**Лекция 5**

**Радиоактивность** - самопроизвольный распад, сопровождающееся испусканием потока заряженных α-частиц (ядра гелия), β (электроны) и нейтральных γ-частиц (квант света).

**Радионуклид** - атомы радиоактивного в-ва с данным атомным числом и атомным номером, а для изомерных изотопов - и с данным энергетическим состоянием атомного ядра.

# Естественные источники радиации

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации. Большинство из них таковы, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей историй существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи; в этом случае говорят о внешнем облучении. Или же они могут оказаться в воздухе которым дышит человек, в пище или в воде и попасть внутрь организма. Такой способ облучения называют внутренним.

Облучению от естественных источников радиации подвергается любой житель Земли, однако одни из них получают большие дозы, чем другие. Уровень радиации в некоторых местах земного шара, особенно там, где залегают радиоактивные породы, оказывается значительно выше среднего. Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов, использование газа для приготовления пищи, открытых угольных жаровень, герметизация помещений и даже полеты на самолетах - все это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации.

Земные источники радиации в сумме ответственны за большую часть облучения, которому подвергается человек за счет естественной радиации. В среднем они обеспечивают более 5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы, получаемой населением, в основном вследствие внутреннего облучения. Остальную часть вносят космические лучи и источники земной радиации, главным образом путем внешнего облучения.

**Космические лучи**

Радиационный фон, создаваемый космическими лучами, дает чуть меньше половины внешнего облучения, получаемого населением от естественных источников радиации. Космические лучи в основном приходят к нам из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Космические лучи могут достигать поверхности Земли или взаимодействовать с ее атмосферой, порождая вторичное излучение и приводя к образованию различных радионуклидов.

Одни участки земной поверхности более подвержены действию лучей, чем другие. Северный и Южный полюсы получают больше радиации, чем экваториальные области, из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы (из которых в основном и состоят космические лучи). Уровень облучения растет и с высотой, поскольку воздух выполняет роль защитного экрана.

Люди, живущие на уровне моря, получают в среднем из-за космических лучей эффективную эквивалентную дозу около 300 микрозивертов (миллионных долей зиверта) в год; для людей же, живущих выше 2000 м над уровнем моря, это величина в несколько раз больше. Еще более интенсивному, хотя и относительно непродолжительному облучению, подвергаются экипажи и пассажиры самолетов. При подъеме с высоты 4000 м (максимальная высота, на которой расположены человеческие поселения: деревни шерпов на склонах Эвереста) до 12000 м (максимальная высота полета трансконтинентальных авиалайнеров) уровень облучения за счет космических лучей возрастает примерно в 25 раз и продолжает расти при дальнейшем увеличении высоты до 20000 м (максимальная высота полета сверхзвуковых реактивных самолетов) и выше.

При перелете из Нью-Йорка в Париж пассажир обычного турбореактивного самолета получает дозу около 50 мкЗв, а пассажир сверхзвукового самолета - на 20% меньше, хотя подвергается более интенсивному облучению. Это объясняется тем, что во втором случае перелет занимает гораздо меньше времени. Всего за счет использования воздушного транспорта человечество получает в год коллективную эффективную эквивалентную дозу около 2000 чел./Зв.

**Земная радиация**

Основные радиоактивные изотопы, встречающиеся в горных породах Земли, - это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало соответственно от урана-238 и тория-232 - долгоживущих изотопов, включившихся в состав Земли с самого ее рождения.

Разумеется, уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентраций радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основной массы населения они примерно одного порядка. Примерно 95% населения живет в местах, где мощность дозы облучения в среднем составляет от 0,3 до 0,6 миллизиверта (тысячных зиверта) в год. Но некоторые группы населения получают значительно большие дозы облучения. В некоторых районах Земли уровни земной радиации намного выше.

В Бразилии есть небольшая возвышенность где уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 250 миллизивертов в год. Чуть меньшие уровни радиации были зарегистрированы на морском курорте, расположенном в 600 км к востоку от этой возвышенности. В Иране, например в районе городка Рамсер, где бьют ключи, богатые радием, были зарегистрированы уровни радиации до 400 миллизивертов в год.

По подсчетам ***НКДАР ООН*** *(Научный Комитет по делам атомной радиации)* средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников естественной радиации, составляет примерно 350 микрозивертов, т.е. чуть больше средней индивидуальной дозы облучения из-за радиационного фона, создаваемого космическими лучами на уровне моря.

**Внутреннее облучение**

В среднем примерно 2/3 эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом.

Совсем небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальное поступает от источников земного происхождения. В среднем человек получает около 180 микрозивертов в год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Однако значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232.

Некоторые из них, например нуклиды. свинца-210 и полония-210, поступают в организм с пищей. 0ни концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения.

Десятки тысяч людей на Крайнем Севере питаются в основном мясом северного оленя (карибу), в котором оба упомянутых выше радиоактивных изотопа присутствуют в довольно высокой концентрации. Особенно велико содержание полония-210. Эти изотопы попадают в организм оленей зимой, когда они питаются лишайниками. Дозы внутреннего облучения человека от полония-210 в этих случаях могут в 35 раз превышать средний уровень. А в другом полушарии люди, живущие в Западной Австралии в местах с повышенной концентрацией урана, получают дозы облучения, в 75 раз превосходящие средний уровень, поскольку едят мясо и требуху овец и кенгуру.

**Радон**

Лишь недавно стало известно, что наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ (в 7,5 раза тяжелее воздуха) **радон**. Он вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответствен примерно за 3/4 годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях.

В природе радон встречается в двух основных формах: в виде радона-222, члена радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и в виде радона-220, члена радиоактивного ряда тория-232. По-видимому, радон-222 примерно в 20 раз важнее, чем радон-220 (имеется в виду вклад в суммарную дозу облучения). Вообще говоря, большая часть облучения исходит от дочерних продуктов распада радона, а не от самого радона.

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается для разных точек земного шара. Основную часть дозы обличения от радона человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе.

Радон концентрируется в воздухе внутри помещении лишь тогда, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды. Поступает просачиваясь через фундамент и пол из грунта или, реже, высвобождаясь из материалов, использованных в конструкции дома. В результате в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или если при его постройке использовали материалы с повышенной радиоактивностью

Самые распространенные строительные материалы - дерево, кирпич и бетон - выделяют относительно немного радона. Гораздо большей удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, используемые в качестве строительных материалов.

В течение нескольких десятков лет в Швеции использовались при производстве бетона глиноземы, в Северной Америке и в Канаде - кальций-силикатный шлак - побочный продукт, получаемый при переработке фосфорных руд. Затем неожиданно обнаружили, что эти материалы очень радиоактивны.. Фосфогипс - еще один побочный продукт, образующийся при другой технологии переработки фосфорных руд, - широко применялся при изготовлении строительных блоков, сухой штукатурки, перегородок и цемента. Он дешевле природного гипса, Однако он обладает гораздо большей удельной радиоактивностью, чем природный гипс. Люди, живущие в домах, построенных с его применением, подвергаются облучению, на 30% более интенсивному, чем жильцы других домов.

Среди других промышленных отходов с высокой радиоактивностью, применявшихся в строительстве, следует назвать кирпич из красной глины - отхода производства алюминия, доменный шлак - отход черной металлургии и зольную пыль, образующуюся при сжигании угля.

Известны случаи применения в строительстве даже отходов урановых рудников. Конечно, радиационный контроль строительных материалов заслуживает самого пристального внимания, однако главный источник радона в закрытых помещениях - это грунт. В некоторых случаях дома возводились прямо на старых отвалах горнодобывающих предприятий, содержащих радиоактивные материалы.

Концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов, как правило, ниже, чем на первом этаже. Исследования, проведенные в Норвегии, показали, что концентрация радона в деревянных домах даже выше, чем в кирпичных, хотя дерево выделяет совершенно ничтожное количество радона по сравнению с другими материалами. Это объясняется тем, что деревянные дома имеют меньше этажей, чем кирпичные.

Скорость проникновения исходящего из земли радона в помещения фактически определяется толщиной и целостностью (т.е. количеством трещин и микротрещин) межэтажных перекрытий.

Кроме того, эмиссия радона из стен уменьшается в 10 раз при облицовке стен пластиковыми материалами типа полиамида, поливинилхлорида, полиэтилена или после покрытия стен слоем краски на эпоксидной основе или тремя слоями масляной краски. Даже при оклейке стен обоями скорость эмиссии радона уменьшается примерно на 30%.

Еще один, как правило менее важный, источник поступления радона в жилые помещения представляют собой вода и природный газ. Концентрация радона в обычно используемой воде чрезвычайно мала, но вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит очень много радона.

Однако основная опасность, как это ни удивительно, исходит вовсе не от питья воды, даже при высоком содержании в ней радона. Обычно люди потребляют большую часть воды в составе пищи и в виде горячих напитков (кофе, чай). При кипячении же воды или приготовлении горячих блюд радон в значительной степени улетучивается и поэтому поступает в организм в основном с не кипяченой водой. Но даже и в этом случае радон очень быстро выводится из организма.

Гораздо большую опасность представляет попадание паров воды с высоким содержанием радона в легкие вместе с вдыхаемым воздухом, что чаще всего происходит в ванной комнате. При обследовании домов в Финляндии оказалось, что в среднем концентрация радона в ванной комнате примерно в три раза выше, чем на кухне, и приблизительно в 40 раз выше, чем в жилых комнатах.

Радон проникает также в природный газ.

К значительному повышению концентрации радона внутри помещений могут привести меры, направленные на экономию энергии. При герметизации помещений и отсутствии проветривания скорость вентилирования помещения уменьшается. Это позволяет сохранить тепло, но приводит к увеличению содержания радона в воздухе.

**Другие источники радиации**

Уголь, подобно большинству других природных материалов, содержит радионуклиды. Последние, извлеченные вместе с углем из недр земли, после сжигания угля попадают в окружающую среду, где могут служить источником облучения людей.

Из печек и каминов всего мира вылетает в атмосферу зольной пыли, возможно, не меньше, чем из труб электростанций. Кроме того, в отличие от большинства электростанций жилые дома имеют относительно невысокие трубы и расположены обычно в центре населенных пунктов, поэтому гораздо большая часть загрязнений попадает непосредственно на людей.

Еще один источник облучения населения - термальные водоемы. Некоторые страны эксплуатируют подземные резервуары пара и горячей воды для производства электроэнергии и отопления домов;

Фосфаты используются главным образом для производства удобрений. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий там в довольно высокой концентрации. В процессе добычи и переработки руды выделяется радон, да и сами удобрения радиоактивны, и содержащиеся в них радиоизотопы проникают из почвы в пищевые культуры.

За последние несколько десятилетий человек создал несколько сотен искусственных радионуклидов и научился использовать энергию атома в самых разных целях: в медицине и для создания атомного оружия, для производства энергии и обнаружения пожаров, поиска полезных ископаемых. Все это приводит к увеличению дозы облучения как отдельных людей, так и населения Земли в целом.

Индивидуальные дозы, получаемые разными людьми от искусственных источников радиации, сильно различаются. В большинстве случаев эти дозы весьма невелики, но иногда облучение за счет техногенных источников оказывается во много тысяч раз интенсивнее, чем за счет естественных.

Как правило, для техногенных источников радиации упомянутая вариабельность выражена гораздо сильнее, чем для естественных. Кроме того, порождаемое ими излучение обычно легче контролировать, хотя облучение, связанное с радиоактивными осадками от ядерных взрывов, почти так же невозможно контролировать, как и облучение, обусловленное космическими лучами или земными источниками.

**Источники, использующиеся в медицине**

В настоящее время основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением радиоактивности. Во многих странах этот источник ответствен практически за всю дозу, получаемую от техногенных источников радиации.

Одним из самых распространенных медицинских приборов является рентгеновский аппарат. Как ни парадоксально, но одним из основных способов борьбы с раком является лучевая терапия.

В принципе, облучение в медицине направлено на исцеление больного. Однако нередко дозы оказываются неоправданно высокими: дозы, получаемые от облучения в медицинских целях, составляют значительную часть суммарной дозы облучения от техногенных источников.

В большинстве стран около половины рентгенологических обследований приходится на долю грудной клетки. Однако по мере уменьшения частоты заболеваний туберкулезом целесообразность массовых обследований снижается. Известно также, что иногда облучению подвергается вдвое большая площадь поверхности тела, чем это необходимо. Наконец, установлено, что излишнее радиационное облучение часто бывает обусловлено неудовлетворительным состоянием или эксплуатацией оборудования.

Благодаря техническим усовершенствованиям, по-видимому, можно уменьшить и дозы, получаемые пациентами при рентгенографии зубов. Меньшие дозы должны использоваться и при обследовании молочной железы.

В настоящее время широко применяется компьютерная томография.

**Ядерные взрывы**

За последние 40 лет каждый из нас подвергался облучению от радиоактивных осадков, которые образовались в результате ядерных взрывов.

Максимум этих испытании приходится на два периода: первый - на 1954-1958 годы, когда взрывы проводили Великобритания, США и СССР, и второй, более значительный, - на 1961-1962 годы, когда их проводили в основном Соединенные Штаты и Советский Союз. Во время первого периода большую часть испытаний провели США, во время второго-СССР.

Эти страны в 1963 году подписали Договор об ограничении испытаний ядерного оружия, обязывающий не испытывать его в атмосфере, под водой и в космосе. С тех пор лишь Франция и Китай провели серию ядерных взрывов в атмосфере, причем мощность взрывов была существенно меньше, а сами испытания проводились реже (последнее из них - в 1980 году). Подземные испытания проводятся до сих пор, но они обычно не сопровождаются образованием радиоактивных осадков.

Часть радиоактивного материала выпадает неподалеку от места испытания, какая-то часть задерживается в тропосфере (самом нижнем слое атмосферы), подхватывается ветром и перемещается на большие расстояния, оставаясь примерно на одной и той же широте. Находясь в воздухе в среднем около месяца, радиоактивные вещества во время этих перемещений постепенно выпадают на землю. Однако большая часть радиоактивного материала выбрасывается в стратосферу (следующий слой атмосферы, лежащий на высоте 10-50 км), где он остается многие месяцы, медленно опускаясь и рассеиваясь по всей поверхности земного шара.

Радиоактивные осадки содержат несколько сотен различных радионуклидов, однако большинство из них имеет ничтожную концентрацию или быстро распадается; основной вклад в облучение человека дает лишь небольшое число радионуклидов. Вклад в ожидаемую коллективную эффективную эквивалентную дозу облучения населения от ядерных взрывов, превышающий 1 %, дают только четыре радионуклида. Это углерод-14, цезий-137, цирконий-95 и стронций-90.

**Атомная энергетика**

Источником облучения, вокруг которого ведутся наиболее интенсивные споры, являются атомные электростанции, хотя в настоящее время они вносят весьма незначительный вклад в суммарное облучение населения. При нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду очень невелики.

