



РАДИАЦИЯ

ЭФФЕКТЫ И ИСТОЧНИКИ

Что такое радиация?
Что радиация делает с нами?
Откуда появляется радиация?

>1 000 мЗв

Доза, используемая в лучевой терапии

100 мЗв

Доза, получаемая космонавтом (4 месяца)

10 мЗв

КТ брюшной полости

1 мЗв

Доза для работника атомной промышленности (1 год)

0,1 мЗв

Флюорография или облучение при перелетах (20 часов)

0,01 мЗв

Рентгеновский снимок зубов

0,001 мЗв

Бразильский орех (30 г)



ЮНЕП

РАДИАЦИЯ

ЭФФЕКТЫ И ИСТОЧНИКИ

Что такое радиация?
Что радиация делает с нами?
Откуда появляется радиация?

Программа ООН по окружающей среде

ОГРАНИЧЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Данная публикация в значительной степени основывается на заключениях Научного комитета ООН по действию атомной радиации, подотчетного органа Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций, секретариат которого поддерживается Программой ООН по окружающей среде. Эта публикация не обязательно отражает точку зрения Научного комитета или Программы ООН по окружающей среде.

Используемые обозначения и изложенный материал в настоящем издании не выражают какого-либо мнения со стороны Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде в отношении правового статуса той или иной страны, территории, города или района, или их властей, или относительно определения их границ.

Эта публикация может быть воспроизведена частично и в любой форме в образовательных или некоммерческих целях без специального разрешения владельца авторских прав, при условии указания источника. Программа ООН по окружающей среде будет признательна за предоставление копии любой публикации, использующей данную в качестве источника.

Не допускается использование данной публикации для перепродажи или для любых других коммерческих целей без предварительного письменного разрешения Программы ООН по окружающей среде.

Программа ООН по окружающей среде содействует осуществлению экологически безопасной практики во всем мире и в своей собственной деятельности. Данная публикация была напечатана на переработанной бумаге 100 % без содержания хлора. Политика распространения ЮНЕП направлена на сокращение выбросов углекислого газа.

Каталогизация: Радиация: эффекты и источники, Программа ООН по окружающей среде, 2016

ISBN: 978-92-807-3598-7

№ работы: DEW/2034/NA

Copyright © Программа ООН по окружающей среде, 2016

Электронная версия



РАДИАЦИЯ

ЭФФЕКТЫ И ИСТОЧНИКИ

Что такое радиация?
Что радиация делает с нами?
Откуда появляется радиация?

Программа ООН по окружающей среде

БЛАГОДАРНОСТИ

Данный буклет в значительной степени основывается на заключениях Научного комитета ООН по действию атомной радиации и на публикации Программы ООН по окружающей среде Радиация: дозы, эффекты, риски, изначально изданной в 1985 г. и в 1991 г. Джефри Лином.

Изначально данный буклет был опубликован на английском языке. Перевод был любезно подготовлен ФГБУ Государственным научным центром Российской Федерации-Федеральным медицинским биофизическим центром им. А.И. Бурназяна и ФГБУН Уральским научно-практическим центром радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства (Российская Федерация). В случае возникновения каких-либо расхождений, язык оригинала является определяющим.

Техническое редактирование: Малколм Крик и Ферид Шеннон

Редактирование текста: Сьюзан Коуен-Унгер и Эйен Эврэнсель

Графика и макет: Александра Дизнер-Купфер

Кроме того, следующие лица внесли ценный вклад и замечания по данному буклету:

Лора Андерсон, Джон Купер, Сьюзан Куето-Хэберсак, Эмили ван Девентер, Джилиан Хёрт, Дэвид Кинли, Владислав Кленер, Кристин Лейзен, Катерина Навратилова-Ровенска, Джайа Моан, Вольфганг-Ульрих Мюллер, Мария Перез, Шин Сайгуса, Бертран Терио, Хироши Ясуда, и Энтони Риксон.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Хиросима, Нагасаки, Три-Майл-Айленд, Чернобыль и Фукусима-1 - эти названия стали ассоциироваться со страхом населения перед радиацией, возникшей в результате использования ядерного оружия и аварий на атомных электростанциях. В действительности люди ежедневно подвергаются гораздо более серьезному радиационному воздействию от многих других источников излучения, включая атмосферные и земные источники, а также от применения радиации в медицине и промышленности.



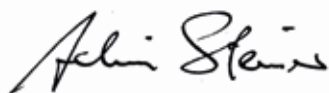
В 1955 году испытания ядерного оружия вызвали опасения общественности по поводу воздействия атомной радиации на качество воздуха, воды и пищи. В ответ на это Генеральная Ассамблея ООН учредила Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) для сбора и оценки информации об уровнях и эффектах радиационного воздействия. Первый доклад Комитета заложил научные основы для проведения переговоров по Соглашению о частичном запрете ядерных испытаний в 1963 году, которое запрещало атмосферные испытания ядерного оружия. С тех пор НКДАР ООН продолжает выпускать авторитетные отчеты о радиационном воздействии, возникшем в том числе и в результате аварий на Чернобыльской АЭС и на АЭС Фукусима-1. Комитет систематически выполняет работу, имеющую большое значение, как для научного сообщества, так и для политиков.

Хотя научное сообщество регулярно печатает информацию об источниках ионизирующего излучения и эффектах радиации, эти публикации носят специальный характер и, возможно, сложны для понимания широкой общественности. Такая информация часто запутывает, а не информирует общественность, а это означает, что страх и замешательство, возникшие несколько десятилетий назад, преобладают до сих пор. Эта публикация, пытаясь разрешить данную проблему, использует самую актуальную информацию от НКДАР ООН - о типах излучения, их источниках и воздействии на человека и окружающую среду, делая её доступной для широкого круга читателей.

В настоящее время Секретариат НКДАР ООН осуществляет свою деятельность при поддержке Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП),

которая помогает странам в осуществлении экологически рациональной политики и практики. Одной из основных компетенций ЮНЕП является помощь общественности в понимании основ радиации, и какое влияние она оказывает на нашу планету.

Я благодарю всех, кто внес вклад в подготовку данной публикации, включая всех членов Комитета и их делегации, которые усердно работали последние шесть десятилетий над этими важными вопросами.

A handwritten signature in black ink, reading "Achim Steiner". The signature is written in a cursive, flowing style.

Ахим Штайнер
Исполнительный директор ЮНЕП и
Заместитель Генерального Секретаря ООН

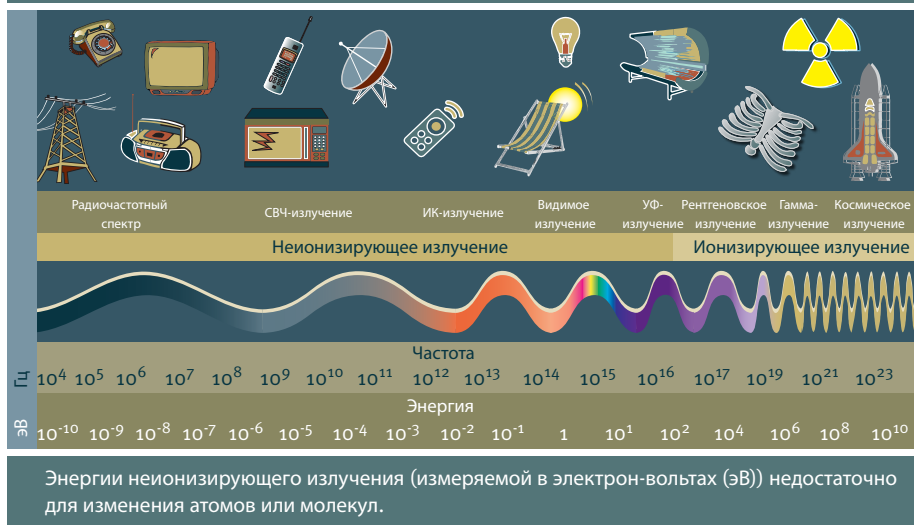
СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1. ЧТО ТАКОЕ РАДИАЦИЯ?	3
1.1. Немного истории	3
1.2. Несколько основных положений	4
Радиоактивный распад и период полураспада	6
Единицы ионизирующего излучения	7
1.3. Проникающая способность ионизирующего излучения	9
2. ЧТО РАДИАЦИЯ ДЕЛАЕТ С НАМИ?	11
2.1. Воздействие на человека	13
Ранние медицинские эффекты	14
Отдаленные медицинские эффекты	15
Воздействие на потомков	18
2.2. Эффекты облучения на животных и на растения	22
2.3. Зависимость доз радиации и эффектов	24
3. ОТКУДА ПОЯВЛЯЕТСЯ РАДИАЦИЯ?	27
3.1. Природные источники	28
Космические источники	28
Наземные источники	29
Источники в пище и напитках	32
3.2. Искусственные источники	32
Медицинское применение	33
Ядерное оружие	37
Ядерные реакторы	39
Промышленное и другие применения	48
3.3. Среднее радиационное воздействие на население и персонал	55

ВВЕДЕНИЕ

Прежде всего, нам необходимо различать понятия ионизирующее и неионизирующее излучение. *Ионизирующее излучение* обладает достаточной энергией, способной высвободить электроны из атома, оставляя, таким образом, атом заряженным; в то время как *неионизирующее излучение*, включающее в себя радио волны, видимое световое или ультрафиолетовое излучение, не обладает такой энергией. Данная публикация описывает эффекты радиационного воздействия как от естественных, так и от искусственных источников. Однако, понятие *радиация*, на протяжении всей публикации относится только к ионизирующему излучению.

