

Чрезвычайные Ситуации

Начиная со второй половины XX века стали широко использоваться новые технологии и производства, связанные с риском возникновения аварий и катастроф, негативные последствия которых сравнимы, а иногда и превосходят потери от стихийных бедствий. Их опасность растет вследствие концентрации производства и повышения плотности населения на потенциально опасных территориях.

Стихийные бедствия и производственные аварии сопровождаются гибелью людей, огромными материальными потерями и в целом замедляют ход развития цивилизации на нашей планете. Людские потери и материальный ущерб при крупных чрезвычайных ситуациях (ЧС) сравнимы с последствиями локальных военных конфликтов.

Динамика нарастания последствий катастрофических процессов за длительный период времени такова:

- количество катастроф с высоким экологическим ущербом возросло с 60-х до 90-х годов XX века более чем в 4 раза;
- в 60-х годах от опасных явлений чрезвычайных ситуаций страдал один человек из 62 живущих на Земле, а в 90-х годах – уже один из 29.

В России с 1991 по 1997 годы наблюдался почти шестикратный (209 – 1174) рост числа техногенных аварий и катастроф. Это было обусловлено снижением внимания и вложения средств на обеспечение безопасности, значительным прогрессирующим износом основных производственных фондов, достигающим в ряде отраслей 80...100 %, снижением профессионального уровня работников и производственной дисциплины.

Такой нарастающий поток стихийных бедствий, аварий, катастроф заставил на уровне Правительства РФ заняться этой проблемой: выработать единый подход в области знаний о происхождении, развитии чрезвычайных ситуаций, ликвидации их последствий, а одной из основных задач государства сделать защиту населения от чрезвычайных ситуаций. Результатом этой работы явилось замедление роста количества ЧС, однако их общее число остается недопустимо большим:

2004 – 263 ЧС 2005 – 2464 ЧС 2006 – 2541 ЧС 2007 – 2211 ЧС

Цель изучения дисциплины

- Цель изучения дисциплины «Ликвидация чрезвычайных ситуаций на РО и ХО объектах» – сформировать сознательное и ответственное отношение человека к вопросам личной и коллективной безопасности и безопасности окружающей среды. В результате изучения дисциплины выпускник должен иметь следующие знания, умения и навыки:
 - – знание основных опасностей и их характеристик;
 - – умение распознавать и оценивать опасности;
 - – навыки прогнозирования чрезвычайных ситуаций;
 - – умение осуществлять защиту от опасностей;
 - – умение оказывать само- и взаимопомощь;
 - – умение организовывать и осуществлять ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Центральным понятием изучаемой дисциплины является *опасность*. Опасности рассматриваются как факторы, оказывающие неблагоприятное воздействие на здоровье человека, окружающую природную среду. Такие факторы возникают как результат действия природных сил и деятельности человека.
- Рассматривают следующие виды опасностей.
- *Природная опасность* – это состояния определенных частей литосферы, гидросферы, атмосферы или космоса, представляющие угрозу для людей, объектов экономики.
- *Техногенная опасность* – состояние, при котором в зонах технологических процессов имеются факторы, способные оказать негативное воздействие на людей, объекты экономики, природную среду.
- *Антропогенная опасность* – состояние, при котором негативные факторы формируются отходами хозяйственной деятельности и жизнедеятельности человека.
- *Опасность территории* – состояние территории, характеризующееся наличием природной, техногенной, антропогенной опасностей.
- Возникновение того или иного вида опасности обусловлено началом действия или превышением некоторого уровня действия источника опасности.
- *Источник опасности* – это процессы в некоторой области пространства, которые могут привести к негативным явлениям.
- В природе опасности несут опасные природные явления, стихийные бедствия, в техногенной сфере опасности сосредоточены на потенциально опасных объектах.
- *Потенциально опасный объект* – объект, на котором производят, используют, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, опасные химические или биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника ЧС.
- Природные и техногенные опасности обычно выступают в форме вызовов и угроз.
- *Вызов* – форма опасности, которая является гипотетической (в принципе возможной) и в перспективе может превратиться в непосредственную опасность. Например: астероидная опасность, глобальное потепление.
- *Угроза* – форма непосредственной опасности, которая при дальнейшем развитии негативных процессов может привести к ЧС.

Чрезвычайная ситуация

- *Чрезвычайная ситуация* – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.
- *Источники чрезвычайных ситуаций на РО и ХО объектах:*
 - – опасное природное явление;
 - – авария, техногенное происшествие;
 - В источнике ЧС можно выделить опасное явление, процесс, определяющий специфику чрезвычайной ситуации – поражающий фактор источника ЧС.
- Поражающие факторы (ПФ) делятся на первичные и вторичные. Первичный ПФ дает начало чрезвычайной ситуации. Первичный ПФ может инициировать другой – вторичный ПФ. Например, пожар на предприятии, перерабатывающем токсичные вещества, может привести к химическому заражению территории. Виды воздействия поражающих факторов:
 - – механическое;
 - – химическое;
 - – радиационное;
 - – тепловое;
 - – биологическое.

РИСК И БЕЗОПАСНОСТЬ

В настоящее время общепринятой является оценка опасности с помощью *риска*. Под термином «риск» в общем случае понимают многокомпонентную величину, включающую показатели ущерба и возможности возникновения рассматриваемого негативного фактора. Наиболее часто для оценки риска используются статистические методики. Показателем риска считается среднее значение ущерба от опасного события за год. Численная оценка опасности с помощью риска дает возможность решать задачу *управления риском* – его прогнозированием и разработкой мер по снижению.