Атомные электростанции являются лишь частью ядерного топливного цикла, который начинается с добычи и обогащения урановой руды. Следующий этап-производство ядерного топлива. Отработанное в АЭС ядерное топливо иногда подвергают вторичной обработке, чтобы извлечь из него уран и плутоний. Заканчивается цикл, как правило, захоронением радиоактивных отходов.

На каждой стадии ядерного топливного цикла в окружающую среду попадают радиоактивные вещества.

Доза облучения от ядерного реактора зависит от времени и расстояния. Чем дальше человек живет от атомной электростанции, тем меньшую дозу он получает. Несмотря на это, наряду с АЭС, расположенными в отдаленных районах, имеются и такие, которые находятся недалеко от крупных населенных пунктов. Каждый реактор выбрасывает в окружающую среду целый ряд радионуклидов с разными периодами полураспада. Большинство радионуклидов распадается быстро и поэтому имеет лишь местное значение. Однако некоторые из них живут достаточно долго и могут распространяться на значительные расстояния, а определенная часть изотопов остается в окружающей среде практически бесконечно.

Примерно половина всей урановой руды добывается открытым способом, а половина - шахтным. И рудники, и обогатительные фабрики служат источником загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. Обогатительные же фабрики создают проблему долговременного загрязнения: в процессе переработки руды образуется огромное количество отходов - «хвостов».

Эти отходы будут оставаться радиоактивными в течение миллионов лет. Таким образом, отходы являются главным долгоживущим источником облучения населения, связанным с атомной энергетикой. Однако их вклад в облучение можно значительно уменьшить, если отвалы заасфальтировать или покрыть их поливинилхлоридом. Конечно, покрытия необходимо будет регулярно менять.

В мировом масштабе примерно 10% использованного на АЭС ядерного топлива направляется на переработку для извлечения урана и плутония с целью повторного их использования. Сейчас имеются лишь три завода, где занимаются такой переработкой в промышленном масштабе: в Маркуле и Ла-Аге (Франция) и в Уиндскейле (Великобритания).

До сих пор мы совсем не касались проблем, связанных с последней стадией ядерного топливного цикла - захоронением высокоактивных отходов АЭС. Эти проблемы находятся в ведении правительств соответствующих стран. В некоторых странах ведутся исследования по отверждению отходов с целью последующего их захоронения в геологически стабильных районах на суше, на дне океана или в расположенных под ними пластах. Предполагается, что захороненные таким образом радиоактивные отходы не будут источником облучения населения в обозримом будущем.

90% всей дозы облучения, обусловленной короткоживущими изотопами, население получает в течение года после выброса, 98 %-в течение 5 лет. Почти вся доза приходится на людей, живущих не далее нескольких тысяч километров от АЭС.

Люди, проживающие вблизи ядерных реакторов, без сомнения, получают гораздо большие дозы, чем население в среднем. Тем не менее в настоящее время эти дозы обычно не превышают нескольких процентов естественного радиационного фона.

Все приведенные выше цифры, конечно, получены в предположении, что ядерные реакторы работают нормально. Однако количество радиоактивных веществ, поступивших в окружающую среду при авариях, может оказаться гораздо больше.

**Профессиональное облучение**

Самые большие дозы облучения, источником которого являются объекты атомной промышленности, получают люди, которые на них работают. Профессиональные дозы почти повсеместно являются самыми большими из всех видов доз.

Оценки показывают, что доза, которую получают рабочие урановых рудников и обогатительных фабрик, составляет в среднем 1 чел./Зв на каждый гигаватт-год электроэнергии. Примерно 90% этой дозы приходится на долю рудников, причем персонал, работающий в шахтах, подвергается большему облучению. Коллективная эквивалентная доза от заводов, на которых получают ядерное топливо, также составляет 1 чел./Зв на гигаватт-год.

Дозы, которые получают люди, занятые научно-исследовательской работой в области ядерной физики и энергетики, очень сильно различаются для разных предприятий и разных стран. Коллективная доза на единицу полученной электроэнергии для разных стран может различаться в 10 раз. В Японии и Швейцарии, например, она мала, а в Великобритании - относительно высока. Разумная оценка в среднем по всем странам со­ставляет ~ 5 чел./Зв на гигаватт-год.

Некоторые работники подвергаются воздействию более высоких доз **естественной** радиации. Самую большую группу таких работников составляют экипажи самолетов. Полеты совершаются на большой высоте, и это приводит к увеличению дозы из-за воздействия космических лучей. Примерно 70.000 членов экипажей в США и 20.000-в Великобритании получают дополнительно 1-2 мЗв в год.

Внизу, под землей, повышенные дозы получают шахтеры, добывающие каменный уголь, железную руду и т.д. Индивидуальные дозы сильно различаются, а при некоторых видах подземных работ (исключая работы в каменноугольных шахтах) эти дозы могут быть даже выше, чем в урановых рудниках. Очень высокие дозы - более 300 мЗв в год, что в 6 раз выше международного стандарта, принятого для работников атомной промышленности, - получает персонал курортов, где применяются радоновые ванны и куда люди едут, чтобы поправить свое здоровье.

**Другие источники облучения**

В заключение следует отметить, что источником облучения являются и многие общеупотребительные предметы, содержащие радиоактивные вещества.

Едва ли не самым распространенным источником облучения являются часы со светящимся циферблатом. Они дают годовую дозу, в 4 раза превышающую ту, что обусловлена утечками на АЭС.

Обычно при изготовлении таких часов используют радий, что приводит к облучению всего организма, хотя на расстоянии 1 м от циферблата излучение в 10.000 раз слабее, чем на растоянии 1 см. Радиоактивные изотопы используются также в светящихся указателях входа-выхода, в компасах, телефонных дисках, прицелах и т.п.

В США продаются антистатические щетки для удаления пыли с пластинок и фотопринадлежностей, действие которых основано на испускании **α**-частиц.

Принцип действия многих детекторов дыма также основан на использовании **α**-излучения.

При изготовлении особо тонких оптических линз применяется торий, который может привести к существенному облучению хрусталика глаза. Для придания блеска искусственным зубам широко используют уран, который может служить источником облучения тканей полости рта.

Источниками рентгеновского излучения являются цветные телевизоры, однако при правильной настройке и эксплуатации дозы облучения от современных их моделей ничтожны. Рентгеновские аппараты для проверки багажа пассажиров в аэропортах также практически не вызывают облучения авиапассажиров.

# Действие радиации на человека

Радиация по самой своей природе вредна для жизни. Малые дозы облучения могут “запустить” не до конца еще установленную цепь событий, приводящую к раку или к генетическим повреждениям. При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждать ткани органов и явиться причиной скорой гибели организма.

Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней. Раковые заболевания проявляются спустя много лет после облучения, как правило, не ранее чем через одно-два десятилетия. А врожденные пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, проявляются лишь в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки индивидуума, подвергшегося облучению.

В то время как идентификация быстро проявляющихся (“острых”) последствий от действия больших доз облучения не составляет труда, обнаружить отдаленные последствия от малых доз облучения почти всегда оказывается очень трудно. Частично это объясняется тем, что для их проявления должно пройти очень много времени. Но даже и обнаружив какие-то эффекты, требуется еще доказать, что они объясняются действием радиации, поскольку и рак, и повреждения генетического аппарата могут быть вызваны не только радиацией, но и множеством других причин.

Чтобы вызвать острое поражение организма, дозы облучения должны превышать определенный уровень. Однако, даже при относительно больших дозах облучения далеко не все люди обречены на эти болезни: действующие в организме человека репарационные механизмы обычно ликвидируют все повреждения. Точно так же любой человек, подвергшийся действию радиации, совсем не обязательно должен заболеть раком или стать носителем наследственных болезней; однако вероятность, илириск**,** наступления таких последствий у него больше, чем у человека, который не был облучен. И риск этот тем больше, чем больше доза облучения.