Примеры различного применения излучения



В настоящее время об источниках и эффектах радиации мы знаем больше, чем о воздействии любого другого опасного фактора, потому что научное сообщество постоянно совершенствует и анализирует имеющуюся информацию. Большинство людей знает об использовании радиации во время производства электроэнергии на атомных станциях и в медицине. Тем не менее, о том, что ядерные технологии используются в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, науке и некоторых других сферах, практически неизвестно. Тот, кто читает про радиацию впервые в жизни, будет удивлен тому факту, что источниками радиации, вызывающими наибольшее облучение всего населения, необязательно являются те, к которым приковано больше всего внимания. В действительности причиной

максимального облучения являются естественные источники излучения, постоянно присутствующие в окружающей среде по всему миру, а основной вклад в облучение от искусственных источников вносит использование радиации в медицине. Более того, каждодневные действия, такие как перелет на самолете или проживание в домах с хорошей теплоизоляцией, особенно в определенных частях света, могут существенно увеличить радиационное облучение.

Данная публикация – это попытка Программы ООН по окружающей среде и секретариата Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) помочь повысить осведомленность общественности и углубить понимание об источниках ионизирующего излучения, уровнях и эффектах радиации. В 1955 г. Генеральной Ассамблеей ООН был учрежден НКДАР ООН, который объединяет ведущих ученых из 27 стран-участников ООН с целью оценить радиационное облучение, эффекты и риски в мировом масштабе. Однако, НКДАР ООН не устанавливает и даже не дает рекомендации по стандартам безопасности. Скорее предоставляет научную информацию, позволяющую органам государственной власти и другим организациям выполнять данную задачу. Основными источниками информации для данной публикации стали научные оценки НКДАР ООН за последние 60 лет.

1. ЧТО ТАКОЕ РАДИАЦИЯ?

Прежде чем говорить об уровнях эффектах и рисках радиационного воздействия, сначала необходимо обратиться к основам науки о радиации. Радиоактивность и радиация, которую она создает, существовали на Земле задолго до появления жизни. В действительности они присутствовали в космосе с момента возникновения Вселенной, а радиоактивное вещество было частью Земли с самого ее формирования. Но человечество впервые открыло это фундаментальное универсальное явление только в последние годы 19-го века, и мы всё ещё изучаем новые возможности его использования.

1.1. Немного истории

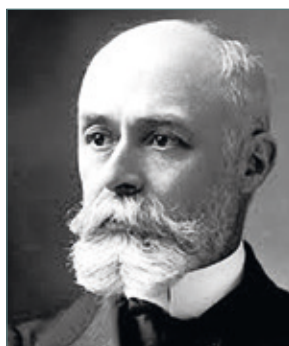
В 1895 г. Вильгельм Конрад Рентген, немецкий физик, открыл излучение, которое позволяло бы заглянуть внутрь человеческого тела, и назвал его рентгеновскими лучами. Это открытие ознаменовало начало медицинского использования радиации, которое с тех пор постоянно расширяется. Рентген был награжден первой Нобелевской премией в области физики в 1901 г. в знак признания его выдающихся заслуг перед человечеством. Через год после открытия Рентгена, Анри Беккерель, французский ученый, положил несколько фотографических пластинок в ящик вместе с фрагментами минерала, содержащего уран. Позже при исследовании пластинок он обнаружил на них, к своему удивлению, следы радиационного воздействия. Это явление получило название *радиоактивность*. Так было установлено, что радиоактивность возникает при спонтанном выбросе энергии атомом и в настоящий момент измеряется в единицах, названных беккерелями (Бк) в честь Анри Беккереля. Вскоре после этого юный химик Мари Склодовская-Кюри продолжила исследования и первой ввела в употребление термин радиоактивность. В 1898 г. она и ее муж, Пьер Кюри, обнаружили, что уран выделяет излучение и таинственным образом превращается в другие элементы, один из которых они



Вильгельм К. Рентген (1845–1923)



Мари Кюри (1867–1934)



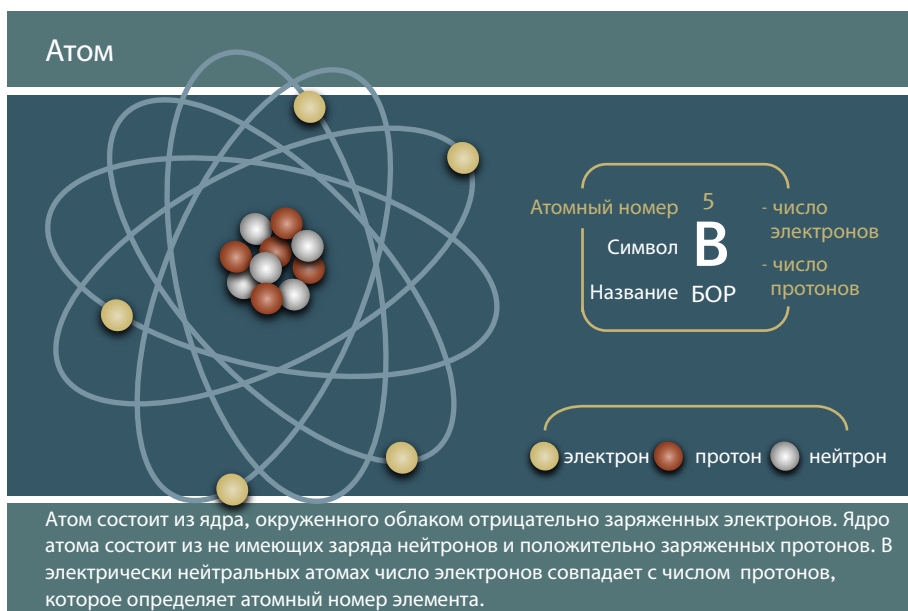
Анри Беккерель (1852–1908)

назвали полонием, в честь ее родины, а другой радием - «сияющим» элементом. В 1903 г. Мари Кюри разделила Нобелевскую премию по физике с Пьером Кюри и Анри Беккерелем. Она была первой женщиной, получившей 2 Нобелевские премии. Во второй раз в 1911 г. за открытия в области радиационной химии.

1.2. Несколько основных положений

Основная задача ученых заключалась в том, чтобы понять, что такое **атом**, а точнее, его структура. Мы знаем, что в атоме есть небольшое положительно заряженное ядро, окруженное облаком отрицательно заряженных **электронов**. Размер ядра примерно равен всего лишь одной стотысячной размера всего атома, однако оно настолько плотное, что составляет почти всю массу атома.

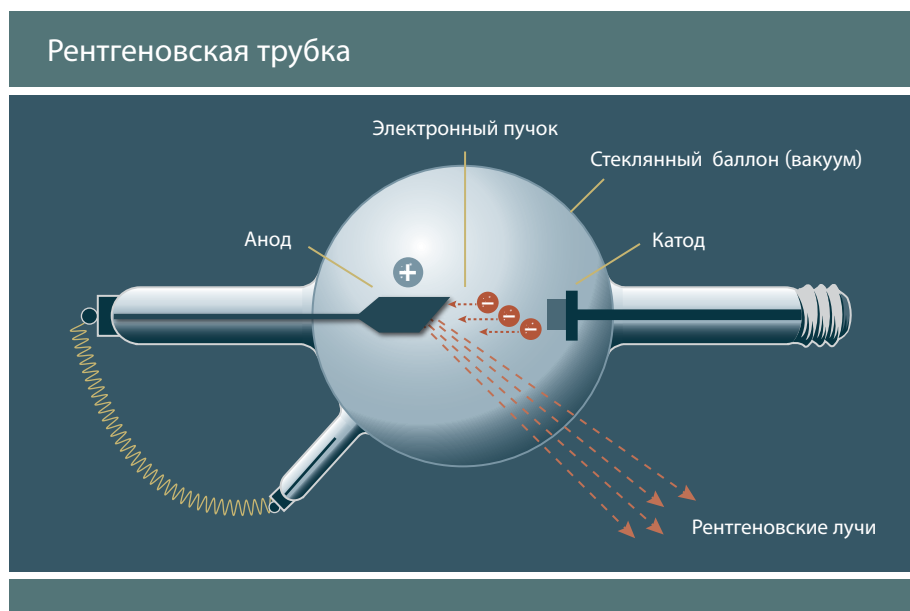
Обычно ядро представляет собой группу частиц, **протонов** и **нейтронов**, тесно связанных между собой сильными силами сцепления. Протоны положительно заряжены, нейтроны не имеют заряда и являются нейтральными. Химические элементы определяются количеством протонов в атоме (например, в атоме бора 5 протонов, а в атоме урана-92). Элементы с одинаковым числом протонов, но с разным числом нейтронов называются **изотопами** (например, уран-235 и уран-238 отличаются 3 нейтронами в основе ядра). В обычном состоянии атом, в целом, нейтрален, он не заряжен ни положительно, ни отрицательно, так как имеет одинаковое число как отрицательно заряженных электронов, так и положительно заряженных протонов.



