

ОСНОВНЫЕ ЗНАНИЯ О ЯДЕРНОЙ ОПАСНОСТИ

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Природа радиоактивности, радиоактивные и стабильные атомы, типы радиации	1
2.	Взаимодействие излучения с веществом	2
3.	Источники излучения	3
4.	Облучение человека	7
5.	Действие радиации на здоровье	13
6.	Измерение радиации	14
7.	Ядерные аварии - предупреждение, готовность и реагирование	15
8.	Что мы должны делать в случае ядерной аварии?	18
	Дополнения	21

1. Природа радиоактивности, радиоактивные и стабильные атомы, типы радиации

Все вещества состоят из атомов. Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов, окружающих его. Атомное ядро состоит из положительно заряженных протонов и нейтронов, которые не имеют заряда. Заряд ядра определяется количеством протонов в ядре (см. Дополнения).

Химические свойства атомов зависят только от количества электронов, равного числу протонов в ядре. Есть атомы с одинаковыми химическими свойствами, но различным количеством нейтронов в ядре, следовательно, они имеют разные физические свойства. Некоторые из этих атомов, сохраняя одинаковые химические свойства, могут быть нестабильными или радиоактивными.

Радиоактивность - это способность некоторых ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра или в те же, но с меньшей энергией. Избыточная энергия испускается в виде альфа, бета или гамма-излучения (в особых случаях нейтронов или других частиц).

Атомы с одинаковыми химическими свойствами и разным числом нейтронов называются изотопами или нуклидами. Радиоактивные изотопы называются радионуклидами. К примеру, существует три основных изотопа водорода. Легкий изотоп имеет ядро только из одного протона и стабилен, его массовое число $A = 1$ и символ ${}^1\text{H}$. Дейтерий - это еще один изотоп водорода. Он имеет ядро, которое состоит из протона и нейтрона, и также стабилен. Его массовое число $A = 2$ и его символ ${}^2\text{H}$. Однако изотоп водорода, который имеет ядро, состоящее из одного протона и двух нейтронов, является нестабильным. Это тритий, его символ ${}^3\text{H}$. Стабильным изотопом йода является ${}^{127}\text{I}$, изотоп ${}^{131}\text{I}$ (или йод-131) является радиоактивным. Оба изотопа имеют одинаковые химические свойства. Элементы в природе это, в некоторых случаях, смесь стабильных и долгоживущих изотопов, например, обычный калий, который присутствует в минералах и

продуктах питания, это смесь стабильных изотопов ^{39}K и ^{41}K и долгоживущего радиоактивного ^{40}K .

В случае, если изотоп радиоактивный, какова единица измерения радиоактивности? Один распад в секунду - это единица радиоактивности, которая называется беккерель (символ Бк). Устаревшая единица радиоактивности - кюри (Ки). 1 Ки равен 3.7×10^{10} Бк. Различные радиоактивные изотопы (радионуклиды) имеют разные скорости распада. Скорость распада характеризуется **периодом полураспада**, который равен времени, за которое половина из всех радионуклидов распадётся и превратится в другие атомы. За один период полураспада радиоактивность уменьшается в два раза, за 2 периода полураспада - уменьшается в 4 раза, за 3 - в 8 раз и т. д. Короткоживущие радионуклиды имеют более высокую радиоактивность, чем такое же количество долгоживущих радионуклидов. К примеру, йод-131 (^{131}I) имеет период полураспада 8.02 дня, а цезий-137 (^{137}Cs) имеет период полураспада 30.07 лет, так что ^{131}I имеет в 1370 раз большую радиоактивность, чем ^{137}Cs .

Ядерная энергия может быть высвобождена не только при радиоактивном распаде, но и в ядерных реакциях. Это происходит, когда одни ядра взаимодействуют с другими и образуют новые ядра, при этом также может выделяться энергия. Наше Солнце и другие звезды светят в результате ядерных реакций. Все существующие ядерные реакторы производят энергию благодаря контролируемой цепной ядерной реакции деления, которая, к сожалению, также производит большое количество отходов с очень высокой радиоактивностью – главным источником радиационной опасности. Теоретически есть возможность создания ядерных реакций, которые будут производить энергию без радиоактивных отходов, но пока никто не знает, как это сделать. Это хорошая тема для будущих исследований.

2. Взаимодействие излучения с веществом

Ионизирующее излучение - поток альфа, бета или гамма частиц - является в основном результатом радиоактивного распада ядер. Кроме того, источниками ионизирующего излучения могут быть ядерные реакции, такие как деление ядер или ядерный синтез, а также установки, в которых ускоряются заряженные частицы.

Энергия радиоактивного распада выделяется как радиация в трех основных формах: альфа-частицы, бета-частицы и гамма-лучи с различными энергиями.

Заряженные частицы, такие как бета-частицы (поток электронов или антиэлектронов) и альфа-частицы (поток ядер гелия-4), непосредственно взаимодействуют с атомными электронами вещества и передают энергию для ионизации или возбуждения атомов и молекул. Поскольку альфа-частицы тяжелые и имеют двойной заряд, они сильнее взаимодействуют с веществом, производят большее количество ионов на единицу длины их пути. В результате они имеют наименьшую проникающую способность. Например, альфа частицы из ^{226}Ra могут пройти только около 4 см в воздухе и не проникают через обычный лист бумаги. Они смогут пройти только около 4 мкм ткани тела. Как и альфа-частицы, бета-частицы имеют среднее расстояние (диапазон) прохождения через вещество, которое зависит от их энергии. Например, бета-частицы из распада ^{137}Cs смогут пройти до 8 м в воздухе и около 10 мм в воде и будут полностью поглощаться 1 мм стали.

Гамма-кванты (лучи) и рентгеновские лучи не ионизируют все атомы вдоль своего пути как альфа или бета-частицы. Только некоторые из них взаимодействуют с атомными электронами и передают энергию электрону, но значительная часть излучения проходит через вещество без изменения энергии. Гамма-лучи имеют высокую проникающую способность, особенно гамма-лучи с высокой энергией. Они также имеют меньше возможностей для взаимодействия с живой тканью. Так гамма-излучение от ^{137}Cs потеряет половину своей интенсивности после прохождения 5 см бетона или 1,7 см стали, или 1 см свинца.

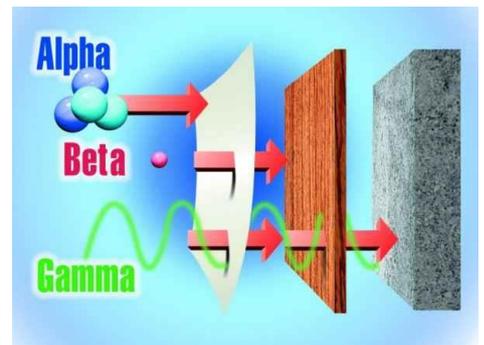


Рис.1 Взаимодействие излучения с веществом

Нейтроны не взаимодействуют непосредственно с электронами вещества, и они не могут непосредственно ионизировать атомы. Они взаимодействуют с атомными ядрами и после этого передают энергию веществу. Нейтроны могут образовывать радиоактивные ядра, которые испускают ионизирующее излучение в результате распада.

Когда энергия излучения передается веществу, происходят химические изменения на атомарном и молекулярном уровне. Если воздействие достаточно большое, эти изменения можно наблюдать. Например, если стекло сильно облучить, оно меняет цвет.

Количество поглощаемой на грамм вещества энергии излучения называют поглощенной дозой. Поглощенная доза является мерой способности излучения нанести повреждения живым тканям и мерой радиационной опасности. Грей (Гр) имеет размерность (Дж/кг) и является единицей поглощенной дозы в системе СИ. Это количество излучения, при котором 1 джоуль энергии поглощается в 1 килограмме вещества. Рад является устаревшей единицей дозы и равен 0.01 Дж поглощенному в 1 кг вещества. $100 \text{ рад} = 1 \text{ Гр}$.