**Острое поражение**

Большое количество сведений острого поражения было получено при анализе результатов применения лучевой терапии для лечения рака. Многолетний опыт позволил медикам получить обширную информацию о реакции тканей человека на облучение. Эта реакция для разных органов и тканей оказалась неодинаковой, причем различия очень велики. Величина же дозы, определяющая тяжесть поражения организма, зависит от того, получает ли ее организм сразу или в несколько приемов. Большинство органов успевает в той или иной степени залечить радиационные повреждения и поэтому лучше переносит серию мелких доз, нежели ту же суммарную дозу облучения, полученную за один прием.

“Первыми признаками поражения организма человека большими дозами гамма-облучения, порядка 500 р. являются внезапно развивающаяся тошнота, за которой вскоре наступает рвота, а иногда и понос. У некоторых людей эти симптомы проявляются через полчаса после облучения, у других - через несколько часов. Эти признаки исчезают обычно через два-три дня. Однако у небольшого числа людей эти симптомы не исчезли; рвота и понос усиливались, за этим следовало истощение, высокая температура и иногда бредовое состояние. В таких случаях пострадавший умирал примерно через неделю после облучения”.

“Те, кто перенес описанные выше стадии лучевой болезни, чувствуют себя довольно хорошо, хотя анализ их крови показывает, что произошло уменьшение числа белых кровяных клеток. Однако между второй и четвертой неделями у некоторых из пострадавших наступает новое обострение, которому предшествует постепенное нарастание недомогания. Первым признаком такого обострения является, вероятно, частичное или полное выпадение волос. Затем, начиная приблизительно с третьей недели, наблюдаются кровоизлияния в кожном покрове и слизистой оболочке рта, что может создать склонность к легкому возникновению кровоподтеков и кровотечений из десен. В это же время во рту и горле образуются изъязвления. Образование подобных изъязвлений в кишечнике может явиться причиной возобновления поноса. Вскоре болезнь еще больше усугубляется; у пострадавшего постоянно повышается температура, он полностью теряет аппетит и худеет. Кормление такого больного через рот невозможно, так как это повело бы к вскрытию заживающих язв и занесению в них инфекции”.

“На этой стадии лучевой болезни число красных кровяных клеток ниже нормы, и такого рода анемия быстро прогрессирует до четвертой или пятой недели после облучения. Падение числа белых кровяных клеток, отмечавшееся в течение первых двух дней после облучения, продолжается и в период относительно хорошего самочувствия; к этому времени количество подобных клеток достигает своего минимума. Изменения в составе крови значительно уменьшают способность организма противостоять инфекции. Наблюдения, проведенные в городах Хиросима и Нагасаки, показывают, что среди жертв атомных бомбардировок свирепствовали инфекционные заболевания, в результате чего многие из больных умирали на данной стадии лучевой болезни, а у тех, кто выживал, процесс восстановления клеток шел медленно и выздоровление было длительным. Даже в том случае, когда выздоровление казалось очевидным, смерть могла наступить внезапно в результате инфекционного заражения, последствия которого у здорового человека были бы незначительными”.

Разумеется, если доза облучения достаточно велика, облученный человек погибнет. Очень большие дозы облучения порядка 100 Гр. вызывают настолько серьезное поражение центральной нервной системы, что смерть, как правило, наступает в течение нескольких часов или дней. При дозах облучения от 10 до 50 Гр. при облучении всего тела поражение ЦНС может оказаться не настолько серьезным, чтобы привести к летальному исходу, однако облученный человек скорее всего все равно умрет через одну-две недели от кровоизлияний в желудочно-кишечном тракте. При еще меньших дозах может не произойти серьезных повреждений желудочно-кишечного тракта или организм с ними справится, и тем не менее смерть может наступить через один-два месяца с момента облучения главным образом из-за разрушения клеток красного костного мозга - главного компонента кроветворной системы организма: от дозы в 3-5 Гр. при облучении всего тела умирает примерно половина всех облученных.

Красный костный мозг и другие элементы кроветворной системы наиболее уязвимы при облучении и теряют способность нормально функционировать уже при дозах облучения 0,5-1 Гр. Однако, они обладают способностью к регенерации, и если доза облучения не настолько велика, чтобы вызвать повреждения всех клеток, кроветворная система может полностью восстановить свои функции. Если же облучению подверглось не все тело, а какая-то его часть, то уцелевших клеток мозга бывает достаточно для полного возмещения поврежденных клеток.

Репродуктивные органы и глаза также отличаются повышенной чувствительностью к облучению. Однократное облучение семенников при дозе всего лишь в 0,1 Гр. приводит к временной стерильности мужчин, а дозы свыше двух грэев могут привести к постоянной стерильности: лишь через много лет семенники смогут вновь продуцировать полноценную сперму. Яичники гораздо менее чувствительны к действию радиации, по крайней мере у взрослых женщин. Но однократная доза > 3 Гр. все же приводит к их стерильности.

Наиболее уязвимой для радиации частью глаза является хрусталик. Чем больше доза, тем больше потеря зрения. Помутневшие участки хрусталика могут образоваться при дозах облучения 2 Гр. и менее. Прогрессирующая катаракта - наблюдается при дозах около 5 Гр.

Дети также крайне чувствительны к действию радиации. Относительно небольшие дозы при облучении хрящевой ткани могут замедлить или вовсе остановить у них рост костей, что приводит к аномалиям развития скелета. Чем меньше возраст ребенка, тем сильнее подавляется рост костей. Оказалось также, что облучение мозга ребенка при лучевой терапии может вызвать изменения в его характере, привести к потере памяти, а у очень маленьких детей даже к слабоумию и идиотии. Кости и мозг взрослого человека способны выдерживать гораздо большие дозы.

Крайне чувствителен к действию радиации и мозг плода, особенно если мать подвергается облучению между восьмой и пятнадцатой неделями беременности. В этот период у плода формируется кора головного мозга, и существует большой риск того, что родится умственно отсталый ребенок.

Большинство тканей взрослого человека относительно мало чувствительны к действию радиации. Почки выдерживают суммарную дозу около 23 Гр., полученную в течение пяти недель, без особого для себя вреда; печень - по меньшей мере 40 Гр. за месяц; мочевой пузырь - по меньшей мере 55 Гр. за четыре недели, а зрелая хрящевая ткань-до 70 Гр. Легкие - гораздо более уязвимы, а в кровеносных сосудах незначительные, но, возможно, существенные изменения могут происходить уже при относительно небольших дозах.

Конечно, облучение в терапевтических дозах, как и всякое другое облучение, может вызвать заболевание раком в будущем или привести к неблагоприятным генетическим последствиям. Облучение в терапевтических дозах, однако, применяют обыкновенно для лечения рака, когда человек смертельно болен, а поскольку пациенты в среднем довольно пожилые люди, вероятность того, что они будут иметь детей, также относительно мала.

**Рак**

Рак - наиболее серьезное из всех последствий облучения человека при малых дозах. Обширные обследования, охватившие около 100.000 человек, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 году, показали, что пока рак является единственной причиной повышенной смертности в этой группе населения.

Почти все данные о частоте заболевания раком в результате облучения получены при обследовании людей, получивших относительно большие дозы облучения -1 Гр. и более. Имеется весьма немного сведений о последствиях облучения при дозах, связанных с некоторыми профессиями, и совсем отсутствуют прямые данные о действии доз облучения, получаемых населением Земли в повседневной жизни. Поэтому нет никакой альтернативы такому способу оценки риска населения при малых дозах облучения, как экстраполяция оценок риска при больших дозах (уже не вполне надежных) в область малых доз облучения.