Совершенно очевидно, что снижение риска увеличивает затратную часть для любого вида деятельности, а она имеет предел. Поэтому решения, принимаемые в области снижения риска, должны быть основаны на балансе между опасностями и выгодами от деятельности. Равновесию между негативными последствиями и пользой от вида деятельности соответствует уровень *приемлемого риска*. Определение приемлемого риска предусматривает помимо экономических также учет социальных, психологических и других аспектов, т. е. комплексное рассмотрение проблемы. Это исключительно сложная задача. Например, в каких общих единицах измерять экономические выгоды (затраты), социальную напряженность, психологические травмы? Как разрешить проблему того, что затраты могут нести одни социальные группы населения, а выгоду получать – другие?

Безопасность в ЧС рассматривают как состояние защищенности человека (населения), объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей в ЧС. Как и при рассмотрении опасности возникает необходимость оценивания безопасности. Защищенность определенным образом влияет на качество жизни человека. Для человека обобщенным показателем качества жизни может служить ее продолжительность. Тогда количественным показателем уровня безопасности может быть средняя ожидаемая продолжительность жизни.

Оценивание защищенности природной среды оказывается еще более сложным процессом, так как экосистемы в широких пределах изменяют свои параметры в ответ на внешние воздействия, не утрачивая способности к устойчивому существованию. В некоторых странах защищенность природной среды определяется близостью экологических нагрузок к пропускной способности экологического пространства.

Классификация безопасности

- Учитывая большие неопределенности таких показателей, в настоящее время защищенность человека и окружающей среды от опасностей оценивается не по показателям качества жизни, а по предельным величинам, характеризующим надежность и эффективность технических систем безопасности. Нормируются и контролируются уровни негативных воздействий, например, концентрации и выбросы в окружающую среду токсических и радиоактивных веществ. Поэтому процесс повышения безопасности носит чисто инженерный характер и основывается на узком подходе к учету экологических последствий развития рассматриваемого сектора экономики. В соответствии с этим безопасность **принято классифицировать**:
 - – **по видам** (промышленная безопасность, радиационная, химическая, пожарная, биологическая, сейсмическая, экологическая);
 - – **по объектам** (безопасность населения, объекта экономики, окружающей природной среды);
 - – **по основным источникам** (опасные природные явления, аварии и техногенные катастрофы).
- Несмотря на недостатки такого технократического подхода к оценке защищенности человека, он в настоящее время является единственно приемлемым, позволяющим контролировать и снижать опасность возникновения чрезвычайных ситуаций.