3. Источники излучения

Естественная (природная) радиация

Земная радиация. Когда возникла наша Вселенная, были образованы не только стабильные изотопы, но и радиоактивные. Эти стабильные и радиоактивные изотопы были веществом, из которого была сформирована наша планета Земля. С того времени большинство радионуклидов распались, но некоторые из них, такие как уран-235, уран-238, торий-232 и калий-40, которые имеют очень большой период полураспада, по-прежнему существуют. Период полураспада урана-238 около 4.5 миллиардов (10^9) лет, урана-235 - 0.71×10^9 лет, тория-232 - 14×10^9 лет и калия-40 - 1.3×10^9 лет. Когда распадаются радионуклиды урана-235, урана-238 или тория-232, они производят радионуклиды, которые в свою очередь также радиоактивные. Уран и торий иницируют цепочки радиоактивных семейств, которые почти всегда присутствуют, если есть родительский радионуклид. Хотя многие из дочерних радионуклидов короткоживущие, например, радон, они присутствуют в окружающей среде, потому что постоянно образуются из долгоживущих родительских радионуклидов (см. Дополнения, Таблица 1).

Радон, невидимый газ, без запаха, примерно в восемь раз тяжелее воздуха, является наиболее важным радионуклидом в облучении человека (он дает около

половины суммарной дозы облучения человека от природной радиоактивности). Он имеет две основные формы - радон-222, один из радионуклидов в семействе, сформированном распадом U-238, и радон-220, произведенный при распаде семейства Th-232.

Радон является продуктом распада урана или тория и вырабатывается любыми материалами, содержащими уран или торий, такими как скалы, почва, строительные материалы и др. Все эти материалы испускают радон в атмосферу. Поскольку радон инертный газ (также известен как благородный газ), он может выйти из земли в атмосферу. Количество радона, которое испускается из земли, зависит от содержания в ней урана или тория. Концентрация радона в воздухе зависит также от притока свежего воздуха. В подвалах, пещерах и шахтах, которые имеют плохую вентиляцию воздуха, концентрация радона может достигать высокого уровня. Эффективная вентиляция в шахтах часто бывает необходима для поддержания концентрации радона ниже тех уровней, которые опасны для рабочих.

Радон довольно быстро распадается, образуя серию дочерних радионуклидов (см. Дополнения, Таблица 1). После того, как радионуклиды потомства радона образованы в атмосфере, они захватываются частицами пыли или воды в воздухе, которые могут непосредственно вдыхаться человеком или осаждаться на почву и растения. Дождь эффективно очищает атмосферу от радона и дочерних продуктов. Концентрация радона в помещениях в среднем примерно в 10-20 раз выше, чем на открытом воздухе.

Космическое излучение. Еще одним естественным источником излучения являются ядерные реакции в звездах. Ядерные реакции производят космическое излучение, которое состоит из протонов и электронов с высокими энергиями, других частиц, гамма-лучей и рентгеновского излучения. Наша ближайшая звезда - Солнце - производит большую часть космического излучения, достигающего Земли. Магнитное поле и атмосфера Земли защищают людей от космического излучения, без этого люди не смогли бы жить на поверхности земли.

Интенсивность космического излучения значительно возрастает, когда вы находитесь на большой высоте - в самолете или в горах. Космическое излучение также производит в атмосфере некоторые радионуклиды, такие как ^{14}C и ^3H .

Искусственная (антропогенная) радиация

Антропогенные радионуклиды являются результатом деятельности человека. Основными источниками искусственного излучения являются производство ядерного оружия и ядерные реакторы, а также их сопутствующие производства (добыча урана, производство и переработка ядерного топлива, радиоактивные отходы). Кроме того, радионуклиды и другие источники излучения, такие как генераторы рентгеновского излучения или ускорители заряженных частиц, широко используются в промышленности, медицине и военных.

Многие из этих объектов создают радиоактивные отходы и выбрасывают некоторое контролируемое количество радионуклидов в окружающую среду. Радиоактивные материалы используются и в потребительских товарах, таких как детекторы дыма. Последствия ядерных испытаний и ядерных аварий также являются источниками антропогенного излучения.

Ядерные реакторы являются самым большим источником излучения и источником радиационной опасности. На сегодняшний день для производства ядерной энергии в основном используется цепная реакция деления ядер. Тяжелое ядро, например, уран-235 (^{235}U), расщепляется на два более легких ядра и несколько нейтронов (рис.2). Избыток ядерной энергии в конечном итоге превращается в тепловую энергию и затем - в электроэнергию. При этом основной проблемой является безопасность, так как образованные при делении ядра являются радиоактивными.

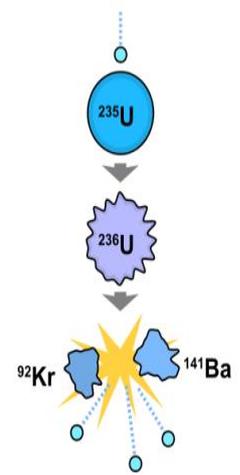


Рис.2 Деление ядра

В настоящее время около 16% всего электричества в мире производится таким образом. В хранилищах находятся около 300 000 тонн высокорadioактивного отработанного ядерного топлива. Количество отработанного топлива увеличивается ежегодно примерно на 12 000 тонн.

На атомной электростанции источником тепла является ядерный реактор. Источник тепла используется для производства пара. Турбогенератор использует энергию пара для производства электричества (см. Дополнения, Схема реактора). Питательный насос обеспечивает циркуляцию воды через реактор и другие системы.

Ядерное топливо обычно используется в виде двуоксида урана (UO_2). Из двуоксида урана изготовлены цилиндрические топливные таблетки. Из этих таблеток собраны тепловыделяющие элементы (стержни), которые образуют топливную сборку (рис.3).



Рис.3 Ядерное топливо

Каждый реактор содержит огромное количество радионуклидов. Если бы они были розданы каждому человеку в мире, люди получили бы значительное облучение. Основные радионуклиды в реакторе - это продукты деления, которые имеют разные свойства: газы - как ксенон-133 (^{133}Xe), летучие элементы - как йод-131 (^{131}I) или цезий-137 (^{137}Cs), или более твердые - как стронций-90 (^{90}Sr) или изотопы плутония. В таблице 2 (Дополнения) представлен состав наиболее радиологически важных радионуклидов Чернобыльского реактора № 4 до взрыва и в выбросе на момент аварии.

Основной проблемой безопасности реактора является недопущение выброса радионуклидов в окружающую среду. Четыре барьера безопасности предотвращают выброс радиоактивных продуктов деления из реактора в окружающую среду: топливные таблетки, оболочка тепловыделяющих элементов, корпус реактора и защитное здание (контаймент).

Тепловыделяющие стержни удерживают 99% продуктов деления в топливных таблетках и 1% - в оболочке. Если активная зона реактора недостаточно для охлаждения покрыта водой, она может перегреться и привести к разрушению оболочки тепловыделяющих элементов, а затем - и к расплавлению топлива. Даже если тепловыделяющие элементы будут разрушены, останутся еще два барьера, ограничивающие выброс радионуклидов в атмосферу. Активная зона большинства

реакторов находится в корпусе из стали толщиной около 30 сантиметров. Защитное здание (контаймент) является последним барьером между радиоактивными продуктами и окружающей средой (не все типы реакторов имеют контаймент, и они имеют меньше защитных барьеров). Он сделан из усиленного бетона высокой плотности толщиной около двух метров. Контаймент построен так, чтоб выдержать стихийные бедствия и техногенные аварии (например, падение самолета). Даже если повреждены три первых барьера, контаймент будет препятствовать значительным выбросам продуктов деления в окружающую среду.

Средняя доза облучения населения за счет всей ядерной промышленности и искусственных радиоактивных источников составляет около 1% от дозы за счет естественной радиации, но это не в случае ядерной или радиационной аварии.

Ядерной или радиационной аварией называют событие, при котором происходит выброс из реактора (установки) значительного количества радионуклидов, облучение персонала и/или населения.

Радиологические (радиационные) аварии инициируются потерянными источниками излучения, авариями во время перевозки радиоактивных источников или материалов, отказами оборудования или человеческими ошибками при эксплуатации источников излучения. Источники излучения, часто их называют «закрытыми источниками», это, как правило, небольшие металлические контейнеры, в которых запечатано небольшое количество радиоактивного материала. Аварии с потерянными источниками - это когда радиоактивный источник потерян или украден. Люди, найдя эти источники и не зная, что это, могут их даже открыть и серьезно пострадать от радиационного воздействия.