Некоторые атомы по своей природе стабильны, другие - нестабильны. Атомы с нестабильными ядрами, которые спонтанно трансформируются, испуская энергию в виде излучения, называются *радионуклидами*. Эта энергия может поглощаться другими атомами и ионизировать их. *Ионизация* - это процесс, при котором атом приобретает положительный или отрицательный заряд в результате присоединения или потери электронов. Ионизирующее излучение несет в себе достаточно энергии, чтобы выбить электрон с орбиты, что приводит к возникновению заряженного атома - *иона*. Эмиссия двух протонов и двух нейтронов называется *альфа-распад*, а эмиссия электронов - *бета-распад*.

Часто нестабильный нуклид находится в столь возбужденном состоянии, что ему недостаточно эмиссии частицы для того, чтобы привести его в спокойное состояние. Он затем дает мощный выброс энергии в виде электромагнитных волн, например, фотонов, называемых *гамма-лучами*.

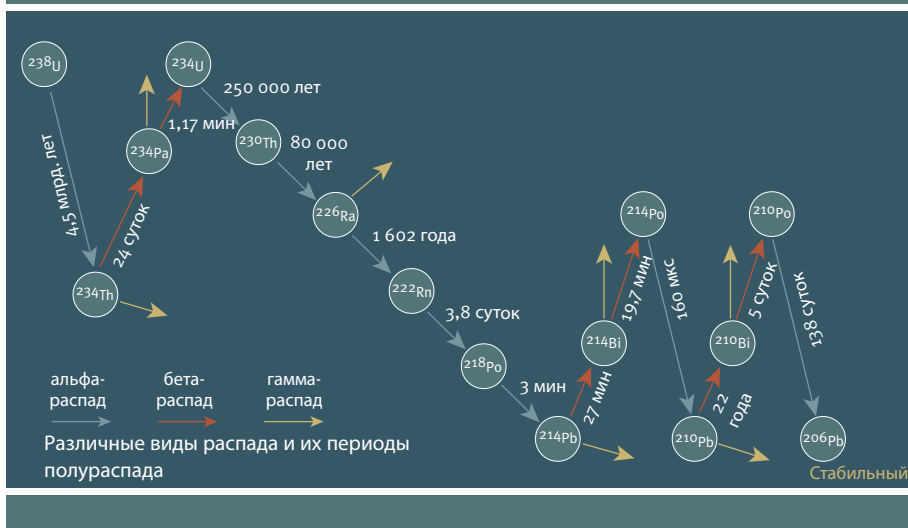
Рентгеновские лучи также являются разновидностью электромагнитного излучения, подобно гамма-лучам, но с более низкой энергией фотонов. Спектр рентгеновского луча с разной энергией продуцируется в вакуумной стеклянной трубке, когда пучок электронов, испущенный *катодом*, попадает на облучаемую мишень, называемую *анодом*. Спектр рентгеновского луча зависит от вещества анода и энергии ускоренного пучка электронов. Из этого следует, что рентгеновские лучи могут генерироваться искусственно, что является большим преимуществом при промышленном и медицинском применении, так как позволяет получить рентгеновское излучение именно тогда, когда возникает необходимость.



Радиоактивный распад и период полураспада

Хотя все радионуклиды нестабильны, некоторые более нестабильны, чем другие. Например, частицы ядра урана-238 (с 92 протонами и 146 электронами) способны только образовывать кластеры друг с другом. В конечном итоге, кластер двух протонов и двух нейтронов разбивается и оставляет атом в виде альфа-частицы, превращая уран-238 в торий-234 (с 90 протонами и 144 электронами). Но торий-234 также нестабилен, он также трансформируется, испуская электроны с высокой энергией в виде бета-частиц и трансформируя нейтрон в протон, тем самым, он становится протактинием-234 с 91 протоном и 143 нейтронами. Этот элемент, в свою очередь, очень нестабилен и трансформируется в уран-234. Таким образом, атом продолжает испускать частицы, трансформируясь до тех пор, пока в результате не становится стабильным элементом, свинцом-206 с 82 протонами и 124 нейтронами. Существует много подобных цепочек трансформаций или так называемого *радиоактивного распада*.

Цепочка радиоактивного распада урана-238



Период, необходимый для распада половины всех атомов элемента, называется *периодом полураспада*. После одного периода полураспада из одного миллиона атомов, в среднем, 500 000 распадутся на что-то другое. Во время следующего периода полураспада еще 250 000 атомов распадутся, и так далее, пока не распадутся все. После 10 периодов полураспадов от исходного миллиона останется только 1 000 (около 0,1%). В приведенном выше примере для распада половины атомов протактиния-234 до

урана-234 понадобится чуть больше минуты. И наоборот, понадобится 4,5 миллиарда лет (4 500 000 000), чтобы половина атомов урана-238 распалась до тория-234. Таким образом, в окружающей среде встречается относительно мало природных радионуклидов.

Единицы ионизирующего излучения

Сегодня мы знаем, что энергия радиации может повредить живую ткань, а количество энергии, депонированное в живой ткани, выражается в единицах величины, обозначенных как **доза**. Доза радиационного облучения может быть получена от любого из радионуклидов независимо от их количества. Радионуклиды могут находиться вне организма или могут облучать его изнутри, например, после их вдыхания или поступления вместе с пищей. Величина дозы выражается разными способами, смотря какой объем тела и какая его часть облучены, облучен ли один человек или несколько, от длительности периода облучения (например, острое облучение).

Количество энергии излучения, поглощенное в килограмме ткани, называется **поглощенной дозой** и выражается в единицах под названием грей (Гр), названных в честь английского физика и пионера радиационной биологии, **Гарольда Грея**. Но это не отражает всей реальной картины, так как доза от альфа-частиц может причинить больше вреда, чем та же доза от бета-частиц или гамма-лучей. Для сравнения поглощенных доз от разного типа радиационного излучения, необходимо взвесить их потенциал и способность вызывать определенные типы биологического повреждения. Эта взвешенная доза называется **эквивалентной дозой** и измеряется в единицах, называемых зивертами (Зв), в честь шведского ученого **Рольфа Зиверта**. Один зиверт - это 1 000 миллизивертов, так же как и один литр - это 1 000 миллилитров или 1 метр - 1 000 миллиметров.



Гарольд Грей (1905–1965)
Рольф Зиверт (1896–1966)

Следует также учитывать, что некоторые части тела более уязвимы, чем другие. Например, данная эквивалентная доза радиации, скорее всего, вызовет рак легкого, чем печени; а репродуктивные органы имеют особое значение из-за риска наследственных эффектов. Таким образом, чтобы сравнить дозы при облучении разных органов и тканей, дополнительно взвешивают эквивалентную

дозу на разные части тела и полученный результат называют *эффективной дозой*, которая также выражается в зивертах (Зв). Однако, эффективная доза является только индикатором вероятности рака и генетических эффектов после облучения в малых дозах и не предполагается для использования в качестве меры степени тяжести эффектов при более высоких дозах.

Такая комплексная система величин радиационного воздействия необходима, чтобы создать упорядоченную систему, что позволит экспертам по радиационной безопасности последовательно и адекватно регистрировать индивидуальные дозы, что имеет важное значение для людей, работающих с радиацией и получающих *профессиональное облучение*.

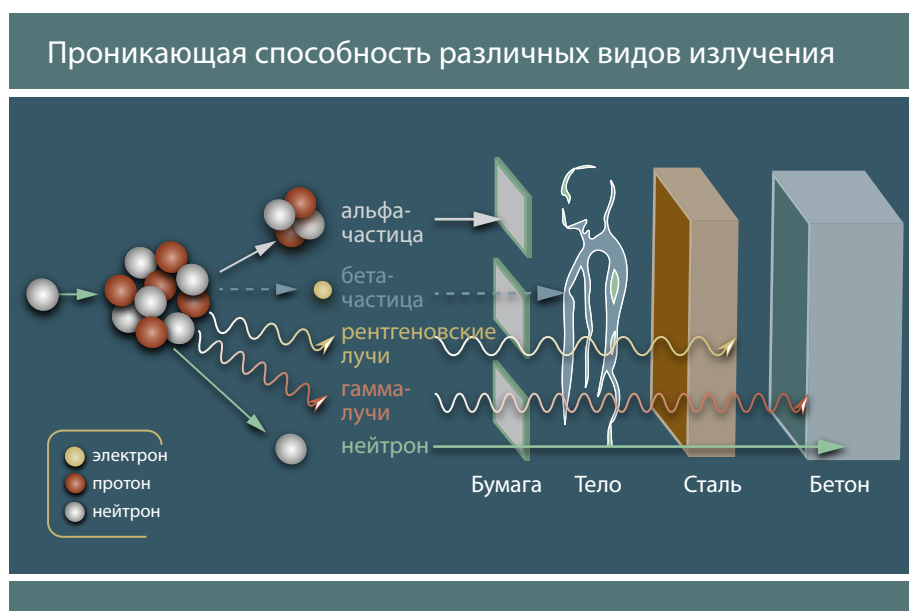
Тем не менее, перечисленные величины описывают только дозы для отдельного человека. Если мы суммируем все эффективные дозы, полученные

Дозиметрические величины	
Физическая величина	
Активность	Отношение числа ядерных превращений в источнике энергии за интервал времени к этому интервалу. Активность измеряется числом распадов в секунду и выражается в беккерелях (Бк).
Поглощенная доза	Отношение энергии, переданной ионизирующим излучением веществу, например ткани или органу, к массе вещества. Единица измерения – грэй (Гр), равная джоулю на килограмм облученного вещества.
Расчетная величина	
Эквивалентная доза	Произведение поглощенной дозы на весовой множитель излучения (w_R), учитывающий биологическое воздействие различных видов излучения на ткань или орган. Единица измерения – зиверт (Зв), равная джоулю на килограмм.
Эффективная доза	Произведение эквивалентной дозы на тканевые весовые множители (w_T), учитывающие радиочувствительность различных тканей и органов. Единица измерения – зиверт (Зв), равная джоулю на килограмм.
Коллективная эффективная доза	Сумма индивидуальных эффективных доз у населения или группы людей, которые находились под воздействием излучения. Единица измерения – человеко-зиверт (чел.-Зв).