НКДАР ООН, равно как и другие учреждения, занимающиеся исследованиями в этой области, в своих оценках опирается на два основных допущения, которые пока что вполне согласуются со всеми имеющимися данными. Согласно первому допущению, не существует никакой пороговой дозы, за которой отсутствует риск заболевания раком. Любая сколь угодно малая доза увеличивает вероятность заболевания раком для человека, получившего эту дозу, и всякая дополнительная доза облучения еще более увеличивает эту вероятность. Второе допущение заключается в том, что вероятность, или риск, заболевания возрастает прямо пропорционально дозе облучения: при удвоении дозы риск удваивается, при получении трехкратной дозы - утраивается и т.д. НКДАР полагает, что при таком допущении возможна переоценка риска в области малых доз, но вряд ли возможна его недооценка. На такой заведомо несовершенной, но удобной основе и строятся все приблизительные оценки риска заболевания различными видами рака при облучении.

Согласно имеющимся данным, первыми в группе раковых заболеваний, поражающих население в результате облучения, стоят лейкозы. Они вызывают гибель людей в среднем через 10 лет с момента облучения - гораздо раньше, чем другие виды раковых заболеваний.

Согласно оценкам НКДАР ООН, от каждой дозы облучения в 1 Гр. в среднем два человека из тысячи умрут от лейкозов. Иначе говоря, если кто-либо получит дозу 1 Гр. при облучении всего тела, при котором страдают клетки красного костного мозга, то существует один шанс из 500, что этот человек умрет в дальнейшем от лейкоза.

Самыми распространенными видами рака, вызванными действием радиации, оказались рак молочной железы и рак щитовидной железы. По оценкам НКДАР, примерно у десяти человек из тысячи облученных отмечается рак щитовидной железы, а у десяти женщин из тысячи рак молочной железы.

Однако обе разновидности рака в принципе излечимы, а смертность от рака щитовидной железы особенно низка.

Рак легких, напротив, беспощадный убийца. Он тоже принадлежит к распространенным разновидностям раковых заболеваний среди облученных групп населения.

Рак других органов и тканей, как оказалось, встречается среди облученных групп населения реже. Согласно оценкам НКДАР. вероятность умереть от рака желудка, печени или толстой кишки составляет примерно всего лишь 1/1000 на каждый грэй средней индивидуальной дозы облучения, а риск возникновения рака костных тканей, пищевода, тонкой кишки, мочевого пузыря, поджелудочной железы, прямой кишки и лимфатических тканей еще меньше и составляет примерно от 0,2 до 0,5 на каждую тысячу и на каждый грэй средней индивидуальной дозы облучения.

Дети более чувствительны к облучению. чем взрослые, а при облучении плода риск заболевания раком, по-видимому, еще больше. В некоторых работах действительно сообщалось, что детская смертность от рака больше среди тех детей, матери которых в период беременности подверглись воздействию рентгеновских лучей.

Есть ряд вопросов еще более сложных, требующих изучения. Радиация, например, может в принципе оказывать действие на разные химические и биологические агенты, что может приводить в каких-то случаях к дополнительному увеличению частоты заболевания раком

Очевидно, что этот вопрос чрезвычайно важен, потому что радиация присутствует всюду, а в современной жизни много разнообразных агентов, которые могут с ней взаимодействовать. Относительно некоторых из них возникли кое-какие подозрения, но серьезные доказательства были получены только для одного из них: **табачного дыма.** Оказалось, что шахтеры урановых рудников из числа курящих заболевают раком гораздо раньше.

Давно высказывались предположения, что облучение, возможно, ускоряет процесс старения и таким образом уменьшает продолжительность жизни. Однако достаточно убедительных доказательств, подтверждающих эту гипотезу, как для человека, так и для животных (по крайней мере при умеренных и малых дозах, получаемых при хроническом облучении) нет. Облученные группы людей действительно имеют меньшую продолжительность жизни, но во всех известных случаях это целиком объясняется большей частотой раковых заболеваний.

**Генетические последствия облучения**

Изучение генетических последствий облучения связано с еще большими трудностями, чем в случае рака. Во-первых, очень мало известно о том, какие повреждения возникают в генетическом аппарате человека при облучении; во-вторых, полное выявление всех наследственных дефектов происходит лишь на протяжении многих поколений; и, в-третьих, как и в случае рака, эти дефекты невозможно отличить от тех, которые возникли совсем по другим причинам.

Около 10% всех живых новорожденных имеют те или иные генетические дефекты начиная от необременительных физических недостатков типа дальтонизма и кончая такими тяжелыми состояниями, как синдром Дауна, хорея Гентингтона и различные пороки развития. Многие из эмбрионов и плодов с тяжелыми наследственными нарушениями не доживают до рождения; согласно имеющимся данным, около половины всех случаев спонтанного аборта связаны с аномалиями в генетическом материале. Но даже если дети с наследственными дефектами рождаются живыми, вероятность для них дожить до своего первого дня рождения в пять раз меньше, чем для нормальных детей.

Генетические нарушения можно отнести к двум основным типам: хромосомные аберрации, включающие изменения числа или структуры хромосом, и мутации в самих генах. Генные мутации подразделяются далее на доминантные (которые проявляются сразу в первом поколении) и рецессивные (которые могут проявиться лишь в том случае, если у обоих родителей мутантным является один и тот же ген: такие мутации могут не проявиться на протяжении многих поколений или не обнаружиться вообще). Оба типа аномалий могут привести к наследственным заболеваниям в последующих поколениях, а могут и не проявиться вообще.

Несколько настораживает сообщение о том, что у людей, получающих малые избыточные дозы облучения, действительно наблюдается повышенное содержание клеток крови с хромосомными нарушениями. Этот феномен при чрезвычайно низком уровне облучения был отмечен у жителей курортного местечка Бадгастайн в Австрии и там же среди медицинского персонала, обслуживающего радоновые источники с целебными, как полагают, свойствами.

Поскольку нет никаких других сведений, приходится оценивать риск появления наследственных дефектов у человека, основываясь на результатах, полученных в многочисленных экспериментах на животных.

В последнем докладе НКДАР впервые была сделана попытка оценить ущерб, наносимый обществу серьезными генетическими дефектами, всеми вместе и каждым в отдельности. Например, и синдром Дауна, и хорея Гентингтона - это серьезные генетические заболевания, но социальный ущерб от них неодинаков. Хорея Гентингтона поражает организм человека между 30 и 50 годами и вызывает очень тяжелую, но постепенную дегенерацию центральной нервной системы; синдром Дауна проявляется в очень тяжелом поражении организма с самого рождения. Если пытаться как-то дифференцировать эти болезни, то очевидно, что синдром Дауна следует расценивать как болезнь, причиняющую обществу больше ущерба, чем хорея Гентингтона.

Несмотря на свою приблизительность, эти оценки все же необходимы, поскольку они представляют собой попытку принять в расчет социально значимые ценности при оценке радиационного риска. А это такие ценности, которые все в большей степени влияют на решение вопроса о том, приемлем риск в том или ином случае или нет. И это можно только приветствовать.

# Аварии с выбросом радиоактивных веществ

### основные понятия

Радиационно опасный объект (РОО) - научный, промышленный или оборонный объект, при авариях или разрушениях которого могут произойти массовые радиационные поражения людей, животных, растений и радиоактивное заражения среды.

Имеется несколько видов промышленных РОО:

Атомная станция (АС) - промышленное предприятие для производства энергии в заданных условиях и режимах применения, располагающееся в пределах конкретной территории, на котором используется ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимым персоналом.

Атомная электрическая станция (АЭС) - атомная станция предназначенная для производства электрической энергии.