Ядерные реакторы являются наибольшими источниками радиации и ядерных аварий. Если повреждены барьеры безопасности, препятствующие выбросу радиоактивности из реактора, в первую очередь радиоактивные газы и летучие вещества, такие как ^{131}I или ^{137}Cs , будут выброшены в окружающую среду.

Самые серьезные ядерные аварии связаны с расплавлением активной зоны реактора. Авария с расплавлением активной зоны реактора возникает, когда тепло, выделяемое ядерным реактором, превышает количество тепла, которое отводится системой охлаждения, и температура, по крайней мере, одного из ядерных тепловыделяющих элементов превышает температуру его плавления. Авария с расплавлением активной зоны может произойти даже после того, как реактор остановлен, потому что топливо продолжает выделять тепло за счет распада радионуклидов. Когда ядерный реактор остановлен, цепная реакция ядерного деления не происходит, однако очень мощный источник тепла по-прежнему будет существовать за счет радиоактивного распада продуктов деления в активной зоне. В момент остановки реактора доля тепла распада будет составлять около 6,5% от полной мощности реактора, если он имел длительную и устойчивую историю эксплуатации. Через один час после остановки реактора доля тепла распада будет составлять около 1,5% от полной мощности реактора. Через день тепло распада уменьшится до 0,4%, и через неделю оно будет лишь 0,2%. Темпы производства тепла будут и далее медленно снижаться с течением времени, скорость зависит от соотношения различных продуктов деления в реакторе и их соответствующих периодов полураспада.

Нагревание топливных таблеток приводит к выходу из них некоторых продуктов деления. Радиоактивные ксенон и йод быстро покинут топливные таблетки, количество

^{134}Cs и ^{137}Cs в промежутке между оболочкой и топливом будет увеличиваться. Если оболочка из циркониевого сплава, в которой находятся топливные таблетки, будет повреждена, то происходит выброс радиоактивных газов, йода и цезия.

Потенциальная опасность от аварии на ядерном реакторе - воздействие радиации. Это воздействие может исходить от выброса радиоактивных материалов из реактора в атмосферу, обычно такой выброс характеризуется формированием шлейфа (облака). Размер загрязненной выбросом области определяется количеством и свойствами выброшенного из реактора радиоактивного материала, направлением и скоростью ветра, погодными условиями - дождь, снег, которые могут быстро осаждают радиоактивные материалы на землю, вызывая увеличение плотности выпадения радионуклидов. Значительное загрязнение может быть на расстоянии до 30 км от места аварии.

Дозы облучения, которые могут быть получены населением в первые дни после аварии на ядерном реакторе, поступают в основном из пяти основных источников:

- 1) внешнего гамма-излучения от радиоактивного облака или шлейфа, называемое свечение облака;
- 2) внешнего гамма-излучения от радиоактивного материала, выпавшего из облака на землю, называемое свечение земли;
- 3) внешнего бета и гамма-излучения от радиоактивного материала на коже, одежде, зданиях или деревьях;
- 4) внутреннего облучения от вдыхания радиоактивных веществ в облаке;
- 5) внутреннего облучения от питья загрязненной воды и потребления загрязненных продуктов питания.

Во время выброса дозы облучения от свечения облака, свечения земли, загрязненной кожи, одежды и вдыхания радиоактивных веществ являются основными источниками опасности. После того, как облако прошло, дозы от свечения земли и потребления в пищу загрязненных продуктов, особенно молока, становятся наиболее опасными.

Дозы от внешнего и внутреннего облучения можно предотвратить или уменьшить введением срочных защитных мер. Это защитные меры, которые должны быть выполнены безотлагательно или немедленно. Они включают: укрытие, эвакуацию и блокирование щитовидной железы. Дозы от питания можно уменьшить путем ограничения потребления местных (загрязненных) продуктов питания.

Радиационная авария может произойти там, где используются, хранятся или перевозятся радиоактивные материалы. Больницы, университеты, научно-исследовательские лаборатории, промышленность, автомобильные, железные дороги, морские суда и военные объекты могут быть местом радиационной аварии в дополнение к атомным электростанциям и другим ядерным объектам.

4. Облучение человека

На протяжении истории жизни на Земле живые организмы были постоянно подвержены облучению космическим излучением, радионуклидами, производимыми космическим излучением в атмосфере, и облучению от естественных радионуклидов, которые повсеместно распространены во всех компонентах живой и неживой окружающей среды. Люди адаптировались к естественной радиации. Несмотря на то, что высокие

уровни радиации определенно вредны для живых организмов, естественная радиация имеет большое значение для жизни. К примеру, естественная радиация способствовала основным процессам биологической эволюции.

Количество энергии излучения, переданное на единицу массы вещества, называется «поглощенной дозой». Единица поглощенной дозы - грей (Гр), который равен 1 джоулю на килограмм. Различные ионизирующие излучения - бета, гамма, рентгеновское, нейтроны или альфа-частицы - отличаются способом, каким они взаимодействуют с биологическими материалами, поэтому равные поглощенные дозы не всегда дают равные биологические эффекты. Также необходимо учесть различную радиочувствительность органов человека, поэтому мерой биологического действия излучения является эффективная доза. Эффективная доза равна поглощенной дозе, помноженной на коэффициент, который учитывает относительную эффективность биологических повреждений.

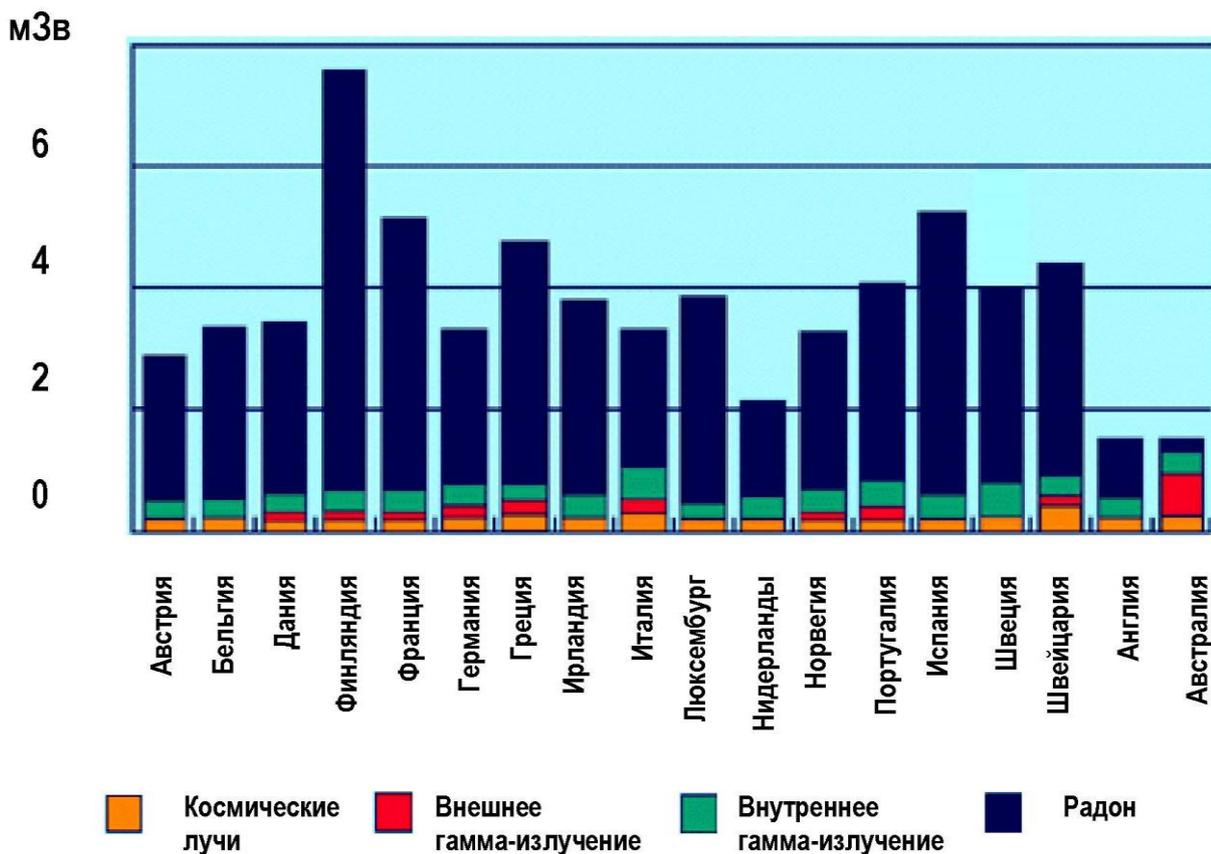
Единицей измерения эффективной дозы является зиверт (Зв). Для бета, гамма и рентгеновского излучения 1 Гр совпадает с 1 Зв, но нейтроны и альфа-частицы наносят большие повреждения живой ткани, и для них 1 Гр равен от 5 до 20 Зв.