Классификация ЧС



Рис. 1.1. Классификация чрезвычайных ситуаций

ТИПЫ И ВИДЫ ЧС

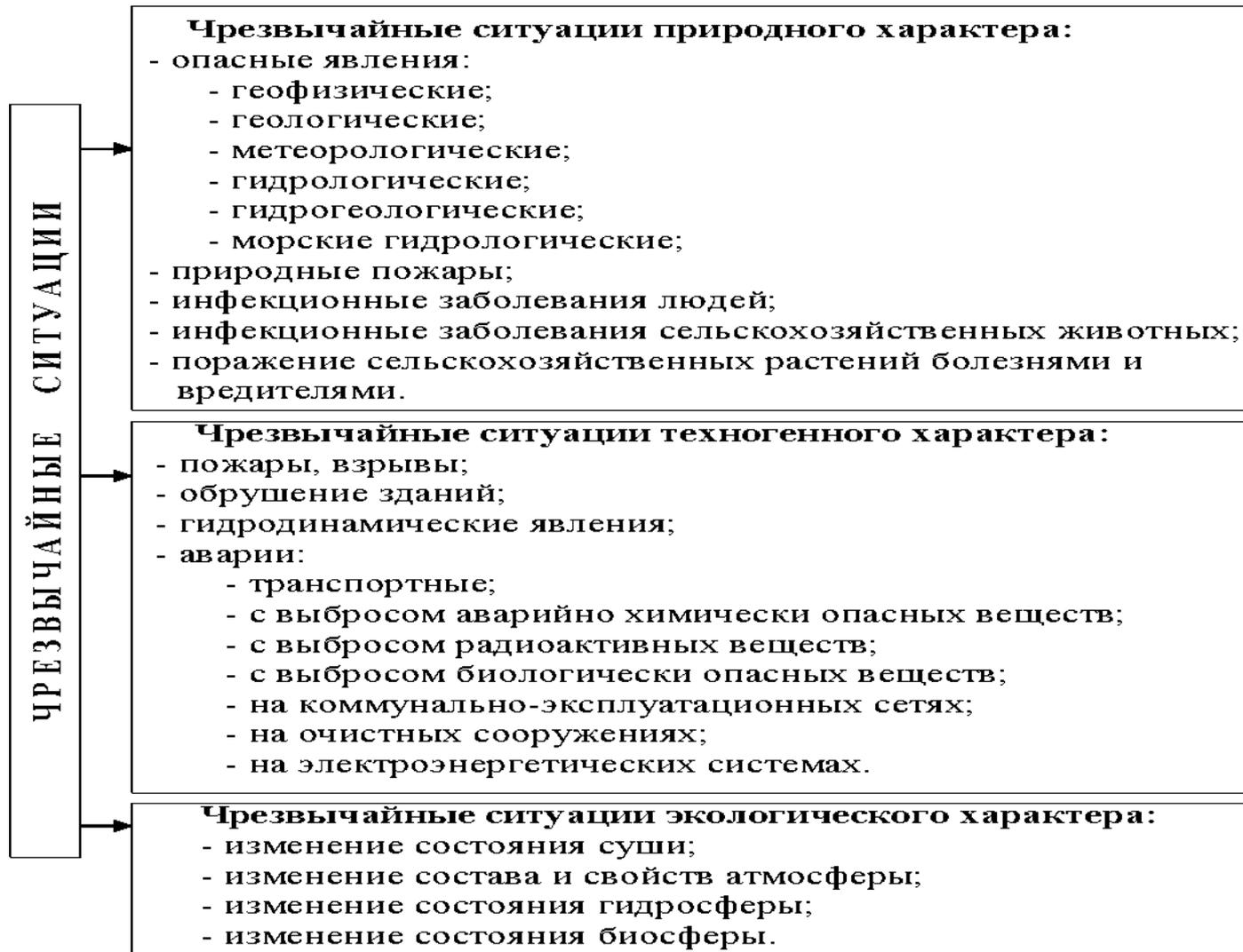


Рис. 1.2. Типы и виды чрезвычайных событий, инициирующих ЧС

СТАТИСТИКА ЧС

- Чрезвычайные ситуации природного характера вызваны неблагоприятными и опасными природными явлениями и процессами. Их спектр для территории России чрезвычайно широк. Около 20 % территории страны – это зона повышенной сейсмической опасности. Площадь зон затопления при наводнениях может достигать 400 тысяч квадратных километров, на ней находятся 750 городов и несколько тысяч населенных пунктов. Ежегодно на территории России возникает до 25...30 тысяч лесных пожаров. Большой ущерб хозяйству страны наносят засухи, сильные дожди, град, смерчи, снежные заносы, сели, оползни.
- Статистика ЧС, вызванных на территории России опасными природными явлениями и процессами за последние годы, показывает, что на землетрясения, ураганы, бури, тайфуны приходится 54 % всех явлений, лесные пожары составляют около 23 %, наводнения – 10 %, сильные и длительные дожди – 6 %, засуха – 5 %, на все остальные природные явления приходится не более 2 %.
- Из зарегистрированных на территории России за последнее годы происшествий техногенного характера каждая вторая авария происходила на сетях теплоснабжения, каждая пятая – на сетях водоснабжения и канализации.
- Считается, что человеческими ошибками обусловлены 45 % экстремальных ситуаций на АЭС, 60 % – при авиакатастрофах, 80 % – при катастрофах на море. С другой стороны, анализ ЧС техногенного характера показывает, что они в значительной степени возникают под влиянием неблагоприятных природных процессов.

ОБСТАНОВКА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В России насчитывается около 45 тысяч потенциально опасных объектов, аварии на которых могут привести к возникновению ЧС. На такой территории проживает около 80 млн. человек, или 55 % населения страны. Наибольшую опасность в техногенной сфере представляют транспортные и радиационные аварии, аварии с выбросом химически и биологически опасных веществ, взрывы и пожары.

В стране функционирует 10 атомных станций с 31 ядерным энергетическим реактором, 9 судов гражданского назначения с 15 ядерными силовыми установками, 113 исследовательских ядерных реактора в 30 научно-исследовательских организациях, 12 предприятий ядерного топливного цикла, 16 специальных комбинатов по переработке и захоронению радиоактивных отходов.

В Российской Федерации действуют более 3600 хозяйственных объектов, располагающих суммарным запасом около 1 млн. тонн опасных химических веществ. Из них около 50 % имеют запасы аммиака, 35 % – хлора, 5 % – соляной кислоты.

В РФ насчитывается свыше 8000 взрывопожароопасных объектов в различных отраслях народного хозяйства. Наиболее часто аварии, сопровождающиеся взрывами и пожарами, происходят на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также на объектах жилого и социального назначения.

В настоящее время в эксплуатации находится около 150 тысяч километров магистральных газопроводов, 62 тысячи километров нефтепроводов и 25 тысяч километров продуктопроводов. При среднем сроке службы трубопроводов 20 лет около 12 % протяженности трубопроводов находится в эксплуатации 35 и более лет, 32 % – более 20 лет, 30 % – 15...20 лет.

В России около 150 тысяч километров магистральных железных дорог, из них 20 тысяч километров выработали свой ресурс. Учитывая, что основной объем перевозимых опасных грузов приходится на железнодорожный транспорт, изношенность технических систем железных дорог является определяющим фактором, влияющим на количество ЧС при транспортных авариях.

Обстановка в Северо-Западном регионе

Северо-Западный регион – один из крупнейших экономических районов России – занимает всю северную часть Европейской территории страны. Площадь – 1690 тыс. км² (около 10 % территории РФ). В составе его 7 областей, Республика Карелия, Республика Коми. Население 15 млн. чел., плотность – 12 чел/км². В регионе 130 городов, 159 поселков городского типа.

Административный центр региона – г. Санкт-Петербург (около 5 млн. жителей).

Возможные источники ЧС природного характера: наводнения, штормовые ветры, смерчи, ливни, град, торфяные и лесные пожары и другие опасные природные явления.

Потенциальных источников ЧС техногенного характера – около 3100. АЭС – 2 (Ленинградская и Кольская), 7 крупных радиационно опасных объектов, 300 организаций имеют радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений.

В регионе размещено более 300 химически опасных объектов. На зараженной территории может оказаться от 15 до 70 % населения.

В Санкт-Петербурге имеется 66 химически опасных объекта, пострадать в результате аварий может около 3,6 млн. человек.

На территории региона расположено более 2350 взрывопожароопасных объектов.

Распределение населения по площади региона и потенциальных опасностей таковы, что плотность населения в потенциальных зонах ЧС оказывается высокой.

Вывод: В целом Северо-Западный регион относится к районам повышенной опасности воздействия поражающих факторов на население и окружающую среду при авариях и опасных природных явлениях.

ИСТОЧНИКИ ЧС

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

По характеру источника различают ЧС:

- природные;
- техногенные;
- военные

Рассматриваем источники ЧС:

Аварии на радиационно и химически опасных объектах;

Поражающее воздействие: радиационное и химическое

Общие черты поражающего действия:

- заражается воздух, местность, акватория, объекты;
- заражение носит не локальный характер, а захватывает большие площади земной поверхности, распространяется по ветру;
- заражение сохраняется в течение длительного времени

Радиационная и химическая защита – это комплекс организационных и специальных инженерно-технических мероприятий, предназначенных для обеспечения безопасности личного состава сил ГОЧС и населения в условиях РХ заражения.