каждым человеком из общего числа населения, в результате мы получим *коллективную эффективную дозу* или просто *коллективную дозу*. Такая доза выражается в человеко-Зивертах (чел.-Зв). Например, годовая коллективная доза для населения мира составляет более 19 миллионов человеко-Зивертов, что соответствует годовой средней дозе на человека в 3 мЗв.

1.3. Проникающая способность радиации

Коротко говоря, ионизирующее излучение может быть представлено в форме частиц (альфа, бета и нейтронные частицы) или в виде электромагнитных волн разной энергии (гамма-лучи и рентгеновское излучение). Разная энергия и типы испускаемых элементарных частиц обладают разной проникающей способностью и, соответственно, оказывают разное влияние на живые организмы. Так как альфа-частицы состоят из двух положительно заряженных протонов и двух нейтронов, из всех типов радиации они несут в себе наибольший заряд и являются наиболее опасными. Это означает, что именно они в наибольшей степени взаимодействуют с окружающими атомами. Такое взаимодействие быстро уменьшает их энергию, и, следовательно, снижает проникающую способность. Альфа-частицы могут быть остановлены, например, листом бумаги. Бета-частицы, состоящие из отрицательно заряженных электронов, несут в себе меньший заряд и, следовательно, обладают большей проникающей способностью, чем альфа-частицы. Бета-частицы могут проникать сквозь один или два сантиметра живой ткани. Гамма и рентгеновские лучи обладают очень высокой проникающей способностью и могут проникать сквозь что-либо, обладающее меньшей плотностью,



чем толстый лист стальной пластины. Искусственно созданные нейтроны испускаются из нестабильного ядра в результате деления атома или ядерного синтеза. Нейтроны также существуют в природе как один из компонентов космической радиации. Так как нейтроны - электрически нейтральные частицы, они обладают высокой проникающей способностью при взаимодействии с каким-либо веществом или тканью.

2. ЧТО РАДИАЦИЯ ДЕЛАЕТ С НАМИ?

Прежде чем детально разбирать эффекты радиационного облучения, мы должны вспомнить пионеров науки о радиации, представленных ранее. После открытия **Анри Беккереля**, он на себе испытал одну из самых неблагоприятных сторон радиации, а именно то воздействие, которое она может оказывать на живые ткани. Колба с радием, которую он положил себе в карман, повредила его кожу.

Вильгельм Конрад Рентген, открывший рентгеновские лучи в 1895 г., умер от рака тонкого кишечника в 1923 г. **Мари Кюри**, подвергавшаяся радиационному облучению на протяжении всей своей трудовой деятельности, умерла от болезни крови в 1934 г.

Существуют данные, что к концу 1950-х годов, по крайней мере, 359 человек, работавших с радиацией (в основном врачи и другие ученые) умерли в результате радиационного облучения, не зная о необходимости защиты от нее.

Неудивительно, что те, кто применял радиацию при лечении пациентов, первыми разработали рекомендации по радиационной защите работников связанных с радиацией. К 1928 г. во время второго Международного Конгресса по Радиологии в Стокгольме, был основан Международный Комитет по рентгеновской и радиевой защите, а **Рольф Зиверт** был выбран его первым председателем. После Второй Мировой Войны, чтобы учесть новое применение радиации, выходящее за рамки медицины, Комитет был реструктурирован и переименован в Международную Комиссию по Радиологической защите. Позже, в период между 1958 и 1960, Рольф Зиверт был четвертым председателем НКДАР ООН в то время, когда особую озабоченность вызывали генетические эффекты у человека после испытаний атомного оружия.

Вместе с ростом информированности о рисках, ассоциируемых с радиационным облучением, 20-й век стал свидетелем развития интенсивных исследований эффектов радиационного воздействия на человека и окружающую среду. Наиболее важной оценкой радиационно-облученных групп населения является исследование примерно 86 500 лиц, переживших атомную бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки в конце Второй Мировой Войны в 1945 г. (далее именуемых **пережившие атомную бомбардировку**). В дополнение к этому, достоверные данные по данному вопросу были получены из опыта работы с облученными пациентами и персоналом после аварийного облучения (например, после аварии на Чернобыльской АЭС), и из лабораторных экспериментов с клетками животных и растений.

Источники информации о воздействии радиации



НКДАР ООН регулярно оценивает научную информацию, касающуюся эффектов радиационного влияния на человека и окружающую среду и старается максимально надежно определить, какие эффекты ассоциируются с разными уровнями радиационного воздействия. Как уже было сказано ранее, радиационное воздействие зависит от типа излучения, периода времени, в течение которого происходит облучение, и количества энергии, содержащегося в веществе. Для своих оценок НКДАР ООН в настоящее время использует термин *малая доза* для обозначения уровней ниже 100 мГр, но выше 10 мГр, и термин *очень малая доза* для обозначения уровней ниже 10 мГр.

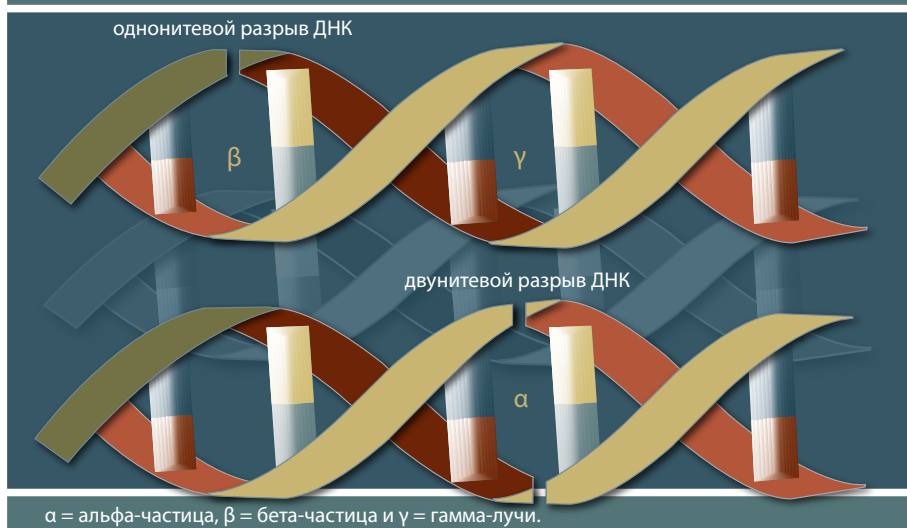
Диапазоны доз, используемые НКДАР ООН

Большая доза	Более ~1 Гр	Крупные ядерные аварии (например, пожарные при аварии на Чернобыльской АЭС)
Умеренная доза	~100 мГр - ~1Гр	Ликвидаторы последствий аварии на Чернобыльской АЭС
Малая доза	~10 мГр - ~100 мГр	Множественные процедуры компьютерного томографического (КТ) сканирования
Очень малая доза	Менее ~10 мГр	Простая рентгенограмма (т.е. без КТ)

2.1. Воздействия на человека

С момента открытия радиации и более, чем за 100 лет исследований эффектов ионизирующего излучения были получены подробные сведения о биологических механизмах, посредством которых радиация может повлиять на здоровье человека. Известно, что радиация может воздействовать на уровне клеток, вызывая их гибель или их модификацию, обычно вызванную прямым повреждением нитей дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в хромосоме. Если число поврежденных или погибших клеток достаточно велико, это может привести к дисфункции поврежденного органа или даже смерти. Также возможны и другие повреждения ДНК, которые не приводят к гибели клеток. Подобное повреждение обычно поддается полному восстановлению, в противном случае возникающая модификация, так называемая *клеточная мутация*, может отразиться на последующих делениях клетки, и в итоге привести к раку. Если изменения подвергаются клетки, несущие наследственную информацию, то могут возникнуть генетические нарушения. Подобную информацию о биологических механизмах и наследственных эффектах часто получают из лабораторных экспериментов.

Радиационное поражение цепи ДНК



Все медицинские эффекты, возникающие в результате радиационного воздействия, определяются как ранние либо как отдаленные медицинские эффекты. Как правило, ранние медицинские эффекты проявляются в виде клинических синдромов у отдельных людей, а отдаленные медицинские эффекты, такие как рак, в ходе *эпидемиологических исследований* на основе наблюдений повышенного уровня возникновения патологии у всего населения. Особое внимание в настоящее время уделяется эффектам при облучении детей и плода (эмбриона), а также наследственным эффектам.