Облучение естественными источниками фонового излучения

Фон или естественная радиация естественным образом присутствуют в окружающей среде. Его интенсивность может сильно различаться. Люди, живущие в районах, где много гранита или черного ториевого песка, получают большие дозы естественной радиации от земли, в то же время люди, живущие или работающие на больших высотах, могут получить больше космического излучения. Основной вклад в наше облучение от естественных источников обусловлено радоном, газом, который улетучивается (эманурует) из земной коры и присутствует в воздухе, которым мы дышим. Более высокая концентрация радона в воздухе помещений. Она зависит от типа дома, строительных материалов, вентиляции воздуха и может варьироваться в десятки раз.

Естественное фоновое излучение является основным источником облучения для большинства людей. Уровни облучения обычно составляют 1,5 - 3,5 мЗв/год

СРЕДНИЕ ГОДОВЫЕ ДОЗЫ ОТ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИАЦИИ



(1 Зв=1000 мЗв), средняя годовая доза - 2,4 мЗв/год, но она может быть и более чем 50 мЗв/год. Высокие уровни фонового облучения получает население в штатах Керала и Мадрас в Индии, где около 140 000 человек получают дозы в среднем более 15 мЗв/год от внешнего гамма-излучения в дополнение к аналогичным дозам от радона. Сопоставимые уровни в Бразилии и Судане, где среднее облучение до 40 мЗв/год для многих людей. Известны несколько мест в Иране, Индии и Европе, где естественное фоновое излучение дает годовую дозу от 50 мЗв до 260 мЗв (в Рамсаре, Иран). В Финляндии среднегодовые дозы облучения примерно в четыре раза больше, чем в Великобритании. Однако нет никаких свидетельств об увеличении числа раковых заболеваний или других проблем со здоровьем, связанных с этими высокими уровнями облучения.

Облучение в результате ядерных аварий

В случае возникновения ядерной аварии разрушены барьеры безопасности, созданные для защиты людей и окружающей среды от излучения реактора, и часть радионуклидов выброшена в окружающую среду.

Облучение населения и персонала в значительной степени зависит от масштабов аварии и других факторов. История ядерной энергетики имеет опыт трех тяжелых аварий: на атомной электростанции Три Майл Айленд, США в 1979 году; Чернобыльской АЭС, Советский Союз в 1986 году; на атомной электростанции Фукусима -1, Япония в 2011 году.

Самая значительная авария в Соединенных Штатах произошла на коммерческой атомной электростанции Три Майл Айленд в 1979 году. В результате сбоя оборудования и ошибки оператора, охлаждающая вода, которая должна покрывать активную зону реактора, вытекала из системы реактора. Эта радиоактивная вода, почти 260 000 литров, в конечном итоге попала в цокольный этаж здания контаймента и вспомогательные здания.

Потеря охлаждающей воды в зоне реактора продолжалась до тех пор, пока топливо активной зоны реактора уже не было полностью покрыто водой. Без достаточного охлаждения, обеспечиваемого водой, топливные элементы расплавились. Большое количество воды с радиоактивными материалами вытекло в здание контаймента. Контаймент выполнил свое назначение - и выброс радиоактивных веществ в атмосферу был небольшим.

В конечном итоге было выброшено до 370 ПБк ($1 \text{ ПБк} = 10^{15} \text{ Бк}$) радиоактивных благородных газов и 0,55 ТБк ($1 \text{ ТБк} = 10^{12} \text{ Бк}$) ^{131}I . Средняя доза облучения людей, живущих в радиусе десяти миль (16 км) около станции, была около 0,08 мЗв и не более чем 1 мЗв для любого человека. Основываясь на этих данных, в научных публикациях воздействие выпадений на здоровье людей оценивалось как один или два возможных дополнительных случаев смерти от рака в районе 16 км вокруг атомной станции.

26 апреля 1986 года наиболее тяжелая в истории ядерной энергетики авария произошла на четвертом блоке Чернобыльской атомной электростанции в бывшем Союзе Советских Социалистических Республик, недалеко от общих границ Беларуси, Российской Федерации и Украины. В результате взрыва реактор был полностью разрушен и радионуклиды были выброшены в окружающую среду.

Основной выброс радионуклидов из чернобыльского реактора продолжался в течение десяти дней после взрыва 26 апреля. Он включал радиоактивные газы, аэрозоли и частицы топлива. В сумме было выброшено около 14 ЭБк ($1 \text{ ЭБк} = 10^{18} \text{ Бк}$) радиоактивных материалов, в том числе 1,8 ЭБк ^{131}I , 0,085 ЭБк ^{137}Cs , 0,01 ЭБк ^{90}Sr и 0,003 ЭБк изотопов плутония. Радиоактивные благородные газы внесли около 50% в общий выброс (см. Дополнения, Таблица 2).

Чернобыльская авария стала результатом существенных недостатков в конструкции реактора. Кроме того, операторы не были информированы о недостатках конструкции, и их действия не полностью соответствовали всем требованиям эксплуатации. Сочетание этих факторов привело к самой тяжелой ядерной аварии, когда в течение нескольких секунд был полностью разрушен реактор.

Выброс и выпадение радиоактивного йода стал причиной наиболее неотложных мер, однако эта проблема была ограничена только первым месяцем после аварии из-за быстрого распада наиболее важного изотопа ^{131}I . Радиоактивный йод быстро перешел в молоко, что привело к большим дозам облучения щитовидной железы у тех, кто потреблял молоко (особенно детей). Высокие уровни загрязнения были в Беларуси, России и Украине. В остальной части Европы повышенные уровни радиоактивного йода в молоке наблюдались в районах, где молочный скот пасся на открытом воздухе. Во Франции, Германии, Польше и других странах Европы были осуществлены меры радиационной защиты.

Более 200 000 квадратных километров Европы были загрязнены ^{137}Cs (период полураспада 30 лет) до уровня выше 37 кБк/м^2 . Большая часть этой территории была в

трех наиболее пострадавших странах - Беларуси, России и Украине. Уровни осадения были чрезвычайно разнообразны и выше в районах, где был дождь в то время, когда проходили загрязненные воздушные массы. Большая часть стронция и плутония выпала в пределах 30 км от разрушенного реактора за счет более крупных размеров частиц.

В период 1986-1987 годов около 350 000 человек (персонал АЭС, пожарные, медицинские и прочие работники) были вовлечены в работы по ликвидации последствий аварии. Весной и летом 1986 года 116 000 человек были эвакуированы из наиболее загрязненных населенных пунктов в 30-км зоне отчуждения. Позже были дополнительно переселены еще около 220 000 людей. Через 25 лет после аварии около пяти миллионов жителей Беларуси, России и Украины живут на территориях, загрязненных до уровней более чем 37 кБк/м^2 ^{137}Cs (уровни нормализованы к 1986 году).

Синдром острой лучевой болезни (ОЛБ) был диагностирован у 134 аварийных работников, подвергшихся облучения всего тела от 1 до 16 Гр. Двадцать восемь пациентов умерли в течение трех месяцев после облучения. Дозы облучения населения Чернобыльскими радионуклидами были намного ниже, чем у аварийных работников, и ОЛБ у них не наблюдалось (возможно, по причине недостаточно эффективной системы мониторинга). Рак щитовидной железы у тех, кто подвергся облучению ^{131}I в детском возрасте, признается как основной медицинский эффект аварии, что подтверждено результатами многих национальных и международных исследований. За 25 лет после аварии в Беларуси, России и Украине были диагностированы почти 6 000 случаев рака щитовидной железы у лиц в возрасте до 18 лет на момент аварии.

