиметрические величины и единицы их измерения. Связь между дозами.....	77
<b>ЛЕКЦИЯ 5. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ВЫБРОСАМИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ .....</b>	<b>84</b>
5.1. Характеристика сильнодействующих ядовитых веществ или аварийно химически опасных веществ.....	84
5.2. Характер возможных химически опасных аварий .....	88
5.3. Прогнозирование масштабов и последствий химически опасных аварий .....	90
5.4. Мероприятия по противоаварийной защите химически опасных объектов .....	92
<b>ЛЕКЦИЯ 6. ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ .....</b>	<b>93</b>
6.1. Естественный радиационный фон .....	93
6.2. Технологически измененный естественный радиационный и искусственный радиационный фон .....	98
6.3. Методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений .....	103
6.4. Детекторы ионизирующих излучений.....	108
<b>ЛЕКЦИЯ 7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ОЦЕНКА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....</b>	<b>114</b>
7.1. Система мониторинга и прогнозирование чрезвычайных ситуаций.....	114
7.2. Анализ и оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций.....	117
<b>ЛЕКЦИЯ 8. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ .....</b>	<b>121</b>
8.1. Воздействие ионизирующих излучений на молекулу ДНК, клетку и организм. Радиочувствительность органов. Детерминированные и стохастические эффекты .....	121
8.2. Радиационные синдромы. Острая и хроническая лучевые болезни .....	128
8.3. Способы защиты организма человека от радиации .....	137
<b>ЛЕКЦИЯ 9. ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>144</b>
9.1. Международные нормы, принципы и критерии радиационной безопасности населения .....	144

9.2. Законодательство Республики Беларусь по радиационной безопасности. Допустимые уровни облучения.....	148
9.3. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах, питьевой воде и продукции лесного хозяйства. Уровни вмешательства.....	151
<b>ЛЕКЦИЯ 10. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ .....</b>	<b>158</b>
10.1. Возможный характер современной войны и ее последствия для человеческой цивилизации .....	158
10.2. Ядерное оружие. Поражающие факторы ядерного взрыва	162
10.3. Обычное оружие и его поражающие факторы .....	169
<b>ЛЕКЦИЯ 11. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ПРИМЕНЕНИЕМ ОРУЖИЯ МАССОВОГО ПОРАЖЕНИЯ.....</b>	<b>173</b>
11.1. Химическое оружие.....	173
11.2. Биологическое оружие .....	177
11.3. Характеристика очагов ядерного, химического и биологического поражения .....	180
11.4. Характеристика очагов поражения, возникающих при авариях на радиационно-опасных объектах .....	187
11.5. Очаги поражения, возникающие при авариях на предприятиях со взрыво- и пожароопасными технологиями .....	190
11.6. Очаги поражения, возникающие в результате стихийных бедствий .....	192
<b>ЛЕКЦИЯ 12. ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....</b>	<b>194</b>
12.1. Правила поведения при посещении общественно-политических и зрелищных мероприятий.....	194
12.2. Права и обязанности граждан в области защиты населения	198
12.3. Организация обучения населения в системе гражданской обороны.....	199
12.4. Оповещение населения при возникновении чрезвычайных ситуаций.....	200
12.5. Основные рекомендации в области антитеррористической деятельности .....	202
<b>ЛЕКЦИЯ 13. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ОРГАНЫ ПО ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....</b>	<b>206</b>
13.1. Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций .....	206

13.2. Силы и средства Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций .....	211
13.3. Место гражданской обороны в системе Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций .....	213
13.4. Опасные производственные объекты. Декларация промышленной безопасности .....	216
<b>ЛЕКЦИЯ 14. ЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ И ПОРЯДОК ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....</b>	<b>219</b>
14.1. Классификация защитных сооружений гражданской обороны. Требования, предъявляемые к ним .....	219
14.2. Планировка защитных сооружений и системы жизнеобеспечения .....	222
14.3. Правила использования защитных сооружений в чрезвычайных ситуациях .....	224
<b>ЛЕКЦИЯ 15. УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....</b>	<b>226</b>
15.1. Основы устойчивости работы хозяйственных объектов ..	226
15.2. Исследование устойчивости функционирования хозяйственного объекта в чрезвычайных ситуациях .....	229
<b>ЛЕКЦИЯ 16. АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ И ДРУГИЕ НЕОТЛОЖНЫЕ РАБОТЫ В ОЧАГАХ ПОРАЖЕНИЯ .....</b>	<b>234</b>
16.1. Цель, содержание и условия проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в чрезвычайных ситуациях .....	234
16.2. Спасательные и неотложные работы в очагах радиоактивного, химического и биологического заражения .....	238
16.3. Спасательные и неотложные работы в районах стихийных бедствий .....	239
<b>ЛЕКЦИЯ 17. КАТАСТРОФА НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....</b>	<b>241</b>
17.1. Причины аварии на Чернобыльской АЭС. Развитие аварии. Радиоактивное загрязнение местности .....	241
17.2. Радиационная обстановка после аварии на Чернобыльской АЭС .....	243
17.3. Поведение радионуклидов в почве и переход их в растения .....	246
17.4. Социально-экономические последствия катастрофы в Республике Беларусь .....	248
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>254</b>

Учебное издание

**Чернушевич Григорий Алексеевич  
Перетрухин Виктор Васильевич  
Домненкова Алеся Владимировна и др.**

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ  
ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.  
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Электронный курс лекций

Редактор *Е. И. Гоман*  
Компьютерная верстка *А. Н. Петрова*  
Корректор *Е. И. Гоман*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
распространителя и изготовителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.