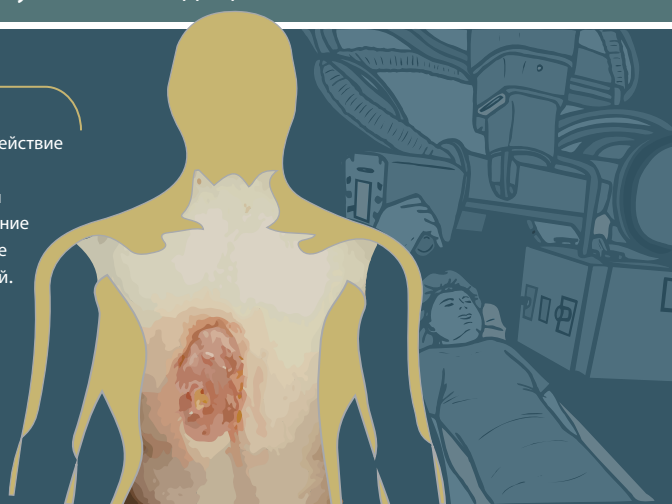
Ранние медицинские эффекты

Ранние медицинские эффекты радиации обычно вызваны гибелью большого числа клеток (ожоги кожи, облысение, или нарушение репродуктивной способности). Данные медицинские эффекты характеризуются относительно высоким порогом полученной дозы, который был превышен за короткий период времени до возникновения эффекта. Тяжесть радиационного эффекта возрастает с увеличением дозы после превышения порога.

Обычно острыми дозами облучения считаются дозы свыше 50 Гр. Такие дозы настолько серьезно повреждают нервную систему, что смерть наступает в течение нескольких дней. При дозах облучения ниже 8 Гр люди проявляют симптомы заболевания, известного как **острый лучевой синдром**, который может включать в себя: тошноту, рвоту, диарею, кишечные колики, слюнотечение, обезвоживание организма, общую усталость, апатию, вялость, потливость, лихорадку, головные боли и низкое кровяное давление. Термин «острый» относится к медицинским проблемам, которые возникают сразу после облучения, а не которые развиваются в течение длительного периода времени. Однако, пострадавшие могут выжить в начальном периоде и умереть от повреждения желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) одну или две недели спустя. Более низкие дозы, возможно, не повредят ЖКТ, но, тем не менее, могут стать причиной смерти через несколько месяцев, в основном из-за повреждения красного костного мозга. Еще более низкие дозы могут отсрочить начало заболевания и вызвать менее серьезные симптомы. Примерно у половины людей, получивших дозы в 2 Гр, через, примерно, три часа появляется рвота, но при дозах ниже 1 Гр такое случается редко.

Случайное облучение в медицине

Лучевая терапия предусматривает воздействие большими дозами на больного. В этой связи первостепенное значение имеет предотвращение серьезных последствий.



К счастью, если красный костный мозг и вся кроветворная система получают дозу менее 1 Гр, они обладают удивительной способностью к регенерации и могут полностью восстановиться, хотя все равно сохраняется повышенный риск развития лейкоза в отдаленный период времени. Если только небольшая часть тела подверглась облучению, то достаточная часть костного мозга остается незатронутой и способна восстановить повреждения самостоятельно. Эксперименты на животных предполагают, что если только десятая часть активного костного мозга избежит облучения, шансы на выживание составляют около 100%.

Поскольку радиация может непосредственно повреждать ДНК клетки, её используют в медицине для целенаправленного уничтожения злокачественных клеток при лечении раковых заболеваний - *радиотерапии*. Общее количество радиации, применяемое в радиотерапии, зависит от типа и стадии рака. Обычно для лечения солидных опухолей дозы находятся в диапазоне 20-80 Гр на опухоль, что подвергло бы пациента опасности в случае получения такой дозы однократно. Поэтому, чтобы контролировать лечение, дозы радиации разбивают и применяют повторными фракциями с максимальной дозой в 2 Гр. Подобное разделение доз позволяет клеткам здоровой ткани восстановиться, в то время как клетки опухоли погибают, так как они обычно не имеют возможности эффективно восстановиться после радиационного облучения.

Отдаленные медицинские эффекты

Отдаленные медицинские эффекты возникают через длительное время после облучения. Обычно большинство отдаленных эффектов являются стохастическими эффектами, т.е. вероятность их возникновения прямо пропорциональна количеству полученной дозы. Причиной данных эффектов считаются изменения генетического материала клетки в результате радиационного воздействия. Примерами отдаленных медицинских эффектов являются солидные опухоли и лейкоз, возникающие у облученных людей, а также генетические нарушения, возникающие у будущих поколений лиц, подвергшихся радиационному воздействию. Частота возникновения, но не тяжесть, данных эффектов у населения, возрастает с увеличением полученной дозы.

Эпидемиологические исследования имеют большое значение для понимания отдаленных эффектов радиационного воздействия. Подобные исследования используют статистические методы для сравнения возникновения медицинских эффектов (например, раковые заболевания) у облученного и необлученного населения. В случаях, когда у облученного населения показатели проявления медицинского эффекта выше, чем у не облученного, это может ассоциироваться с радиационным воздействием на население в целом.

Эпидемиологические исследования лиц, переживших атомные бомбардировки, служат самой важной долгосрочной оценкой радиационно-облученного населения. Такие исследования являются наиболее содержательными за все время именно из-за того, что большое количество людей, представителей всех слоев населения, получили различные дозы облучения, которые достаточно равномерно были распределены по телу. Все оценки доз, полученных данными группами населения задокументированы. До настоящего момента исследования выявили в группе облученного населения увеличение случаев заболевания раком в несколько сотен раз больше, чем если бы та же группа не подверглась радиационному воздействию. Так как многие люди, пережившие атомные бомбардировки все еще живы, исследования продолжаются до сих пор для того, чтобы завершить эпидемиологические наблюдения.

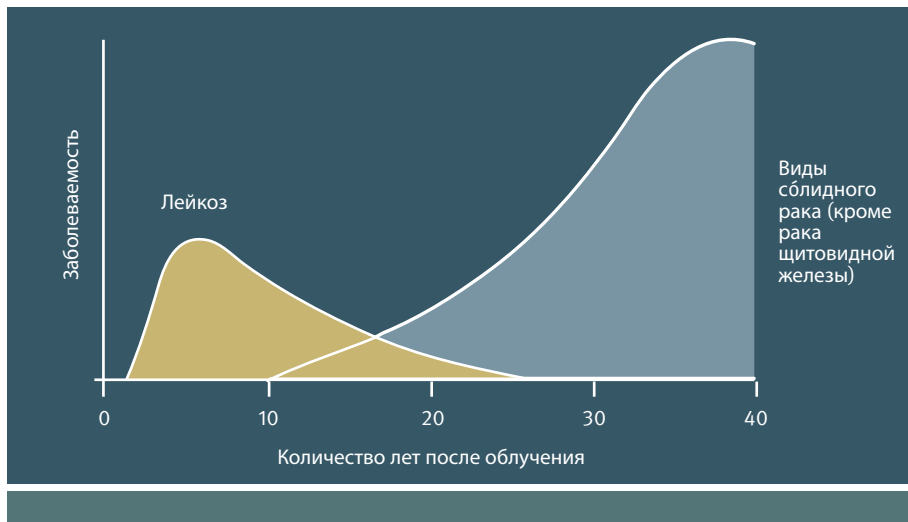
Раковые заболевания

Раковые заболевания являются второй самой распространенной причиной смерти в развитых странах после сердечно-сосудистых заболеваний. На раковые заболевания приходится около 20% всех смертей. Предполагается, что у 4 из 10 человек из общего населения разовьется какой-нибудь тип рака в течение жизни даже при отсутствии радиационного воздействия. В последние годы самыми распространенными видами рака у мужчин являются рак легкого, простаты, кишечника, желудка и печени, а у женщин - рак груди, кишечника, легкого, шейки матки и желудка.

Развитие рака - это сложный процесс, состоящий из нескольких стадий. Иницирующее явление, воздействующее на одну клетку, запускает процесс его развития, но дополнительно необходима еще и серия других событий, прежде чем клетка станет злокачественной и разовьется опухоль. Рак начинает проявлять себя спустя длительное время после первичного повреждения и определенного латентного периода. Основной вопрос - это вероятность возникновения рака в результате радиационного воздействия. Ее можно оценить для группы людей, если они подверглись радиационному воздействию высокого уровня, достаточному, чтобы стать причиной повышенной частоты возникновения рака и преодолеть статистические и другие неопределенности. Однако роль радиации как причины возникновения рака до сих пор остается неясной.

Лейкоз, рак щитовидной железы и рак кости развиваются в течение нескольких лет после радиационного воздействия, в то время как большинство других раков не проявляются, по крайней мере, в течение 10 лет, или даже нескольких десятилетий после полученного облучения. Однако, ни один тип рака не вызывается исключительно радиационным воздействием, и поэтому очень сложно отличить радиационно-индуцированные опухоли от опухолей, возникших по многим другим причинам. Тем не менее, очень важно оценить

Вероятность заболевания раком после радиоактивного облучения



вероятность развития рака после конкретных доз радиации, чтобы установить разумную научную базу для лимитов радиационного воздействия.