Ядерная авария на Фукусиме-1 (Dai-ichi) была результатом серии отказов оборудования, вызванных последствиями сильного землетрясения магнитудой 9.0 баллов и цунами 11 марта 2011 года, что привело к выбросу радиоактивных материалов из атомной электростанции Фукусима-1. Атомная станция была затоплена волнами цунами, электропитание для охлаждения реакторов было утрачено, и они начали перегреваться за счет энергии распада продуктов деления, созданных до остановки реакторов. Разрушения, вызванные наводнением и землетрясением, препятствовали оказанию внешней помощи.

Вскоре появились признаки частичного расплавления активной зоны реакторов 1, 2 и 3; взрывы водорода разрушили верхнюю часть зданий реакторов 1, 3 и 4; взрыв повредил контеймент реактора 2; несколько пожаров возникли в здании реактора 4. Несмотря на то, что изначально они были остановлены, реакторы 5 и 6 начали перегреваться. Топливные стержни, хранящиеся в бассейнах-охладителях в каждом здании реактора, также начали перегреваться, так как уровень воды в бассейнах упал.

Общий выброс из реакторов АЭС Фукусима-1 был оценен как 0,16 ЭБк для ^{131}I и 0,015 ЭБк для ^{137}Cs . Около 7 800 аварийных рабочих получили среднюю дозу приблизительно 7,7 мЗв. Зафиксировано, что тридцать человек получили дозы более 100 мЗв. Сообщалось, что трое рабочих получили радиационные ожоги на ногах от непредусмотренного облучения сильно загрязненной водой в подвале турбинного зала. После четырех дней стационарного лечения они были выписаны, при этом не сообщалось о вероятности долгосрочных значительных последствий. Было подтверждено, что три рабочих погибли от ранений (не связанных с облучением).

Чтобы избежать возможного облучения населения, японские власти приняли предупредительные меры - объявили эвакуацию вначале в зоне 3 км, затем - 10 км и

наконец, - в 20 км от станции, а также об укрытии и подготовке к эвакуации вначале в зоне 20 км, затем - 30 км от станции. В конечном итоге более 70 000 человек были эвакуированы после аварии.

Самая тяжелая радиационная авария произошла в Гоянии, штат Гояс, Бразилия, 12-29 сентября 1987 года. Радиотерапевтическое устройство осталось в клинике, которая была заброшена, и затем здание разрушено. Устройство имело источник цезия-137 активностью 1375 кюри, закрытый в два вложенных друг в друга контейнера из нержавеющей стали.

Два человека 12 сентября демонтировали устройство, извлекли источник и принесли его домой. 13 сентября у обоих началась рвота. Материал устройства был продан на склад металлолома, принадлежащий Д., который заметил ночью синее свечение, исходящее из контейнера. Он и его жена М. стали рассматривать материалы ближе, пригласив еще несколько человек для изучения капсулы. 21 сентября радиоактивный материал источника был извлечен и распространен среди нескольких человек, некоторые из которых нанесли его на свою кожу. Многие люди заболели к 28 сентября. Были осмотрены около 112 800 человек, из которых 129 были признаны загрязненными, 20 были госпитализированы. В итоге 5 человек погибли, 23 получили локальные радиационные ожоги, и потребовалась ампутация пальцев. Во время госпитализации многие пациенты страдали от депрессии и других эмоциональных проблем.

В таблице 3, как основа для оценки опасности радиации, представлены дозы облучения от различных природных и антропогенных источников.

Таблица 3. Дозы облучения от различных источников радиации

Источник	Типичная доза (мЗв)
10-часовой полет в самолете	0.03
Рентгеновское обследование грудной клетки	0.05
Томография	10
Годовая доза от естественного фона	2.4
Годовая доза от космического излучения на уровне моря	0.4
Годовая доза работника атомной станции (нормальная эксплуатация)	1
Годовая доза от космического излучения в Мехико (2 300 м)	0.8
Аварийное облучение рабочих при Чернобыльской аварии	до 16 000
Средняя годовая доза для населения наиболее загрязненных районов вокруг Чернобыля в 1986 году (около 150 000 человек)	16

5. Действие радиации на здоровье

Ионизирующее излучение действует на людей путем передачи энергии тканям тела, что может стать причиной повреждения или гибели клеток. В некоторых случаях это может не вызвать воздействия на здоровье человека, в других случаях клетки могут выжить, но стать аномальными, временно или постоянно, эти аномальные клетки могут стать злокачественными. Большие дозы радиации могут привести к обширным клеточным повреждениям и к смерти. От меньших доз человек может выжить, но поврежденные клетки увеличивают вероятность рака. Степень повреждения зависит от количества переданной энергии, длительности облучения, мощности дозы и конкретного органа(ов), которые облучаются.

Существует два типа эффектов воздействия облучения на здоровье. Первые называются детерминированными эффектами. Детерминированные эффекты - это результат острого облучения, которое является результатом воздействия большой однократной дозы, или серии доз, за короткий период времени. В большинстве случаев значительное острое облучение (более 1 зиверта) может вызвать как непосредственные, так и отдаленные эффекты.

Для людей и других млекопитающих острое облучение, если оно достаточное, может вызвать быстрое развитие острой лучевой болезни (ОЛБ), которая проявляется в желудочно-кишечном расстройстве, бактериальной инфекции, кровоизлияниях, анемии и других признаках. Непосредственные проявления происходят относительно быстро (в течение дней, недель) после воздействия большой дозы при высокой мощности дозы. При большой мощности дозы повреждения ткани от радиации является настолько обширными, что телу не хватает времени для восстановления тканей, и таким образом эффекты становятся видимыми со многими признаками термических ожогов, но значительно более глубокими и продолжительными. Детерминированные эффекты часто локализованы на теле в зависимости от схемы облучения и проникновения излучения. Отдаленные биологические эффекты могут включать катаракту, временное бесплодие, рак и генетические эффекты.



Рис.4 Пример детерминированных эффектов

Чрезвычайно высокий уровень острого облучения может привести к смерти через несколько часов, дней или недель. Поскольку облучение действует на разных людей по-разному, поэтому невозможно определить, какая доза будет смертельной в конкретном случае. Однако считается, что 50% людей умрет в течение тридцати дней после получения дозы от 3,5 до 5 Зв на все тело за время облучения от нескольких минут до нескольких часов. Такие последствия будут варьироваться в зависимости от здоровья людей до облучения и медицинского обслуживания, полученного после облучения. Такие же дозы облучения на отдельные части тела, скорее всего, приведут к более локализованным эффектам, таким как радиационные ожоги кожи.

Чем выше дозы облучения, тем более тяжелые последствия для ткани и раньше появляются симптомы (при очень высоких дозах облучения они могут появиться в течение

нескольких часов). Однако при низких дозах и мощности дозы эти эффекты вообще не возникают, существует порог дозы, ниже которого детерминированные эффекты не существуют. Это имеет большое значение для задач аварийного реагирования - стремиться поддерживать дозы ниже порога детерминированных эффектов. Детерминированные эффекты требуют специализированного лечения для восстановления пострадавшего.

Вторым типом эффектов воздействия облучения на здоровье являются, так называемые, стохастические эффекты, такие как рак или наследственные эффекты у будущего потомства. Они в основном являются результатом хронического облучения, это непрерывное или с перерывами облучение малыми дозами в течение длительного периода времени. Хроническое облучение производит только эффекты, которые можно наблюдать через некоторое время после первоначального воздействия. К ним относятся генетические эффекты и такие, как лейкемия и рак.

Стохастические эффекты характеризуются их поздним проявлением (через несколько лет или десятилетий) и особенно тем, что последствий вообще может не быть. Излучение может вызвать повреждение клеток тела, которые не видны, но изменяют функции этих клеток. Эти изменения могут проявиться значительно позже, как например рак. Следует обратить внимание, что мы говорим - эффекты «могут» быть, нет определенности в их возникновении. Для стохастических эффектов вероятность их появления увеличивается для более высоких доз облучения. Таким образом, при низких дозах есть очень малая вероятность развития рака, а при более высоких дозах существует более высокая вероятность. Однако не существует «безопасной» дозы, или порога дозы, ниже которого дополнительные случаи рака не возникают.