Основные источники радиационной и химической опасности при авариях на радиационно и химически опасных объектах

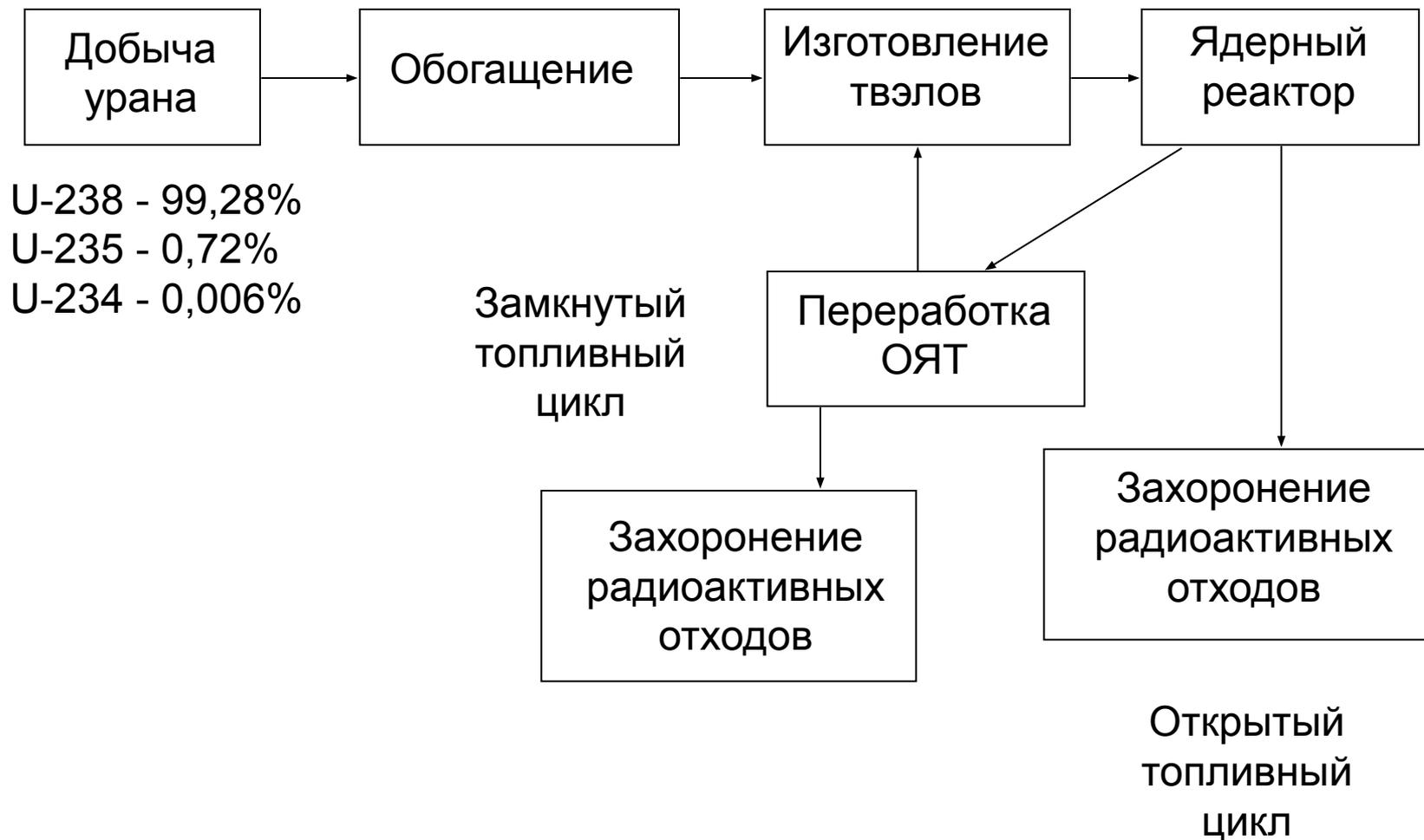
Аварии на радиационно опасных объектах

Радиационно опасный объект – объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества, при аварии на котором или его разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды

К радиационно опасным объектам относятся:

- предприятия ядерного топливного цикла – атомные станции электрические, теплоснабжения, предприятия подготовки, переработки и утилизации отработавшего ядерного топлива (ОЯТ);
- объекты с ядерными энергетическими установками – корабли и космические аппараты;
- исследовательские ядерные реакторы;
- места хранения ядерных боеприпасов;
- объекты хранения делящихся материалов;
- установки технологические, медицинские, в которых имеются источники ионизирующих излучений (ИИ);
- территории и водоемы, загрязненные (по разным причинам) радионуклидами

Ядерный топливный цикл



Радиационная авария – авария на радиационно опасном объекте, приводящая к выходу или выбросу радиоактивных веществ и (или) ионизирующих излучений за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации данного объекта границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасности его эксплуатации.

Причины радиационных аварий:

- неисправность оборудования;
- неправильные действия работников (персонала);
- стихийные бедствия;
- терроризм и иные причины.

Наиболее опасны радиационные аварии на атомных станциях, использующихся для получения электроэнергии или для горячего водоснабжения и имеющих в своем составе 2...4 ядерных реактора. В ядерных реакторах АЭС в процессе их работы накапливается большое количество радиоактивных веществ (РВ).

Активность источника

- Радиоактивный источник – определенная масса радиоактивного вещества характеризуется активностью. Это совокупная характеристика, учитывающая особенности ядра (постоянная распада) и количество ядер , т. е. их массу.
- *Активность* источника – это число распадов ядер источника в единицу времени
- Единица активности – Беккерель (Бк): $1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$.
Внесистемная единица – Кюри (Ки), $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.
- Вследствие распада активность источника с течением времени уменьшается.
- Для оценки степени загрязнения радионуклидами массы вещества, объема или поверхности используют соответственно величины: активность удельная , Бк/кг;
- активность объемная , Бк/м³;
- активность поверхностная , Бк/м²

Основные дозиметрические характеристики ионизирующих излучений.