Атомная теплоэлектроцентраль (АТЭЦ) - атомная станция предназначенная для производства тепловой и электрической энергии.

Атомная станция теплоснабжения (АСТ) - атомная станция предназначенная для производства тепловой энергии для бытовых целей.

Атомная станция промышленного теплоснабжения (АСПТ) - атомная станция предназначенная для производства горячей воды и пара для технических и бытовых целей.

В период нормального функционирования РОО с целью профилактики и контроля выделяют 2 основные зоны безопасности:

Санитарно-защитная зона РОО - территория вокруг объекта, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации объекта может превысить предел дозы.

Зона наблюдения - территория, где возможно влияние радиоактивных сбросов и выбросов РРО и где облучение проживающего населения может достигать установленного предела дозы.

Наибольшую опасность для персонала РОО и близ живущего населения представляет радиационная авария.

Радиационная авария - авария, связанная с выбросом радиоактивных продуктов и (или) выходом ионизирующего облучения за предусмотренные проектом границы для нормальной эксплуатации РОО в кол-вах, превышающих установленные пределы безопасности эксплуатации объекта.

Местная радиационная авария - нарушение в работе РОО, при котором произошел выход радиоактивных продуктов в пределах санитарно-защитной зоны объекта в кол-вах, превышающих установленные для нормальной эксплуатации объекта значения.

Общая радиационная авария - нарушение в работе РОО, при котором произошел выход радиоактивных продуктов за пределы санитарно-защитной зоны объекта в кол-вах, приводящих к радиоактивному загрязнению прилегающей территории и возможному облучению проживающего на ней населения выше установленных норм.

В зависимости от возможности предусмотреть возникновение аварии заблаговременно и осуществить необходимые подготовительные меры, аварии могут быть разделены на проектные и запроектные.

Проектная авария - авария, для которой проектом определены исходные события и конечные послеаварийные контролируемые состояния элементов и систем, а также предусмотренные меры и технические системы безопасности, обеспечивающие ограничение последствий аварии установленными пределами.

Запроектная авария - авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями и сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа и ошибочными действиями персонала, что в итоге проводит к тяжелым последствиям, в том числе может привести к расплавлению активной зоны.

Уровень аварийной готовности - установленная степень готовности персонала, штабов ГО, и др. привлекаемых сил, а также используемых технических средств для действий по защите персонала и населения в случае нарушения условий безопасной эксплуатации, аварийной ситуации и аварии.

Последствия аварии - возникающая в результате аварии на РОО радиационная обстановка, а также ее долговременные последствия, наносящие ущерб за счет радиационного воздействия на персонал, население, объекты техносферы и природную среду, а также их радиационного загрязнения.

Непосредственные последствия радиационной аварии обуславливаются радиоактивным заражением объектов и поражающим действием ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение - излучение, состоящее из потока элементарных частиц и квантов электромагнитного излучения, взаимодействие которого с веществом приводит к образовании в последнем разнополярных ионов. Энергия частиц ионизирующего излучения измеряется во внесистемные единицах - **электрон-вольтах** (эВ).

Альфа-излучение (α-излучение) - ионизирующее излучение, состоящее из α-частиц (ядер гелия), испускаемых при ядерных превращениях.

Бета-излучение (β-излучение) - электронное (позитронное) ионизирующее излучение, с непрерывным энергетическим спектром, испускаемое при ядерных превращениях.

Гамма-излучение (γ-излучение) - фотонное (электромагнитное) ионизирующее излучение, испускаемое при ядерных превращениях и аннигиляции частиц.

Поражение людей, животных и растений происходит за счет внутреннего и внешнего облучения от источника ионизирующего излучения.

Источник ионизирующего излучения - устройство или радиоактивное вещество, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение.

Радионуклид - атомы радиоактивного в-ва с данным атомным числом и атомным номером, а для изомерных изотопов - и с данным энергетическим состоянием атомного ядра.

Активность радионуклида в источнике - мера радиоактивности, равная отношению числа самопроизвольных ядерных превращений в этом источнике за малый интервал времени к этому интервалу. Единица измерения активности: внесистемная - **кюри** (Ки), в СИ - **беккераль** (Бк).

Внешнее облучение - облучение тела от находящегося вне его источника ионизирующего излучения. Внешнее облучение происходит, главным образом, за счет гамма-излучения и нейтронов.

Внутреннее облучение - облучение тела от находящегося внутри него источника ионизирующего излучения. Внутреннее облучение происходит, за счет альфа-, бета- и гамма-излучения.

Люди, имеющие то или иное отношение к радиационно опасным объектам, с точки зрения потенциальной опасности для них, подвергаются радиационному воздействию и подразделяются на категории А, Б и В.

Категория А облучаемых лиц или персонал - лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения.

Категория Б облучаемых лиц или ограниченная часть населения - лица, которые не работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных в-в и др. источников излучения, применяемых в РОО и (или) удаляемых во внешнюю среду.

Категория В облучаемых лиц или население - население страны, республики, края, области.

Критическая группа лиц - наибольшая по численности группа лиц категории Б, однородная по условиям жизни, возрасту, полу или др. факторам, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию в пределах учреждениях, его санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.

Важнейшими дозиметрическими характеристиками радиационного воздействия, критериями, определяющими меру его опасности для человека, являются дозы облучения.

Экспозиционная доза - характеризует ионообразующие возможности рентгеновского или гамма-излучения. Единица измерения: внесистемная - **рентген** (р), в СИ - **кулон** **на** **килограмм** (Кл/кг).

Рентген - доза рентгеновского или гамма излучения, под влиянием которого в 1 см3 сухого воздуха при температуре 00 С и давлении 760 мм рт. ст. создаются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака (т.е. 2,08 × 109 пар ионов в 1 м3 воздуха).

Мощность экспозиционной дозы (Р) - измеряется в **рентгенах / в час**.

**Поглощенная доза** - энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым телом (тканями организма), в пересчете на единицу массы. Единица измерения: внесистемная - **рад** (1 рад = 100 эрг/г = 0,01 Дж/кг = 2, 388 × 10-6 кал/г), в СИ - **грей** (1 грей = 1 Дж/кг). 1 рад = 0,01 грея.

**Эквивалентная доза** - Поглощенная доза, умноженная на коэффициент, отражающий способность данного вида излучения повреждать ткани организма. Единица измерения: внесистемная - **бэр**, в СИ - **зиверт** (Зв).

**Эффективная эквивалентная доза** - эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению. Единица измерения - **зиверт** (Зв).

**Коллективная эффективная эквивалентная доза** - эквивалентная доза, полученная группой людей от какого либо источника радиации. Измеряется в **человеко-зивертах** (чел./Зв.)

**Полная (ожидаемая) коллективная эффективная эквивалентная доза** - коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получат поколения людей от какого либо источника за все время его дальнейшего существования.

Бэр (биологический эквивалент рентгена) - такая погашенная доза любого излучения, которая вызывает тот же биологический эффект, что и 1 рентген гамма-излучения.

Предел дозы (ПД) - основной дозовый предел для категории Б облучаемых лиц. Представляет собой такое наибольшее значение (среднее) индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год у критической группы лиц, при котором равномерное облучение в течении 70 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Предельно допустимая доза (ПДД) - основной дозовый предел для категории А облучаемых лиц. ПДД - такое наибольшее значение (среднее) индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при котором равномерное облучение в течении 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Предел годового поступления (ПГП) - допустимый уровень поступления радионуклида в организм для категории Б облучаемых лиц. ПГП - такое поступление радионуклидов в течении календарного года, которое за 70 последующих лет создаст в критическом органе максимальную эквивалентную дозу, равную пределу дозы (ПД). При ежегодном поступлении на уровне ПГП средняя эквивалентная доза за любой календарный год у критической группы лиц категории Б будет равна или меньше ПД в зависимости от времени достижения равновесного содержания радионуклида в организме.