Отличается ли рак, индуцированный радиацией, от вызванного другими факторами (например, химические вещества, биологические агенты, природные генетические изменения и т. д.)? Ответ - они неотличимы, в отличие от детерминированных эффектов, которые можно легко определить по специфическим последствиям облучения. Это означает, что единственным способом обнаружения стохастических эффектов может быть только изучение статистики заболеваний раком у населения, тщательно регистрируя заболевания раком и соответствующие дозы облучения.

6. Измерение радиации

Для оценки радиологической опасности необходимо измерить дозы внешнего облучения, загрязнение почвы, воды, продовольствия и т.д. Существует широкий спектр инструментов, используемых для измерения различных видов излучения, в различных энергетических диапазонах и с различной точностью. Ниже приведены несколько примеров.

В рентгенографии, например при рентгене грудной клетки, различия в проникающей способности рентгеновских лучей в костной и мышечной ткани порождают изображение на фотопленке или другом устройстве. Ионизационная камера собирает заряд, производимый излучением в газе. Другие инструменты измеряют сцинтилляции в кристаллах, производимые излучением.

Для оценки внешнего облучения от радиоактивного облака или загрязнения поверхности используются дозиметры.

Для оценки внутреннего облучения мы должны знать концентрацию различных радионуклидов, таких как ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu в воздухе, воде, продуктах питания. Различные радионуклиды имеют различную степень опасности при внутреннем облучении, это зависит от их метаболизма в организме человека и типа излучения (альфа, бета или гамма).

Для таких измерений отбираются образцы воды, продовольствия и т.д., подготавливаются и измеряются на гамма-спектрометре или другом детекторе. Для концентрации радионуклидов в воздухе он прокачивается через фильтры и измеряется содержание радионуклидов в фильтре.



Рис.6 Дозиметр



Рис.5 Полевой гамма-спектрометр

7. Ядерные аварии - предупреждение, готовность и реагирование

Ядерные реакторы (энергетические, военные или исследовательские) являются основными источниками антропогенного излучения. Радиоактивность ядерного реактора в миллионы раз выше, чем любого другого источника излучения. Строительство и эксплуатация атомных электростанций усиленно контролируется и регулируется. Однако, несмотря на значительные усилия по предотвращению ядерных аварий, они, хотя маловероятны, но возможны.

Если произошла тяжелая ядерная авария, персонал и население подвергаются риску от выброшенных в окружающую среду радионуклидов. Люди должны быть защищены. Облучение исходит от радиоактивных веществ, выброшенных в воздух из реактора, обычно в виде шлейфа (или облака).

Размер пострадавшей области, определяется количеством выброшенного радио-активного материала, направлением и скоростью ветра, погодными условиями, есть ли дождь, снег, и т.д., которые увеличивают скорость осаднения радионуклидов на поверхность земли. Значительное загрязнение может быть в основном на расстоянии до 30 км от места аварии. Основной целью защитных мер



Рис.7 Послеаварийный радиомониторинг вблизи Чернобыльской АЭС

является сведение к минимуму воздействия аварии на здоровье людей – персонала и населения, в том числе благодаря лучшей информированности и знаниям о ядерной опасности.

Защитные меры в случае ядерной аварии включают в себя:

Срочные защитные меры, которые должны быть приняты в течение нескольких часов, чтобы быть эффективными. К ним относятся: *эвакуация, применение таблеток стабильного йода* (йодная профилактика) и *укрытие* (население должно находиться внутри зданий для защиты от прямого облучения и вдыхания загрязненного воздуха).

Долгосрочные защитные меры, которые могут потребоваться в течение нескольких дней после аварии. К ним относятся: ограничение использования загрязненных продуктов питания и воды и переселение.

Эвакуация - это срочное удаление населения из района, где люди могут подвергаться значительному облучению. Это наиболее эффективная защитная мера против значительных воздушных выбросов радиоактивного материала, но есть некоторые трудности. Во-первых, люди должны быть информированы о возможности эвакуации в случае возникновения аварии, они должны получить четкое сообщение или сигнал о начале эвакуации, должно быть достаточно транспортных средств для эвакуации всего населения, в том числе людей из больниц и тюрем. Дорожная инфраструктура должна быть готова для обеспечения массовой эвакуации без пробок. Должна быть также обеспечена дезактивация людей, транспорта и другой техники при выходе из загрязненной зоны. Людям необходимо сменить одежду, которая была загрязнена в зоне аварии, и смыть загрязнение с кожи и волос, организовав помывку людей водой с моющими средствами. И наконец, должна быть решена проблема, где разместить эвакуированных людей в течение нескольких дней. Не рекомендуется эвакуация и проживание в чрезвычайных центрах более семи дней. Эвакуация требует времени для своей реализации, и это время необходимо учесть при разработке аварийных планов.

Йодная профилактика. При перегреве топлива реактора и разрушении тепловыделяющих элементов большое количество радиоактивного йода может быть выброшено в окружающую среду. Этот йод может вдыхаться или выпадать на овощи, растения и концентрироваться в молоке животных, которые выпасались на загрязненной траве. Йод, который попал внутрь человека с дыханием или потреблением продуктов питания и водой, будет аккумулироваться в щитовидной железе человека. Высокие дозы облучения щитовидной железы могут ее уничтожить или значительно увеличить риск рака щитовидной железы, особенно у детей.

Поступление радиоактивного йода в организм можно значительно уменьшить путем защиты органов дыхания, введением запрета на употребление потенциально загрязненной пищи и воды. Дозу на щитовидную железу можно уменьшить путем принятия стабильного (нерадиоактивного) йода, это называется блокировкой щитовидной железы (йодной профилактикой). Стабильный йод насыщает щитовидную железу йодом и предотвращает или уменьшает поглощение радиоактивного йода. Обычно стабильный йод принимается в виде таблеток KI или KIO₃ или капель соединений йода, растворенных в стакане воды. Дозы приема стабильного йода приведены в таблице 4 (Дополнения).

Защита людей от высоких доз облучения щитовидной железы требует блокирования щитовидной железы до или сразу после выброса. Блокирование

щитовидной железы защищает только щитовидную железу, но не от облучения всего тела, что является основным источником большинства ранних смертей от ядерной аварии.

Укрытие предполагает нахождение населения в подходящих зданиях для уменьшения облучения от радиоактивных веществ в воздухе и от загрязненной поверхности земли. Укрытие не рекомендуется на срок более 48 часов. Полное укрытие предполагает использование помещений со специально экранированными стенами или подвалов крупных зданий. Системы вентиляции с фильтрами из активированного угля для защиты от радиоактивного йода могут также использоваться в некоторых укрытиях.

Эффективность укрытия для защиты от внешнего излучения из облака и загрязненной поверхности земли зависит от типа используемого здания и от способности населения надлежащим образом осуществлять укрытие. К примеру, дома с легкой крышей, как правило, используемые в условиях жаркого климата, не предоставляют достаточную защиту. Если вы находились на улице во время прохождения радиоактивного облака, необходимо сменить одежду и смыть загрязнение с кожи и волос, помывшись водой с моющими средствами. В «реальной жизни» трудно просить людей оставаться в их домах более чем пару дней. По опыту аварии на Три Майл Айленд, в регионах, где средняя семья имеет доступ к одному или более автомобилей, сигнал об укрытии может привести к спонтанной эвакуации. Это может вызвать дополнительные трудности и еще более ухудшить радиологические последствия, особенно если эвакуация хаотична и приводит к образованию транспортных пробок во время прохода облака или на сильно загрязненной местности.

Долгосрочные защитные меры являются в реальности весьма дорогостоящими и сложно реализуемыми. Они требуют, чтоб особые условия жизни и продовольствие были обеспечены для большой численности населения. Есть также существенные психологические последствия, связанные с этими защитными мерами. Например, в случае аварии на Чернобыльской АЭС переселение сельского населения в городские районы привело к ухудшению здоровья, вызванному стрессом переезда. Сельскохозяйственные контрмеры особенно трудные для фермеров и производителей продуктов питания, которые понесут значительные финансовые убытки. Финансовая компенсация является проблемой во всех случаях, связанных с долгосрочными защитными мерами.