- При прохождении ионизирующего излучения через вещество часть энергии излучения передается веществу в процессах ионизации и возбуждения атомов и молекул, а также ядерных превращений. Специфика воздействия ИИ на вещество и биологическую ткань потребовала введения нескольких характеристик, описывающих этот процесс.
- *Поглощенная доза* излучения – это энергия ионизирующего излучения, переданная единице массы вещества.
- Единица измерения поглощенной дозы в СИ - Грей (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.
Внесистемная единица – рад, $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$.
- Поглощенная доза используется для оценки воздействия ионизирующих излучений на материалы, биологическую ткань.
- *Экспозиционная доза* фотонного излучения определяется для взаимодействия гамма- и рентгеновского излучения с воздухом. Экспозиционная доза характеризует заряд одного знака, образующийся в единице массы воздуха при его ионизации.
- Внесистемная единица – рентген (Р). Экспозиционной дозе в 1 Р соответствует поглощенная доза приблизительно в 1 рад (0,01 Гр). Использование экспозиционной дозы в настоящее время не рекомендуется, но она встречается в ранее изданной литературе по дозиметрии.
- *Эквивалентная доза* излучения используется для оценки биологического воздействия различных видов ИИ при длительном облучении малыми дозами.

Эквивалентная доза

Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы рассматриваемого излучения в органе или ткани на безразмерный взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.

Взвешивающий коэффициент называют коэффициентом качества излучения. Измеряется эквивалентная доза в зивертах (Зв), внесистемная единица – бэр (биологический эквивалент рада), $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Средние значения коэффициента качества излучения :

=1 – для рентгеновского, гамма- и бета- излучений;

=5 – для протонов с энергией МэВ;

=5...20 – для нейтронов различной энергии;

=20 – для альфа-частиц и тяжелых ядер.

Эффективная эквивалентная доза учитывает чувствительность разных органов и тканей организма человека к воздействию ИИ и используется при оценке риска возникновения отдаленных последствий облучения (стохастические эффекты) всего тела или отдельных органов. Она позволяет сравнивать риск облучения вне зависимости от того, облучается все тело равномерно или неравномерно.

Эффективная эквивалентная доза равна сумме произведений эквивалентных доз облучения отдельных органов на соответствующие безразмерные взвешивающие коэффициенты их радиочувствительности.

Единица измерения эффективной эквивалентной дозы – Зиверт (Зв).

Взвешивающие коэффициенты радиочувствительности органов и тканей человека

– гонады	0,20;
– красный костный мозг	0,12;
– толстый кишечник	0,12;
– легкие	0,12;
– желудок	0,12;
– мочевой пузырь	0,05;
– грудная железа	0,05;
– печень	0,05;
– пищевод	0,05;
– щитовидная железа	0,05;
– кожа	0,01;
– клетки костных поверхностей	0,01;
– остальное	0,05.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ДОЗ

- Нормируемые величины
- Пределы доз:
- персонал (группа А): эффективная доза 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год
- население: эффективная доза 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год

Действие ионизирующих излучений на человека

Стадии	Процессы	Продолжительность стадии
Физическая	Поглощение энергии излучения. Образование ионизированных атомов и молекул.	$10^{-16} \dots 10^{-15}$ с
Физико-химическая	Перераспределение поглощенной энергии внутри молекул и между молекулами. Образование свободных радикалов.	$10^{-14} \dots 10^{-11}$ с
Химическая	Реакции между свободными радикалами, между радикалами и неактивированными молекулами. Образование широкого спектра молекул с измененными структурой и функциональными свойствами.	$10^{-6} \dots 10^{-3}$ с
Биологическая	Последовательное развитие поражения на всех уровнях биологической организации – от субклеточного до организменного. Активация процессов биологического усиления и репарации повреждений.	Секунды – годы

ОСОБЕННОСТИ СТАДИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ

- В процессе воздействия ИИ на живые организмы можно выделить четыре стадии. На стадии физических процессов образуются ионизированные атомы и молекулы, случайным образом распределенные в биологическом веществе, поскольку вероятность взаимодействия ИИ с тем или иным атомом биологических молекул одинакова.
- В течение химической стадии образовавшиеся свободные радикалы вступают в химические реакции между собой, с другими молекулами, в результате чего появляется много новых химических соединений, в том числе и токсического действия – радиотоксинов.
- Для этих стадий, называемых первичными, выделяют прямое и косвенное действие ионизирующих излучений.
- *Прямое* действие ионизирующего излучения – поглощение энергии излучения самими биологическими макромолекулами.
- *Косвенное* воздействие ионизирующего излучения обусловлено поглощением излучения водой, составляющей около 75 % массы тела человека. Происходит радиолиз молекул воды с образованием высокоактивных в химическом отношении свободных радикалов, а затем – перекисных соединений, и др., которые вступают в окислительные реакции с биологическими макромолекулами.
- Последняя стадия – биологическая протекает специфически в разных живых организмах. На этой стадии сказываются изменения всех биологических процессов, происходящих в клетках – от уровня самой клетки до организма в целом.