В ходе радиационной аварии, как результат градации ее последствий, образуются зоны, имеющие различную степень опасности для здоровья людей и характеризуемые той или иной возможной дозой облучения.

Зона возможного опасного радиоактивного загрязнения - территория, в пределах которой на случай общей радиационной аварии на АС прогнозируются дозовые нагрузки превышающие 10 бэр в год.

Зона экстренных мер защиты населения - территория, в пределах которой доза внешнего гамма-облучения населения за время формирования радиоактивного следа выбросов при общей радиационной аварии на АС может превысить 75 рад, а доза внутреннего облучения щитовидной железы за счет поступления в организм человека радиоактивного йода (I2) - 250 рад.

Зона профилактических мероприятий - территория, в пределах которой доза внешнего гамма-облучения населения за время формирования радиоактивного следа выбросов при общей радиационной аварии на АС может превысить 25 рад (но не более 75 рад), а доза внутреннего облучения щитовидной железы за счет поступления в организм человека радиоактивного йода (I2) может превысить 30 рад (но не более 250 рад).

Зона ограничений - территория, в пределах которой доза внешнего гамма-облучения населения за время формирования радиоактивного следа выбросов при общей радиационной аварии на АС может превысить 10 рад (но не более 25 рад), а доза внутреннего облучения щитовидной железы за счет поступления в организм человека радиоактивного йода (I2) не превышает 30 рад.

Зона радиационной аварии - территория, на которой могут быть превышены пределы дозы (ПД) и пределы годового поступления (ПГП), установленные НРБ 76/88.

После стабилизации радиационной обстановки в районе аварии в период ликвидации ее долговременных последствий могут устанавливаться зоны:

1. отчуждения - с загрязнением по гамма-излучению - свыше 20 мр/ч, по цезию - свыше 40 кюри/км2, по стронцию - свыше 10 кюри/км2;
2. временного отселения - с загрязнением по гамма-излучению -5-20 мр/ч, по цезию - 15 - 40 кюри/км2, по стронцию - 3-10 кюри/км2;
3. жесткого контроля - с загрязнением по гамма-излучению -3 - 5 мр/ч, по цезию - до 15 кюри/км2, по стронцию - до 3 кюри/км2;

# Последствия радиационных аварий

Последствия радиационных аварий обусловлены их поражающими факторами. Ими являются радиационное воздействие и радиоактивное загрязнение. Аварии могут начинаться и сопровождаться взрывами и пожарами.

Наиболее тяжелыми последствиями сопровождаются общие аварии на атомных станциях (АС).

Последствия радиационных аварий в основном оцениваются масштабом и степенью радиационного воздействия и радиоактивного загрязнения, а также составом радионуклидов и количеством радиоактивных веществ в выбросе.

В ходе и после аварии на уровень и долговечность последствий, а также радиоактивную обстановку значительное влияние оказывают естественный распад радиоактивных в-в, миграция этих в-в в окружающей среде, метеорологические и климатические факторы, результативность работ по ликвидации последствий аварии, в том числе дезактивация и водоохранные мероприятия.

В первоначальный период после аварии наибольший в клад в общую радиоактивность вносят радионуклиды с коротким периодом полураспада (обычно до 2 месяцев). В последующем спад активности определяется нуклидами с большим периодом полураспада - от нескольких сот суток до тысяч лет. Из них долгое время основную долю в динамику радиационной обстановки вносят биологически опасные радионуклиды (цезий - 137; стронций - 90; плутоний - 239 и др.).

Радиационному воздействия подвергаются люди, с/х животные и растения, приборы, чувствительные к излучению.

Радиоактивному загрязнению подвергаются сооружения, коммуникации, технологическое оборудование, транспортные средства, имущество, материалы, продовольствие, с/х угодья и природная среда.

Значительный отрицательный эффект экономике страны несут такие последствия аварии на РОО, как выход их из строя, что вызывает прекращение производства ядерного топлива, электрической и тепловой энергии, а так же переработке отработанных элементов с ядерным горючим и захоронения радиоактивных отходов.

Радиационное воздействие на человека состоит из ионизации тканей его тела и возникновение лучевой болезни различных степеней тяжести. При этом, прежде всего, поражаются кроветворные органы (селезенка, красный костный мозг), в результате чего наступает кислородное голодание тканей, резко снижается иммунная защита организма, ухудшается свертываемость крови.

Радиационное воздействие на персонал и население характеризуется величинами доз внешнего и внутреннего облучения. Дозы внутреннего и внешнего облучения рассчитываются по каждому из возможных путей радиационного воздействия на человека, а также по суммарному воздействию. Радионуклиды в живые организмы поступает из атмосферного воздуха, с водой и пищей.

При расчете дозовых нагрузок на население учитывается долговременные и кратковременные факторы радиационного воздействия различных видов радионуклидов на различные возрастные группы населения. Дозовые нагрузки характеризуются эффективными эквивалентными дозами внешнего и внутреннего органов и тканей организма различными радионуклидами или их смесью.

Радиоактивное загрязнение среды характеризуется поверхностной (объемной) плотностью радиоактивных в-в и измеряется активностью радионуклида, приходящейся на единицу площади (объема).

В результате радиоактивного загрязнения выводятся из хозяйственного оборота с/х и промышленные предприятия, жилье, объекты соцкультбыта, с/х и лесные угодья, водоемы и подземные источники воды, значительные природные территории. Тяжелые социально-экономические последствия вызываются эвакуацией населения с загрязненных территорий и необходимостью мероприятий жизнеобеспечения людей, проживающих на зараженной местности.

# профилактика возможных радиационных аварий и снижение ущерба от них

Основными направлениями работ по профилактике возникновения аварий на РОО является создание высоконадежной техники и технологий, бездефектное изготовление оборудования, качественное выполнение монтажа и строительство, строгое соблюдение технологий и правил эксплуатации. Эффективным путем повышения безопасности ядерной энергетики является создание реакторов повышенной устойчивости и высоконадежных систем технологической безопасности. Наиболее перспективными являются высокотемпературные газовые реакторы (ВТГР), способные противостоять отказам оборудования, технологическим и эксплуатационным нарушениям, а также применение быстродействующих средств защиты, в том числе автоматических отсечных устройств, систем взрывопредупреждения и локализации аварии.

Основными направлениями предотвращения и снижение потерь и ущерба при радиационных авариях являются:

1. рациональное размещение РОО с учетом возможных последствий аварий;
2. специальные меры по ограничению распространения выбросов за пределы санитарно-защитной зоны;
3. меры по защите персонала и близ живущего населения.

При размещении РОО на территории страны и его привязке к конкретной местности наравне с хозяйственно-экономическими факторами должны учитываться факторы безопасности. Ограниченны по минимуму расстояния населенных пунктов до АС. Пристанционный поселок с населением до 50 тыс. чел. должен размещаться не ближе 8 км от АС. Минимально допустимое расстояние от АЭС до города с населением от 500 тыс. чел. до 1 млн. чел. - 30 км, а с населением свыше 2 млн. чел. - 100 км. Расстояние от АСТ до города с численностью населения на выше 1,5 млн. чел. устанавливается не менее 5 км. Плотность населения в 25-км зоне не более 100 чел./км2. При размещении РОО должна учитываться сейсмическая активность зоны, ее геологические и ландшафтные особенности.