Анализ людей, получавших медицинское лечение с использованием радиации, людей, получивших профессиональное облучение, и главным образом, лиц, переживших атомные бомбардировки, формируют основы знаний о соотношении развития раковых заболеваний и радиационного воздействия. Эти исследования охватывают большое количество людей, получивших облучение разных частей тела, и тех, кого наблюдали в течение достаточно длительного периода времени. Однако, в некоторых исследованиях присутствуют существенные недостатки, включающие в себя различия в возрастном распределении облученного населения и обычного. Также есть вероятность, что многие пациенты уже были больны на момент облучения и уже проходили лечение от рака.

По большому счету, практически все данные основываются на исследованиях людей, чьи ткани получили высокие дозы радиации, 1 Гр и выше, однократно или за достаточно короткий период времени. К сожалению, на данный момент известно очень мало информации о радиационных эффектах, полученных в результате облучения малыми дозами в течение длительного периода времени. На сегодняшний день было проведено всего несколько исследований по радиационным эффектам, полученным в диапазоне допустимого предела доз людьми, работающими с радиацией. Непосредственной информации о последствиях облучения, которому повседневно подвергается население практически не существует. В таких исследованиях необходимо отслеживать большое количество людей в течение

длительного периода времени, что может затруднить процесс обнаружения показателей увеличения частоты возникновения раковых заболеваний по сравнению с базовыми уровнями облучения.

Всесторонний анализ возникновения раковых заболеваний у населения, подвергшегося радиационному воздействию, проведённый НКДАР ООН, показал, что дополнительная вероятность смерти от раковых заболеваний в результате радиационного воздействия в размере дозы 100 мЗв составляет около 3-5 случаев из 100 при облучении в 1 Зв.

Другие воздействия на здоровье

Высокие дозы облучения на область сердца увеличивают вероятность сердечно-сосудистых заболеваний (например, инфаркта миокарда). Подобное облучение может произойти во время радиотерапии, хотя сегодня техника лечения позволяет снизить дозы облучения на область сердца. Тем не менее пока не существует научных доказательств, которые позволили бы сделать заключение, что именно облучение малыми дозами радиации вызывает сердечно-сосудистые заболевания.

НКДАР ООН признает, что существовала повышенная частота возникновения катаракт среди ликвидаторов Чернобыльской аварии; возможно это было связано с высокими дозами радиации. Кроме того, НКДАР ООН также исследовал влияние радиации на иммунную систему человека у переживших атомные бомбардировки, у ликвидаторов последствий Чернобыльской аварии и у пациентов, проходящих курс лечения радиотерапией. Влияние радиации на иммунную систему определялось путем оценки изменений в количестве клеток, а также, используя различные функциональные тесты. Высокие дозы радиации подавляют иммунную систему, в основном, из-за повреждения лимфоцитов. Сокращение числа лимфоцитов в настоящее время используют как один из ранних индикаторов при определении дозы радиации после острого облучения.

Воздействие на потомков

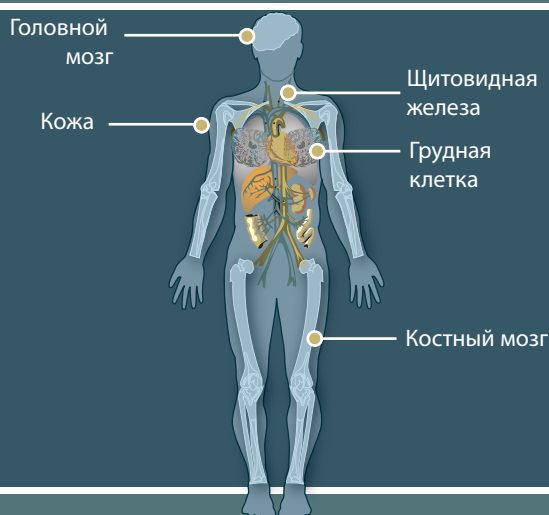
Если радиационное повреждение происходит в репродуктивных клетках, сперме или яйцеклетках, это может привести к наследственным эффектам у потомков. Более того, радиация может непосредственно повредить эмбрион и плод, уже развивающийся в матке. Важно различать радиационное воздействие на взрослых, детей и эмбрион/плод. НКДАР ООН выполнил комплексный анализ всех медицинских эффектов, включая наследственные эффекты, в вышеобозначенных группах населения.

Воздействие на детей

Проявление различных медицинских эффектов после радиационного облучения у людей зависит от ряда факторов. Влияние радиационного воздействия на взрослых и детей отличается из-за их анатомических и физиологических особенностей. Более того, дозы на внутренние органы у детей будут выше, чем на органы у взрослых при одинаковом внешнем облучении, так как у детей тело меньшего размера, обычно они ниже ростом, и менее защищены вышележащими тканями. Именно поэтому дети часто получают более высокие дозы от радионуклидов, находящихся в почве.

Что касается внутреннего облучения, вследствие меньшего размера тела, у детей органы расположены ближе друг другу, и поэтому радионуклиды, сконцентрированные в одном органе, облучают другие органы больше, чем у взрослых. Существует еще много других возраст-зависимых факторов, включая метаболизм и физиологию, обуславливающих существенную разницу в допустимых дозах для различных возрастных групп. Некоторые радионуклиды являются особо опасными и поэтому вызывают особую озабоченность в отношении внутреннего облучения детей. Аварии, при которых происходит выброс радиоактивного йода-131, могут быть серьезными источниками облучения щитовидной железы. В конкретном случае поступления доз йода-131 на щитовидную железу у младенцев примерно в девять раз выше, чем у взрослых. Исследования аварии на Чернобыльской АЭС подтвердили связь между раком щитовидной железы и дозами йода-131, которые концентрируются только в этом органе.

Особо радиочувствительные органы ребенка



У детей, подвергшихся облучению в возрасте до 20 лет, вероятность развития **рака мозга** примерно вдвое выше, чем у взрослых, получивших такую же дозу облучения. Подобная же корреляция отмечена в отношении **рака молочной железы** в случаях, когда девочки подверглись облучению в возрасте до 20 лет.

Эпидемиологические исследования показали, что вероятность развития лейкоза в результате одного и того же радиационного воздействия у молодых людей младше 20 лет в два раза выше, чем у взрослых. Также, дети младше 10 лет особо чувствительны; несколько исследований предполагают, что вероятность смерти от лейкозов у детей в 3-4 раза выше, чем у взрослых. Другие исследования показали, что у девочек, облученных в возрасте младше 20 лет, вероятность развития рака груди во взрослом возрасте в два раза выше. У детей с большей долей вероятности разовьется рак после радиационного воздействия, чем у взрослых, но он может появиться позднее, когда они достигнут возраста, типичного для развития рака.

НКДАР ООН провел анализ научного материала, указывающего на то, что возникновение рака у детей более изменчиво и менее предсказуемо, чем у взрослых и зависит от типа опухоли, от возраста и пола ребенка. Термин *радиочувствительность* применительно к возбуждению раковых заболеваний относится к частоте возникновения опухолей, вызванных облучением. Исследования различий в радиочувствительности между взрослыми и детьми выявило, что дети более чувствительны к развитию рака щитовидной железы, головного мозга, кожи и молочной железы, а также лейкозов.

Различия в ранних медицинских эффектах у детей после высоких доз (например, полученных при радиотерапии) являются комплексными, и могут быть объяснены взаимодействием разных органов и биологическими механизмами. Некоторые последствия более выражены при облучении в детстве, чем во взрослом возрасте (дефекты мозга, катаракта и узловое зоб); существуют также несколько последствий, при которых ткани детей более устойчивы (легкие и яичники).

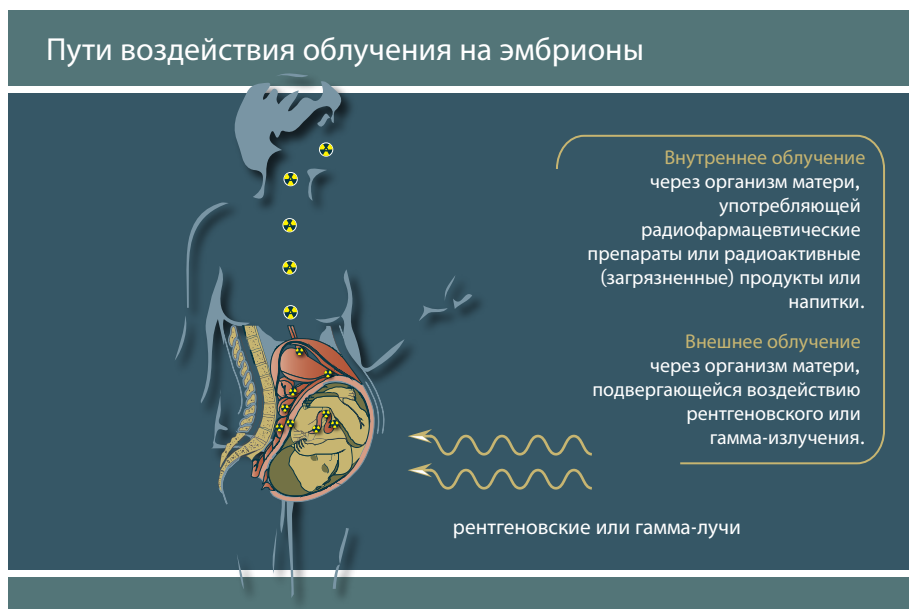
Воздействие на неродившегося ребенка

Эмбрион (плод) может подвергаться облучению от радиоактивного вещества, переданного матерью через пищу или питье (внутреннее облучение) или непосредственно через внешнее облучение. Так как плод защищен маткой, доза радиационного воздействия на плод обычно ниже, чем доза, получаемая матерью. Однако эмбрион и плод особенно чувствительны к радиации, и последствия для здоровья эмбриона могут быть серьезными даже при дозах радиации ниже, чем те, что непосредственно воздействуют на мать. Подобные последствия, например, могут включать задержку роста, пороки развития, нарушение функции мозга и раннее развитие раковых заболеваний.