Клеточные изменения

- Клетки представляют собой основные ячейки жизни. Клетка окружена клеточной оболочкой, внутри которой находятся цитоплазма и более плотное ядро клетки. Цитоплазма – органические соединения белкового характера – образует пространственную решетку, заполненную липидами (относительно малые молекулы, по свойствам подобные жирам) и водой с растворенными в ней солями. Ядро содержит хромосомы, составленные из молекул дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) – носителя наследственной информации организма. Отдельные участки ДНК, отвечающие за формирование определенного признака, называются генами.
- В живой клетке постоянно осуществляется обмен веществ с внешней средой, между отдельными внутриклеточными структурами, происходит деление клетки. При облучении клетки изменяется и весь ход обменных процессов в ней, но наиболее биологически значимыми являются изменения ДНК, ведущие к изменению хромосом (хромосомные aberrации) и генного аппарата. В ответ на первичные повреждения в клетке активизируются процессы устранения возникших повреждений в молекулах ДНК. Чтобы структура ДНК не восстановилась после облучения необходимо произвести около 7 ее разрушений. Таким образом, закрепится или нет хромосомная aberrация, зависит от соотношения эффективностей процессов появления и устранения повреждений ДНК. Если к моменту деления клетки повреждения в ней не устраняются, то образуется дочерняя клетка, отличающаяся от исходной

Последствия облучения людей

Радиационные эффекты облучения людей

Соматические (нестохастические)	Соматико- стохастические	Генетические
Острая лучевая болезнь: – легкая $H=1-2$ Зв; – средняя $H=2-4$ Зв; – тяжелая $H=4-6$ Зв; – крайне тяжелая $H>6$ Зв. Хроническая лучевая болезнь Локальные лучевые поражения	Сокращение продолжительности жизни Лейкозы (злокачественные изменения кровообразующих клеток) Опухоли разных органов и клеток	Доминантные генные мутации (изменения в пределах одного гена, проявляющиеся в первом поколении) Рецессивные генные мутации (нарушение взаимоотношения генов, проявляется при повреждении одного и того же гена у обоих родителей) Хромосомные aberrации (искажение хромосомного набора)

Последствия облучения людей

- Результаты воздействия облучения проявляются в течение промежутка времени от нескольких минут до одного-двух месяцев после облучения при воздействии относительно больших доз на все тело или отдельные органы. К ним относят лучевую болезнь, лучевой ожог, нарушение иммунитета и кроветворения, катаракту глаза и др. Эффекты проявляются тем быстрее и сильнее, чем больше величины дозы и мощности дозы и для их возникновения существует *дозовый “порог”*, т. е. при дозах ниже определенного значения они не проявляются, а при превышении “порога” возникают почти со 100 %-й вероятностью. Значения некоторых дозовых “порогов”:
 - – первичная лучевая реакция (тошнота, рвота) - 1,5 Зв;
 - – острая лучевая болезнь - 1 Зв;
 - – кратковременная стерилизация - 1 Зв;
 - – эритема (ожог кожи) - 4 Зв;
 - – эпиляция - 5 Зв.
- Наблюдения за персоналом и населением, подвергавшимся воздействию повышенных доз облучения, показали, что длительное облучение взрослого практически здорового человека при дозах до 50 мЗв в год не вызывает вредных соматических изменений (для сравнения: годовая доза облучения от естественного фона 0,7...2 мЗв).

Индивидуальные особенности организмов

- Свойственная людям индивидуальная изменчивость проявляется в их чувствительности к облучению. Различия индивидуальной чувствительности весьма велики: при дозе облучения ~ 2 Зв погибает до 20 % облученных, остальные выживают.
- Отдаленные эффекты, проявляются с некоторой вероятностью только через несколько месяцев или лет после облучения. При остром однократном облучении наиболее типичными отдаленными последствиями являются стойкие изменения кожи и увеличение частоты катаракт. В области малых доз (менее 0,05...0,1 Зв в год) наблюдается только один отдаленный эффект – увеличение частоты злокачественных образований. Эти эффекты являются вероятностными: с увеличением дозы возрастает не тяжесть поражения, а лишь вероятность его появления, т. е. риск. Сам эффект – появление опухоли – всегда один и тот же. Зависимость доза-эффект для стохастических последствий – прямо пропорциональная и беспороговая. Отсутствие “порога” дозы означает, что не существует абсолютно безвредного облучения, снижение дозы ведет только к уменьшению риска, но полностью его не устраняет.

Статистика выживания

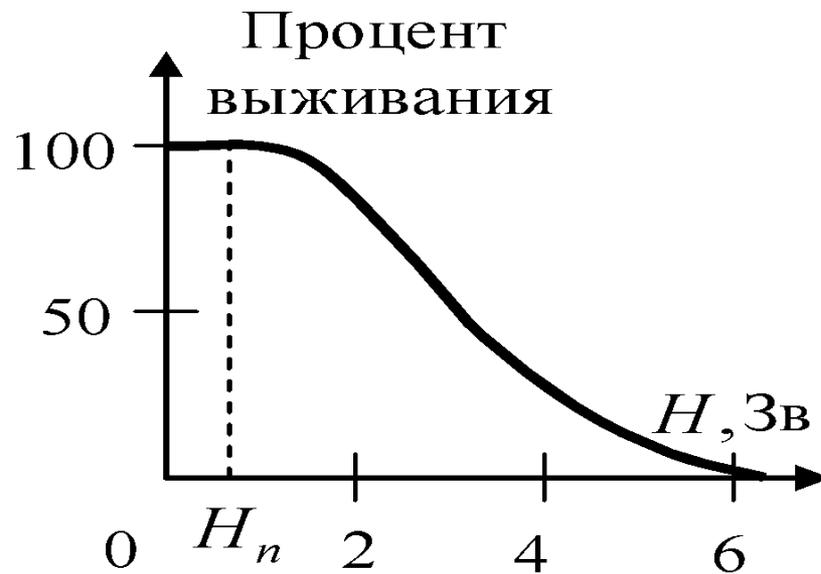


Рис. 1.21. Зависимость доза-эффект для соматических эффектов

Генетические эффекты

- Генетические эффекты воздействия радиации на человека проявляются только в последующих поколениях. Они носят стохастический характер и представляют собой те или иные повреждения на генном уровне, аналогично наследственным повреждениям. Описано около 1500 их разновидностей. От тяжелых наследственных генетических заболеваний страдает примерно до 3 % населения земного шара, поэтому возникают большие трудности в определении причины генных повреждений: результат ли это действия радиации, врожденные ли повреждения, или причина какая-то иная. В этом случае облучение может вызвать возрастание частоты генетических нарушений по сравнению с естественной.
- Генетические эффекты так же, как и соматические мало зависят от мощности дозы и определяются суммарной накопленной дозой. Эти эффекты проявляются при оценке ущерба в результате действия малых доз облучения на большие группы людей (сотни тысяч человек), определяются они эффективной коллективной дозой. Выявление эффекта у отдельного индивидуума практически невозможно.
- Биологические последствия действия ионизирующих излучений зависят от ряда факторов, основными из которых являются:
 - – величина дозы и мощности дозы;
 - – продолжительность облучения;
 - – характер облучения (внешнее или внутреннее).