Временное переселение и переселение. Временное переселение используется, когда необходимо переместить население из пострадавшего района на период, превышающий примерно 7 дней, но не более чем на несколько месяцев. Оно применяется, когда доза пострадавшего населения в течение жизни может превысить допустимый предел. Эта мера требует обеспечить временные, но достаточные условия для пострадавшего населения. Ожидается, что временно переселенное население будет иметь возможность вернуться в свои дома в планируемое время. Однако переселение в реальности может стать постоянным.

Сельскохозяйственные контрмеры. Защитные меры, связанные с продуктами питания, включают: немедленный запрет на потребление продуктов питания, произведенных в пострадавшем районе; защиту местных продуктов питания и воды путем, например, покрытия открытых колодцев и укрытия животных и их кормов; и в долгосрочной перспективе - отбор проб и контроль загрязнения радионуклидами продуктов питания и кормов местного производства. Контроль молока особенно важен,

потому что это значительная часть питания детей, в нем также концентрируются такие важные радионуклиды, как йод и цезий.

Если ожидается, что радиоактивное загрязнение будет включать ¹³¹I, немедленно следует прекратить потребление местного молока до тех пор, пока уровень загрязнения ¹³¹I не будет определен. Подробная информация и инструкции должны быть получены от соответствующих представителей государственной власти.

Однако, если есть время до непосредственного выпадения радиоактивных осадков в вашей местности, следует принять такие превентивные защитные меры:

- защитить выращиваемые овощи и корма для животных (закрывать пластиковой пленкой);
- привести скот с пастбища (переместить животных в укрытие);
- собрать урожай и поместить в укрытие.

После выпадения радиоактивных осадков:

- не употреблять молоко и овощи местного производства (если не были приняты превентивные защитные меры);
- не выпускать животных, которых обычно выпасают на открытом воздухе, и обеспечить их незагрязненными кормами;
- запретить охоту, рыбалку, сбор грибов и потребление овощей и воды, соприкасающихся с водой открытых водоемов или осадками.

В потенциально загрязненных районах:

- не использовать воду открытых водоемов для питья и орошения;
- избегать возможного прямого загрязнения продовольствия и сельскохозяйственной продукции (пыль, осадки);
- не сжигать растительность или любые материалы, которые хранились на открытом воздухе, в том числе дрова;
- не создавать пыль, которая после выпадений стала радиоактивной.

Основная задача аварийного реагирования - локализация любых аварий, которые могут возникнуть, и сведение к минимуму негативных последствий аварий для здоровья, окружающей среды и имущества. Аварийные планы (см. Дополнения, Аварийные планы) являются ключевым инструментом обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям. Они должны четко определить все меры для эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации, определить роли и обязанности всех участвующих сторон, в том числе населения. Следует четко указывать цепочку командования и координации действий между сторонами, а также линии коммуникации и средства получения необходимой технической, метеорологической и медицинской информации.

8. Что мы должны делать в случае ядерной аварии?

Из предыдущих глав вы получили базовые знания о ядерной опасности. Вы теперь знаете, что такое ионизирующее излучение, как оно может поражать ваше тело, что такое естественное фоновое излучение и каковы воздействия радиации на здоровье. Вы знаете об источниках облучения, таких как ядерные аварии, воздействию выброшенных из реактора радионуклидов на людей и надлежащих мерах защиты. У вас есть знания, чтобы

понять даже минимальную информацию о ядерной аварии, и вы знаете, почему та или иная защитная мера рекомендована вам ответственным органом.

Это ваша обязанность - знать больше о ядерной опасности, если вы соглашаетесь на использование ядерной энергии и живете в условиях радиационной опасности. Если вы используете огонь или электричество – вы знаете о соответствующих рисках и защитных мерах, то же самое с ядерной энергией – вам нужно знать о радиоактивности, йодной профилактике и дозах облучения. Если вы живете в 30-км зоне вокруг АЭС, вы понимаете, что в случае тяжелой ядерной аварии вам, вероятно, сообщат о рекомендованных мерах защиты, и вам надо будет быть готовым к эвакуации или укрытию, йодной профилактике. Если вы не помните, где выданные вам ранее таблетки KI, можно просто взять несколько капель раствора йода, смешать со стаканом воды и выпить. Позже вы получите таблетки KI от власти, но вы будете лучше защищены, если примете стабильный йод до прихода радиоактивного облака. Но, безусловно, сначала вам нужно получить официальную информацию о выбросе радионуклидов из АЭС.

Во многих случаях для повышения осведомленности населения о ядерной опасности публикуются часто задаваемые вопросы (FAQ) и ответы на них. Теперь, когда вы в состоянии лучше понять основу этих рекомендаций и как следовать им, вы, ознакомившись со следующими примерами FAQ, лучше поймете меры безопасности в ответах.

Вопрос # 1. Если ядерная авария произошла, что делать?

Ответ: Ждать оповещение через средства массовой информации - телевидение, радио и систему аварийного оповещения. Вы должны внимательно прослушать инструкции, чтобы знать, какие меры защиты рекомендуются.

Вы знаете, что для того, чтобы защитить организм от внешнего облучения, могут быть рекомендованы следующие меры защиты:

- защита расстоянием (находиться как можно дальше от источника излучения);
- защита временем (покинуть место вблизи источника излучения как можно скорее);
- защита укрытием (переместиться в здание, изготовленное из бетона или камня).

Для того, чтобы защитить организм от внутреннего облучения, следующие меры защиты могут быть рекомендованы:

- предотвращение вдыхания радионуклидов (использовать защитную маску или мокрый платок);
- предотвращение употребления радионуклидов с продуктами питания и питьем (не пить воду из открытых источников, не есть фрукты и овощи, которые находились на открытом пространстве после выброса);
- йодная профилактика (принять препараты стабильного йода, следуя инструкциям).

Вопрос # 2. Если вас просят укрыться в помещении, что делать?

Ответ: Вы должны пойти к ближайшему доступному зданию, дому, общественному зданию и т. д. Вам следует:

- закрыть все двери и окна;
- принять душ, помыть руки, лицо и волосы, сменить одежду, если вы были снаружи;
- выключить вентиляцию и кондиционеры, поместить питание в контейнеры и упаковать;

- сделать запас питьевой воды в запечатанном сосуде для использования в течение следующей недели;
- не употреблять молоко или овощи местного производства;
- поместить в помещение животных, которые обычно выпасаются на открытом воздухе, и предоставить им незагрязненные корма.

Вопрос # 3. Если вам предлагают эвакуацию, что делать?

Ответ: Укройтесь в помещении и спокойно подготовьтесь к эвакуации:

- выключите газ, воду, отключите электроэнергию и вытащите вилки из розеток;
- позвоните и оповестите соседей;
- обратитесь к местным органам власти о необходимости оказать помощь в эвакуации особ, неспособных передвигаться самостоятельно;
- оставьте запас пищи и воды для животных, поместите их внутрь здания;
- закройте все двери при выходе из дома;
- следуйте инструкциям компетентного органа, например спасательных служб или представителей местных органов власти, о следующих шагах для эвакуации.

Мы надеемся, что базовые знания из нашей книги дадут вам возможность понимать реальную степень ядерной опасности в случае возникновения чрезвычайной ситуации и эти знания помогут вам защитить вашу жизнь.

Эти материалы были подготовлены с использованием буклета EUR-OPA «Базовые знания о ядерных опасностях: уроки Чернобыля и Фукусимы», EUR-OPA, 2013.

Буклет переведен на 15 языков, представлен и протестирован в 20 странах мира.