Специальные меры по ограничению распространения выбросов включают конструктивные способы предотвращения выбросов и локализации реактора, установления санитарно-защитных зон, специальные мероприятия по улучшению при авариях условий локализации радиоактивных продуктов. Радиус санитарно-защитной зоны АС должен определяться расчетом мощности выбросов радионуклидов в воздух с учетом перспективного роста мощности станции, а также метеоусловий.

Специальные меры по защите персонала и населения включают:

1. создание автоматизированной системы контроля радиационной обстановки;
2. создание локальной системы оповещения персонала и населения в 30-км зоне;
3. первоочередное строительство и приведение в готовность защитных сооружений в радиусе 30 км вокруг АС, а также использование подвальных и др. легко герметизируемых помещений;
4. определение перечня населенных пунктов и численности проживающих в них населения, подлежащего защите на месте или эвакуации из зон возможного опасного радиоактивного загрязнения;
5. создание запасов медикаментов, средств индивидуальной защиты и др. средств, необходимых для защиты населения и его жизнеобеспечения;
6. разработка оптимальных режимов поведения населения и подготовка его к действиям во время аварии:
7. создание на АС специальных формирований;
8. прогнозирование радиационной обстановки;
9. организация радиационной разведки;
10. периодическое проведение учений ГО на АС и прилегающей территории.

# основные нормы поведения и действия населения при радиационных авариях и радиоактивном загрязнении местности

Получив сигнал “Радиационная опасность” и информацию о радиационной аварии, персонал предприятия, учреждений и населения действуют в соответствии с полученными конкретными рекомендациями.

В случае, если в поступившей информации отсутствуют рекомендации по действиям, следует защитить органы дыхания (платок, шарф и т. д.) и по возможности быстро укрыться в ближайшем здании, лучше всего в собственной квартире.

Войдя в помещение, снять и поместить верхнюю одежду и обувь в пластиковый пакет или пленку, закрыть окна и двери, отключить вентиляцию, включить телевизор или радиоприемник, занять место в дали от окон, быть в готовности к приему информации и указаний.

При наличии измерителя мощности дозы, определить уровень радиации в помещении и степень его зараженности.

Провести герметизацию помещения и защиту продуктов питания. Для этого подручными средствами заделать щели в окнах и дверях, заклеить вентиляционные отверстия. Открытые продукты поместить в полиэтиленовые пакеты или завернуть в пленку. Сделать запас воды в закрытых сосудах. Продукты и воду поместить в холодильники и закрываемые шкафы.

При получении указаний по средствам информации или телефону провести профилактику препаратами йода. При их отсутствии использовать 5 % раствор йода: 3-5 капель на стакан воды для взрослых и 1-2 капли на 100 г жидкости для детей до 2-х лет. Прием повторить через 5-7 часов.

При приготовлении и приеме пищи все продукты, выдерживающие воздействие воды, промывать.

Строго соблюдать правила личной гигиены, предотвращающие и значительно снижающие внутреннее облучение организма.

При необходимости защитить органы дыхания имеющимися средствами индивидуальной защиты: противогазами, респираторами, ватно-тканевыми повязками, противопыльными тканевыми масками или применить подручные средства (платки, шарфы, и прочие тканевые изделия).

Помещение оставлять только при крайней необходимости и на краткое время. При выходе защищать органы дыхания с помощью противогаза, респиратора, ватно-тканевой повязки, подручных средств, а также применять плащи, накидки из подручных материалов и табельные средства защиты кожи. После возвращения переодеться.

Подготовиться к возможной эвакуации. Для этого подготовить необходимые вещи:

1. средства индивидуальной защиты, в том числе накидки, плащи из синтетических пленок, резиновые сапоги, перчатки и др.;
2. одежду и обувь согласно сезона года;
3. однодневный запас продуктов и лекарств для больных;
4. нижнее белье;
5. документы, деньги и другие ценные и крайне необходимые вещи;

Лишних вещей в эвакуацию не брать. Вещи и продукты уложить в рюкзак или чемодан, сумку. Они должны иметь вес и габариты, позволяющие без особых усилий перемещать их одному человеку и не перегружать транспорт. Рюкзаки и чемоданы упаковать в синтетическую пленку.

Перед выходом из помещения для эвакуации очистить холодильники, отключить все электро- и газовые приборы, убрать мусор. Подготовить транспорт “В помещении (квартире № \_\_\_ ) никого нет”.

При убытии закрыть квартиру и вывесить на дверь заготовленный транспорт. При посадке на транспорт зарегистрироваться в эвакокомиссии.

Находясь на открытой загрязненной местности, не снимать средства инд. защиты , избегать поднятие пыли и движения по высокой траве и кустарнику, без надобности не садиться и не прикасаться к посторонним предметам. Запрещается пить, принимать пищу и курить. Необходимо периодически проводить частичную дезактивацию средств защиты кожи, одежды и вещей путем их осторожного обтирания или обметания, а также частичную санитарную обработку смыванием или обтиранием открытых участков тела.

При прибытии в район размещения эвакуированных сдать средства инд. защиты и одежду на дезактивацию или утилизацию, или провести ее самостоятельно путем выколачивания или вытряхивания, находясь при этом в средствах защиты дыхания с наветренной стороны. Промыть глаза 2 % раствором питьевой соды или чистой водой, прополоскать рот и горло, 2 раза вымыть тело водой с мылом. После прохождения дозиметрического контроля, надеть чистое белье, одежду и обувь.

При проживании на местности, степень загрязненности которой превышает норму, но не превышает опасных пределов, соблюдается специальный режим поведения, проводятся меры по профилактики пылеобразования, ведению с/х производства в личных хоз-вах, профилактике поступления радиоактивных в-в с продуктами питания и водой в организм.

На приусадебном хозяйстве следует выкосить траву, по утрам увлажнять территорию участка водой.

Уборка в помещении должна проводиться влажным способом с тщательны удаление пыли с мебели и подоконников. Ковры половики и др. тканые изделия не следует вытряхивать, а чистить пылесосом или блажной тряпкой. Уличную обувь тщательно мыть и оставлять за порогом. Мусор из пылесоса и тряпичную ветошь необходимо сбрасывать в яму глубиной не менее 50 см.

При проведении полевых работ обязательное использование ватно-марлевой повязки, спец. одежды и головного убора. В конце рабочего дня обязательно принять душ.

При ведении приусадебного хоз-ва для ограничения радиоактивного загрязнения выращиваемых культур в почву вносятся известь, калийные и др. удобрения, а также торф. Во время уборки урожая продукты непосредственно на почву не складируются. Они подвергаются выборочному дозиметрическому контролю. В случае их загрязнения - промываются (очищаются) и, в зависимости от результата вторичного контроля, используются по назначению или в корм скоту.

Вся продукция, получаемая от с/х животных, птицы, пчел подвергаются выборочному дозиметрическому контролю. При обнаружении загрязнения эти продукты подлежат обязательной продаже заготовительным организациям для обезвреживания или утилизации.

С/х животные, помещения где они содержатся, оборудование и продукция должны содержаться в чистоте. Водопой скота осуществляется из закрытых источников. Навоз складируется на оборудованных площадках.

Не рекомендуется употреблять рыбу и раков из местных водоемов, особенно мелких, способных к накоплению радиоактивных в-в.

Заготовка ягод, грибов, лекарственных трав осуществляется по разрешению местных властей с определенных территорий только после дозиметрического контроля.

# Литература

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск: пер с англ. М.: Мир, 1988. С. 17-71.

2. Дж. Х. Хемфри, И. Бархоп, Г.Х. Лэс и др. Радиоактивная опасность (опасность от радиоактивных выпадений в результате ядерных взрывов). М., Атомиздат, 1958. 183.