Развитие ребенка в матке женщины можно разделить на три стадии. Известно, что радиация может погубить эмбрион в матке уже на первой стадии, которая длится от зачатия до момента внедрения в стенку матки, и охватывает первые две недели беременности у людей. Очень сложно исследовать то, что происходит на этой стадии; тем не менее, информация, основанная на экспериментах с животными, подтверждает фатальное воздействие на

ранней стадии развития эмбриона в связи с получаемыми дозами радиации, превышающими возможные допустимые уровни.

На второй стадии, длящейся со второй по восьмую неделю у человека, основная опасность заключается в том, что радиация может привести к дефектам развивающихся органов, и может стать одной из возможных причин смерти плода в период близкий к рождению. Эксперименты на животных показали, что такие органы как, например, глаза, мозг, скелет, особенно подвержены дефектам, если они подвергаются облучению в процессе развития.



Самые серьезные повреждения происходят в центральной нервной системе после восьмой недели, когда начинается третья и последняя стадия беременности. Большой прогресс был достигнут в понимании эффектов радиации на головной мозг еще не родившихся детей. В качестве примера, из 1600 детей, родившихся у лиц, переживших атомную бомбардировку и облученных до рождения дозой 1 Гр, у 30 отмечалась выраженная умственная отсталость.

Существует противоречие относительно того, может ли радиационное облучение эмбрионов быть причиной развития раковых заболеваний в более поздние периоды жизни. Эксперименты на животных пока не смогли показать какой-либо особой связи. НКДАР ООН попытался оценить совокупный риск некоторых эффектов облучения на еще не рождённых детей, таких как смертность, пороки развития, умственная отсталость и раковые заболевания. В целом, НКДАР ООН предполагает, что не больше 2-х из 1 000 живорожденных детей, облученных в дозе одной сотой Грея в матке, возможно, подвергнутся

воздействию – в сравнении с 6% тех детей, у которых разовьются те же эффекты естественным образом.

Наследственные эффекты

Радиация может изменять клетки, несущие наследственную информацию, что может вызвать разные генетические нарушения. Исследования подобных нарушений достаточно сложны, так как имеется очень мало информации о том, каким генетическим повреждениям люди подвергаются в результате радиационного воздействия. Во-первых, информации недостаточно частично потому, что для проявления всех наследственных эффектов необходимо много поколений, во-вторых потому, что эти эффекты достаточно сложно отличить от эффектов, возникающих по другим причинам (в случае с раковыми заболеваниями).

Многие эмбрионы и плоды не выживают, подвергаясь серьезным повреждениям. Было подсчитано, что около половины всех выкидышей имели генетические аномалии. Даже если такие дети и доживают до рождения, вероятность смерти в возрасте до 5 лет у детей с генетическими нарушениями примерно в 5 раз выше, чем у здоровых.

Наследственные эффекты подразделяются на две основные категории: хромосомные аберрации с изменениями количества или структуры хромосом и мутации самих генов. Наследственные эффекты могут проявиться у последующих поколений, но необязательно.

У детей, чьи родители пережили атомные бомбардировки, не было обнаружено значимых наследственных эффектов. Это отнюдь не значит, что никакого вреда не было нанесено, это лишь означает, что радиационное воздействие на даже относительно большую популяцию не дает заметного эффекта. Однако, экспериментальные исследования на животных и растениях, облученных высокими дозами радиации, четко показали, что радиация может спровоцировать наследственные эффекты. Люди не являются исключением.

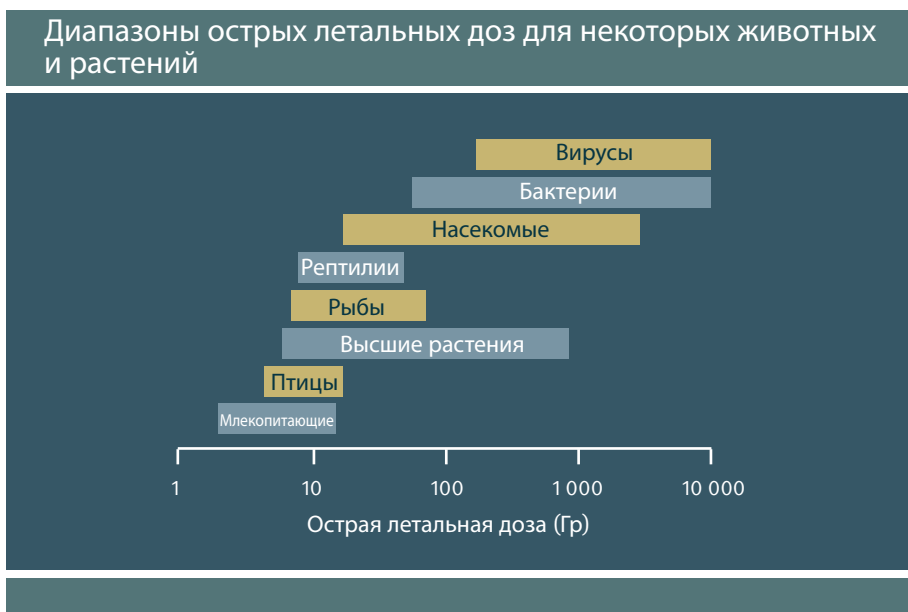
НКДАР ООН уделит внимание только тяжелым наследственным эффектам и рассчитал, что суммарный риск составляет 0,3-0,5%/Гр - что меньше, чем 0,1 возможности возникновения раковых заболеваний с летальным исходом – для первого поколения, подвергшегося радиационному воздействию.

2.2. Эффекты облучения на животных и растения

Эффекты радиационного воздействия на животных и растения получают все больше внимания, чем ранее. В прошлые десятилетия преобладающим мнением было то, что если жизнь человека адекватно защищена, то и растения, и животные будут защищены таким же образом. НКДАР ООН оценил

эффекты радиационного воздействия на растения и животных и обнаружил, что гипотетический диапазон доз облучения 1-10 Гр вряд ли приведет к эффектам в популяциях животных и растений, и что индивидуальные реакции на радиационное воздействие варьируются (млекопитающие – самые чувствительные из всех животных). Эффекты, являющиеся значимыми на уровне популяции, касаются рождаемости, смертности и проявления мутаций. **Репродуктивные изменения**, например, в количестве потомства, являются более чувствительным показателем радиационных эффектов, чем смертность.

Летальные дозы – это дозы, при которых 50% облученных субъектов погибают. Известно, что для растений, облученных в течение относительно короткого периода времени (острое воздействие), летальные дозы находятся в диапазоне от 10-1 000 Гр. В целом, растения крупнее более радиочувствительные, чем мелкие. Летальные дозы варьируются в диапазоне 6-10 Гр для мелких млекопитающих, и составляют около 2,5 Гр для более крупных животных. Некоторые насекомые, бактерии и вирусы могут переносить дозы более 1 000 Гр.



Одним из основных источников информации являются исследования радиационного воздействия на животных и растения вблизи Чернобыльской АЭС. НКДАР ООН провел оценку путей загрязнения окружающей среды и разработал новые подходы к оценке потенциальных эффектов облучения.

Недавно НКДАР ООН оценил дозы и соответствующие эффекты радиационного воздействия у отдельных животных и растений после аварии на атомной станции Фукусима-1 и пришел к заключению, что облучение

было, в целом, слишком незначительным для проявления сильных эффектов. Однако изменения в *биомаркерах*, которые являются показателями определенного заболевания или физиологического состояния организма, особенно у млекопитающих, нельзя игнорировать, но их значимость для целостности популяции изучаемых организмов пока не ясна.

Важно отметить, что защитные и восстановительные мероприятия, проведенные с целью снизить радиационное воздействие на людей, могут оказывать значительное влияние. Например, могут повлиять на производство экологически чистых продуктов, услуг; ресурсы, используемые в сельском хозяйстве, лесоводстве, рыболовстве и туризме; и нематериальные блага, используемые в духовных, культурных, и развлекательных видах деятельности.