Влияние длительности облучения

Продолжительность облучения, как для больших, так и для малых доз влияет на последствия воздействия ионизирующих излучений. Это обусловлено тем, что при любом нарушающем воздействии в организме человека протекают восстанавливающие процессы. Поэтому все эффекты выражены тем слабее, чем больше время, в течение которого была получена одна и та же доза. В зависимости от продолжительности облучения различают однократное, многократное и хроническое облучения.

Однократным называется облучение, если его продолжительность не превышает четырех суток. За это время действие восстановительных механизмов в организме еще не успевает проявиться и эффект воздействия одной и той же дозы будет одинаковым, независимо от того, получена она в течение секунды, минуты, часа или дробно в течение четырех суток.

Многократным называется облучение в течение промежутка времени более четырех суток. В этом случае становится заметным результат протекания восстановительных процессов, которые частично ликвидируют последствия воздействия ИИ. Так, при небольших дозах со временем компенсируется до 90 % последствий набранной однократной дозы – это обратимая часть поражения. Оставшиеся 10 % (в различных случаях до 40 %) представляют необратимые поражения.

Хроническим называется облучение малыми дозами в течение длительного времени – до десятков лет. При хроническом облучении обычно определяют (рассчитывают) годовую дозу.

Внешнее и внутреннее облучение

Характер облучения – внешнее или внутренне связан с расположением источника ионизирующего излучения – радиоактивных веществ вне или внутри организма человека.

Облучение называется *внешним*, если радиоактивные вещества находятся вне организма. Внешнее облучение обусловлено, в основном, излучениями, имеющими большую проникающую способность – гамма- и нейтронным излучениями, в меньшей степени – бета-излучением. Альфа-излучение полностью, а бета-излучение в значительной степени задерживаются воздухом, одеждой и поверхностным слоем кожи, поэтому особой опасности не представляют. Исключение составляет воздействие бета-частиц на глаза.

Внешнее облучение может быть *общим* – когда облучению подвергается все тело человека, и *локальным* (местным) – когда облучается только какая-то часть тела.

Эффект внешнего облучения зависит от величины эффективной дозы, мощности дозы, а также от того, какая часть тела человека подверглась облучению.

Внутреннее облучение происходит при попадании радиоактивных веществ внутрь организма:

- через органы дыхания (ингаляционный);
- через желудочно-кишечный тракт (пероральный);
- через кожу (кожно – резорбтивный).

Этими путями радионуклиды сначала попадают в кровь, а затем током крови разносятся по всему телу.

ОБЛУЧЕНИЕ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Сразу же после радиационной аварии наиболее вероятным и опасным является ингаляционное поступление радиоактивных веществ в организм человека. Это обусловлено, во-первых, большим объемом воздуха, проходящего через легкие (порядка 100 м^3 в сутки) и, во-вторых, высокой степенью оседания мелких частиц аэрозоля в легких. При диаметре частиц более 1 мкм в легких задерживается около 20 % вдыхаемого аэрозоля, при размере частиц менее 1 мкм эта доля возрастает до 90 %. При употреблении загрязненной радиоактивными веществами воды и пищи в организме задерживается 4...10 % массы радионуклидов. Через неповрежденную кожу в организм попадает и задерживается в 200...300 раз меньше РВ, чем через желудочно-кишечный тракт.

Внутреннее облучение продолжается до тех пор, пока находящиеся внутри организма РВ не распадутся или не будут выведены из него биологическим путем. Скорость первого процесса характеризуется периодом полураспада. Скорость биологического выведения радионуклидов из организма зависит от химических свойств соединений, содержащих радионуклиды и вида тех тканей организма, в которых они фиксируются. Она оценивается периодом полувыведения биологическим - временем, в течение которого из организма выводится половина находящегося в нем радиоактивного вещества.

Внешнее и внутреннее облучение

- При одних и тех же количествах радионуклидов внутреннее облучение значительно опаснее внешнего. Это обусловлено следующими причинами.
- Во-первых, резко увеличивается время облучения тканей организма. При внутреннем облучении это – время нахождения РВ в организме (сутки – годы в зависимости от вида радионуклида). При внешнем облучении – это время пребывания человека в зоне загрязнения, которое при вахтовом методе работы составляет часы или сутки.
- Во-вторых, находясь внутри биологической ткани, радионуклид облучает ее в телесном угле 4π , при внешнем облучении человека этот телесный угол очень мал.
- В третьих, при внутреннем облучении радионуклиды находятся в непосредственном контакте с биологической тканью внутренних органов, в которой полностью поглощается энергия альфа- и бета-излучений. При внешнем облучении эти виды ИИ задерживаются воздухом, одеждой, роговым слоем кожи.
- И наконец, в четвертых, избирательное накопление радионуклидов в отдельных органах приводит к более сильному локальному облучению этих органов.
- Опасность внутреннего облучения от поступления в организм того или иного нуклида зависит от вида ИИ, доли нуклида, попавшего в ткани и органы, от общего поступления его в организм, от соотношения T_{σ} и $T_{1/2}$.