Стр. 1. Структура атома

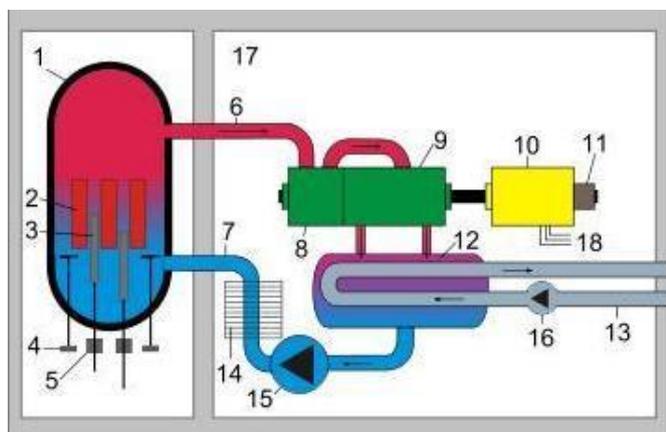
В 1911 году Эрнест Резерфорд показал, что масса атома главным образом сосредоточена (99,9%) в ядре. Размер ядра приблизительно в 10 000 раз меньше, чем атома (около 10^{-10} м). Атом не имеет электрического заряда. Заряд ядра Z - положительный и равен количеству атомных электронов (порядковому номеру химического элемента в периодической таблице элементов). Атомное ядро состоит из положительно заряженных протонов и нейтронов, которые не имеют заряда, оба они называются нуклонами. Заряд ядра определяется количеством протонов в ядре. Число протонов и нейтронов в ядре называется атомным массовым числом A .

Стр. 3. Таблица 1. Схема распада U-238 и Th-232

уран-238			торий-232		
Радионуклид	Период полураспада	Излучение	Радионуклид	Период полураспада	Излучение
^{238}U	$4.5 \cdot 10^9$ лет	α, γ	^{232}Th	$14 \cdot 10^9$ лет	α, γ
^{234}Th	24 дня	β, γ	^{228}Ra	6.7 лет	γ, β
^{234}Pa	1.2 мин	β, γ	^{228}Ac	6.1 часов	γ, β
^{234}U	$2.5 \cdot 10^5$ лет	α, γ	^{228}Th	1.9 лет	α, γ
^{230}Th	$8 \cdot 10^4$ лет	α, γ	^{224}Ra	3.6 дней	α, γ
^{226}Ra	1620 лет	α, γ	^{220}Rn	55 сек	α, γ
^{222}Rn	3.8 дней	α, γ	^{216}Po	0.16 сек	α, β
$^{218}\text{Po}^*$	3.1 мин	α, β	^{212}Pb	11 часов	γ, β
^{214}Pb	27 мин	β, γ	^{212}Bi	61 мин	α, γ, β
$^{214}\text{Bi}^*$	20 мин	α, γ, β	^{212}Po	$3 \cdot 10^{-7}$ сек	α
^{214}Po	$1.6 \cdot 10^{-4}$ сек	α	^{208}Pb	стабилен	нет
^{210}Pb	19 лет	β, γ			
$^{210}\text{Bi}^*$	5 дней	α, γ, β			
^{210}Po	138 дней	α, γ			
^{206}Pb	стабилен	нет			

* Указаны только основные пути распада.

Стр. 5. Схема реактора



1. Корпус реактора
2. Топливные сборки
3. Регулирующие стержни (РС)
4. Циркуляционный насос
5. Управление РС
6. Пар
7. Вода
8. Турбина высокого давления
9. Турбина низкого давления
10. Электрогенератор
11. Возбудитель
12. Конденсор
13. Охладитель
14. Нагреватель
15. Питательный насос
16. Насос холодной воды
17. Бетонный корпус
18. Выход в электрическую сеть

Стр. 5. **Таблица 2.** Состав наиболее радиологически важных радионуклидов Чернобыльского реактора № 4 до взрыва и в выбросе на момент аварии

Содержание в реакторе на 26.04.1986			Полный выброс, активность приведена на 26.04.1986	
Нуклид	Период полураспада	Активность (ПБк)	% от содержания	Активность (ПБк)
¹³³ Xe	5.3 дней	6500	100	6290
¹³¹ I	8.0 дней	3200	20	1650
¹³⁴ Cs	2.0 года	180	20	52
¹³⁷ Cs	30.0 лет	280	13	85
¹³² Te	78.0 часов	2700	25-60	~1020
⁸⁹ Sr	52.0 дней	2300	4-6	93
⁹⁰ Sr	28.0 лет	200	4-6	8.1
¹⁴⁰ Ba	12.8 дней	4800	4-6	180
⁹⁵ Zr	64 дней	5600	3.2	155
⁹⁹ Mo	67.0 часов	4800	>3.5	-
¹⁰³ Ru	39.6 дней	4800	2.9	170
¹⁰⁶ Ru	1.0 год	2100	2.9	59
¹⁴¹ Ce	33.0 дней	5600	2.3	190
¹⁴⁴ Ce	285.0 дней	3300	2.8	137
²³⁹ Np	2.4 дней	2700	3	1440
²³⁸ Pu	86.0 лет	1	3	0.03
²³⁹ Pu	24400.0 лет	0.85	3	0.03
²⁴⁰ Pu	6580.0 лет	1.2	3	0.044
²⁴¹ Pu	13.2 года	170	3	5.9
²⁴² Cm	163.0 дней	26	3.5	~0.9
Всего		73559		~10933

Стр. 16. **Применение таблеток стабильного йода**

Употребление стабильного йода является эффективным способом для защиты от вредных последствий вдыхания радиоактивного йода при условии, что оно было принято до или в начале выброса. Однако распределение и доставка стабильного йода людям - это не простая задача. К примеру, если таблетки стабильного йода хранятся в центральном месте, как это делается в некоторых странах, приходится иметь дело с трудностями обеспечения распространения йода для всех пострадавших людей во время чрезвычайной ситуации, что отнимает много времени, требует много исполнителей, которые подвергаются дополнительному риску облучения. Предварительное распространение таблеток стабильного йода имеет проблемы, связанные с необходимостью их периодического обновления, обусловленного ограниченным сроком их хранения, обновлением распределения для вновь прибывших и отслеживанием обеспечения временного населения. Кроме того, эта защитная мера требует, чтобы большие запасы стабильного йода хранились постоянно.

Эффективность йодной профилактики быстро уменьшается, если йод будет принят после воздействия. Блокировка щитовидной железы является эффективной более чем на 90%, если она реализована до или во время поступления радиоактивного йода. Ее эффективность быстро падает, если она применяется после поступления радиойода.

Таким образом, защита людей от высоких доз облучения щитовидной железой требует блокирования щитовидной железы до или сразу после выброса. Блокирование щитовидной железой защищает только щитовидную железу, но не от облучения всего тела, что является основным источником большинства ранних смертей от ядерной аварии. Следовательно, необходимо убедиться, что распространение стабильного йода для блокировки щитовидной железой не мешает эвакуации или укрытию населения.

Для тяжелых аварий доза от вдыхания радиоактивного йода может быть достаточно высокой для того, чтобы оправдать защитные меры по блокированию щитовидной железой на расстоянии более чем 100 км от места аварии. Однако, по практическим соображениям, распространение стабильного йода для блокировки щитовидной железой может быть ограничено меньшей территорией с наибольшим риском. Блокировка щитовидной железой считается безопасной. Реагируя на Чернобыльскую аварию, польское правительство использовало блокирование щитовидной железой для примерно 18 миллионов человек, и только в двух случаях была отмечена серьезная побочная реакция у взрослых с известной высокой чувствительностью к йоду.

Таблица 4. Рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения одноразовые дозы приема стабильного йода в зависимости от возраста

Возрастная группа	Масса йода (мг)	Масса KI (мг)	Масса KIO ₃ (мг)	Доля 100-мг таблетки
Взрослые и подростки (старше 12 лет)	100	130	170	1
Дети (от 3 до 12 лет)	50	65	85	0.5
Младенцы (от 1 месяца до 3 лет)	25	32	42	0.25
Новорожденные (от рождения до 1 мес.)	12.5	16	21	0.125

Стр. 18. Аварийные планы

Аварийный план должен гарантировать, что потенциально пострадавшее население:

- получило общую информацию о характере, масштабах и потенциальном воздействии на здоровье людей и/или окружающую среду, имущество возможных крупных аварий на планируемых или существующих опасных объектах;
- получило своевременно информацию о поведении и мерах безопасности, которые оно должно принять в случае возникновения радиационной аварии или других аварий с выбросом опасных веществ;
- имеет доступ к другой информации, необходимой для понимания природы аварии и возможных последствиях для здоровья (например, информация о радионуклидах или других опасных веществах, способных вызвать серьезный ущерб);
- имеет возможность участвовать в принятии решений, касающихся опасных объектов, и разработке аварийных планов готовности к чрезвычайным ситуациям.