Внутреннее облучение

- Доля нуклида, попавшего в ткани и органы, может меняться в широких пределах – от 0,01 до 100 % от его поступления в организм.
- Биологические периоды полувыведения нуклидов из критических органов и тканей составляют от десятков суток до практически бесконечности – полное усвоение ($^{90}_{38}\text{Sr}$, $^{226}_{88}\text{Ra}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$). Важно соотношение периодов полураспада и биологического полувыведения. Малый период полураспада в сочетании с большим периодом полувыведения обуславливает высокую скорость поражающего действия нуклида.
- В целом, опаснее альфа-активные нуклиды, имеющие малый период полураспада, большой период полувыведения, в значительной степени задерживающиеся в критически важных органах. В качестве такого примера
- можно привести альфа-активный нуклид Полоний-210, для которого
- $T_{1/2} = 138,4$ суток, $T_6 \approx 50$ суток. Накопление нуклида от поступления в организм: 0,13 – в почках, 0,22 – в печени, 0,07 – в селезенке, 0,08 – в костях. Через один месяц после однократного поступления в кровь $3,7 \cdot 10^4$ Бк (1 мкКи) нуклида доза облучения почек и селезенки составляет около 15 мЗв. Для дозы 15 Зв необходимо поступление нуклида активностью $3,7 \cdot 10^6$ Бк – т. е. всего $2,2 \cdot 10^{-8}$ г чистого полония.

-

Фоновое облучение человека.

- Источники фонового облучения человека – это космическое излучение, а также естественные и искусственные радиоактивные вещества, содержащиеся в теле человека и окружающей среде. Оно считается важным фактором мутагенеза, необходимого для эволюции живых организмов.
- Космическое излучение подразделяют на галактическое и солнечное, обусловленное солнечными вспышками. Состоит оно в основном из протонов с энергией до 10^{13} МэВ (около 90 %), альфа – частиц и более тяжелых ядер. Взаимодействуя с атмосферой Земли на высотах более 20 км, образует вторичное излучение, достигающее земной поверхности. Дозовые характеристики космического излучения очень сильно зависят от высоты. Годовая доза космического излучения составляет около 0,3 мЗв на уровне моря.
- В окружающей среде находится более 60 радионуклидов естественного происхождения: нуклиды семейств урана и тория и нуклиды, образующиеся в атмосфере при взаимодействии протонов и нейтронов с ядрами азота, кислорода, аргона. Эти нуклиды являются источниками внешнего гамма-облучения человека и внутреннего – за счет попадания в организм с воздухом, водой и пищей. Интенсивность внешнего облучения меняется в широких пределах: от 10^{-8} до 10^{-4} Гр/ч для различных районов на материках. Среднепопуляционная мощность дозы для населения всего земного шара принята равной $4,5 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч (доза за год 0,4 мГр). Мощность дозы в кирпичных, бетонных, каменных зданиях в среднем в 2-3 раза выше, чем на открытой местности и в деревянных домах вследствие концентрации радионуклидов в строительных материалах.

Средние мощности поглощенной и эквивалентной дозы космического излучения

Высота, км	D, мкГр/ч	H, мкЗв/ч
0	0,032	0,035
6	0,33	0,51
10	1,75	2,88
16	5,92	9,70
20	8,72	12,75

Общее годовое облучение человека

- Годовая эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения различных органов и тканей человека в районах с нормальным радиационным фоном составляет около 1,5 мЗв. Следовательно, в общем годовом облучении человека 2,2 мЗв от природных источников 2/3 этой дозы (~1,5 мЗв) приходится на внутреннее облучение и 1/3 дозы (~0,7 мЗв) – на внешнее. Приведенное соотношение может существенно меняться в зависимости от высоты над уровнем моря района проживания и уровня природной радиоактивности.
- В искусственную составляющую фонового облучения включают облучение от радиоактивных выпадений ядерных взрывов и облучение, связанное с техногенной деятельностью – выбросы предприятий ядерного топливного цикла при их нормальной работе, зольные отходы тепловых электростанций, использование минеральных удобрений, строительных материалов.
- Значительную часть в облучение населения от искусственных источников вносят медицинские процедуры: изотопная и рентгеновская диагностика, радиотерапия. В развитых странах этот вид облучения – второй по значимости после естественного облучения.
- В среднем для населения суммарная доза распределена по источникам облучения следующим образом: естественные источники – 70 %, медицинские процедуры – 29 %, проведенные испытания ядерного оружия – 0,3 %, профессиональное облучение – 0,06 %, атомная энергетика – 0,006 %.

Допустимые уровни облучения

- Все страны, использующие атомную энергию, имеют национальные нормы и правила радиационной безопасности, основанные на рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). В России действуют «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)» и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)». Эти документы устанавливают пределы техногенного облучения (на которое можно влиять при планировании хозяйственной деятельности) и не рассматривают дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий.
- Исходя из условий контакта с источниками ионизирующих излучений, выделяются три группы облучаемых лиц:
- – персонал (профессиональные работники) – лица, которые постоянно или временно работают с источниками ИИ – категория А;
- – ограниченная часть населения – проживающие в зоне наблюдения, непосредственно не работающие с источниками ИИ, но по условиям проживания, профессиональной деятельности могут подвергаться воздействию источников ИИ или отходов – категория Б;
- – население – население области, республики, страны – категория В.

Основные пределы доз

Нормируемая величина	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: - в хрусталике глаза - в коже - в кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

Примечание к таблице

- 1. Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.
- 2. Основные пределы для персонала группы Б равны 1/4 значений для персонала группы А.
- 3. Пределы доз учитывают поступления от источников внешнего и внутреннего облучения.
- Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности 50 лет 1000 мЗв (десятикратное превышение дозы естественного облучения), а для населения 70 мЗв за 70 лет жизни (половина дозы естественного облучения).
- Дополнительные ограничения облучения вводят для женщин и учащихся.
- Для гарантированного непревышения пределов доз облучения населения на территории вокруг радиационно опасных объектов выделяют санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения, в которых постоянно контролируют интенсивности потоков ионизирующих излучений и загрязнение среды радионуклидами.