2.3. Зависимость доз радиации и эффектов

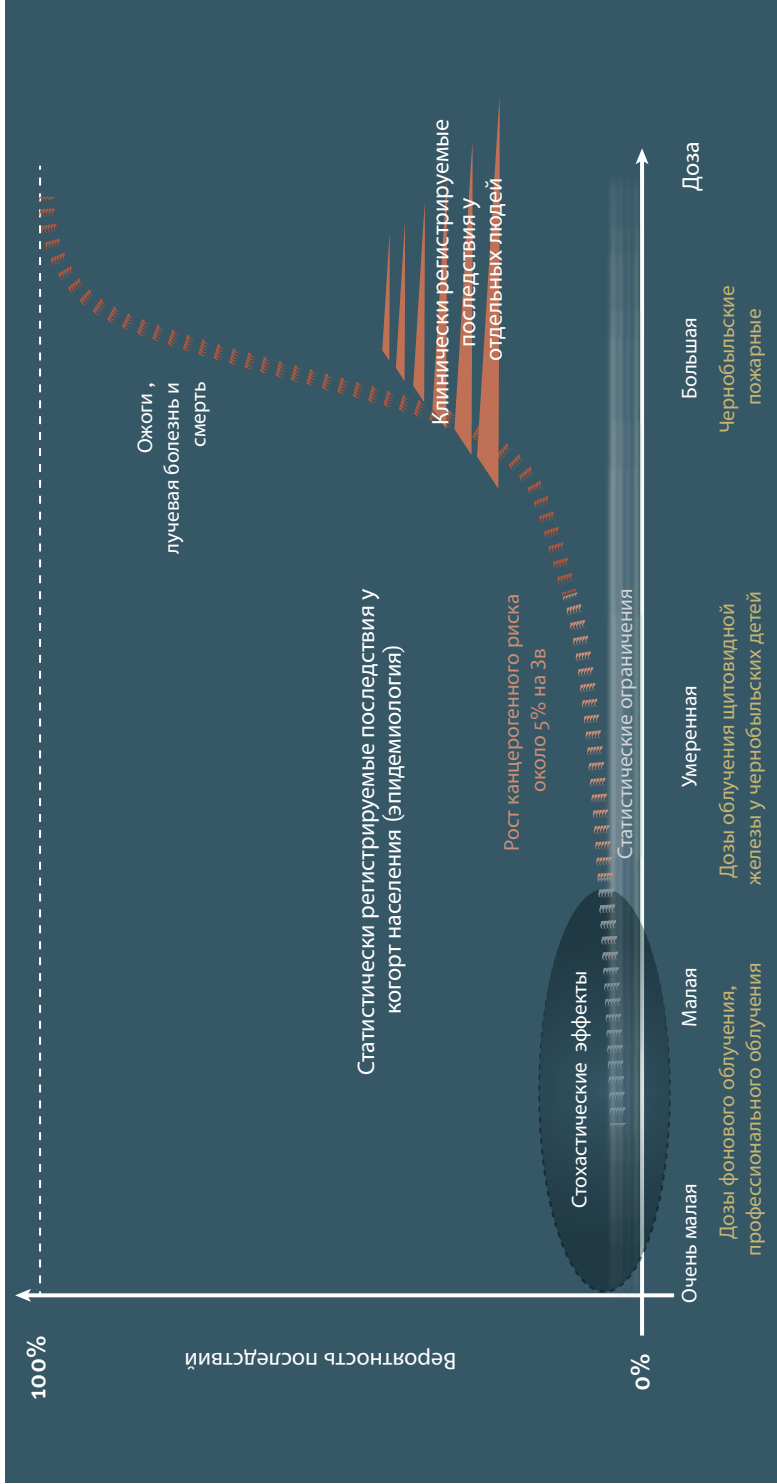
Обобщая зависимость между дозами радиации и медицинскими эффектами, НКДАР ООН подчеркнул важность разграничения между наблюдениями существующих медицинских эффектов у облученных популяций и теоретическими прогнозами вероятных будущих эффектов. В обоих случаях важно учитывать любые неопределенности и неточности в радиационных измерениях, статистических аспектах или других факторах.

На сегодняшний день, доказано, что медицинские эффекты связаны с радиационным воздействием, в случае, когда ранние эффекты облучения например, ожоги кожи, возникают у лиц после высоких доз облучения выше 1 Гр. Подобные дозы могут быть получены при радиационных авариях, например, ликвидаторами во время инцидента на Чернобыльской АЭС или пациентами во время инцидентов при радиотерапии.

Используя эпидемиологические методы, возможно объяснить повышенную частоту возникновения отдаленных медицинских эффектов (например, раковых заболеваний) в популяции, облученной средними дозами, если наблюдаемое увеличение достаточно значимо для преодоления любых неопределенностей. Однако, в настоящее время нет биомаркеров, которые позволили бы определить, являлось ли радиационное воздействие причиной возникновения рака или нет.

Когда уровни радиационного воздействия являются низкими или очень низкими, что более характерно при природном или профессиональном радиационном воздействии, изменения в возникновении отдаленных медицинских эффектов не подтверждаются, принимая во внимание статистические и другие неопределенности. Тем не менее, подобные эффекты нельзя исключать.

Зависимость последствий для здоровья от доз облучения



Что касается возможных медицинских эффектов в будущем, существует понимание того, как оценить вероятность возникновения этих эффектов при высоких и средних дозах. Однако при малых и очень малых дозах необходимо делать предположения и использовать математические модели для оценки вероятности любого медицинского эффекта, что приводит к очень неопределенным значениям. Поэтому для малых и очень малых доз радиации НКДАР ООН принял решение не использовать подобные математические модели в своих оценках - после, например, аварий в Чернобыле и на Фукусиме-1 - для прогнозирования числа медицинских эффектов или смертей из-за неприемлемых неопределенностей в прогнозах. Тем не менее, для сравнения в области здравоохранения или для целей радиационной защиты, было бы полезно выполнить подобные расчеты, при условии, что будут учтены неопределенности, а ограничения будут четко объяснены.

3. ОТКУДА ПОЯВЛЯЕТСЯ РАДИАЦИЯ?

Мы постоянно подвергаемся радиационному воздействию из множества источников. Все виды живых существ на Земле жили и эволюционировали в окружающей среде, где они подвергались радиационному воздействию от естественного фона. В последнее время, люди и другие организмы также подвергаются воздействию от искусственных источников, созданных человеком за последние сто лет. Около 80% облучения человека происходит в результате воздействия естественных источников и только 20% от искусственных источников, созданных человеком – в основном от применения радиации в медицине. В данной публикации радиационное воздействие классифицируется по источникам радиации, с главным акцентом на облучение, получаемое основной частью населения. Для целей регулирования (например, радиационной защиты) рассматривается радиационное воздействие на различные группы. Таким образом, в данной работе приводится дополнительная информация по пациентам, облученным вследствие медицинского использования радиации, и по лицам, облученным на своих рабочих местах.

Еще один способ подразделить радиационное воздействие на категории – по тому, каким образом мы подвергаемся радиационному воздействию. Радиоактивные вещества и радиация в окружающей среде могут облучать наш организм снаружи, это называется *внешним облучением*. Мы также можем вдыхать радиоактивные вещества с воздухом, проглотить их с пищей или водой, или они могут поступать в организм человека через кожу или открытые ранки, и тогда будут облучать нас изнутри - *внутреннее облучение*. С глобальной точки зрения, дозы от внутреннего и внешнего облучения практически одинаковые.

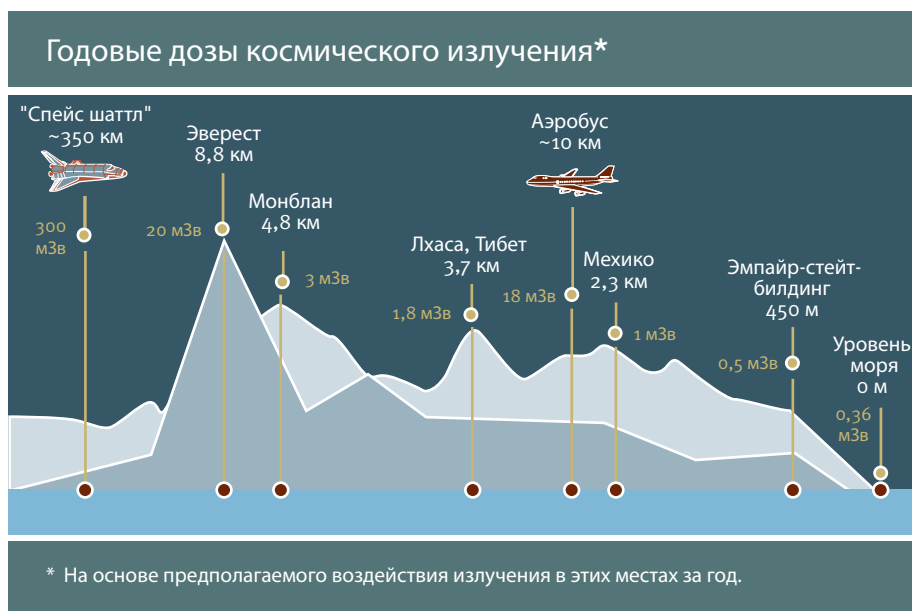


3.1. Природные (естественные) источники

Окружающая среда подвергалась радиационному воздействию из космоса и от радиоактивных веществ находящихся в земной коре и ядре с самого создания планеты Земля. Невозможно избежать радиационного облучения, исходящего от этих природных источников, которые, фактически, вносят свой основной вклад в радиационное воздействие на население всего мира. Суммарная средняя эффективная доза на человека составляет примерно 2,4 мЗв в год и варьируется в диапазоне от 1-10 мЗв в зависимости от того, где человек проживает. Здания могут задерживать радиоактивный газ, известный как радон, или сам строительный материал может содержать радионуклиды, которые увеличивают радиационное воздействие, получаемое человеком. Хотя все выше перечисленное является природными источниками излучения, радиационное воздействие на человека может изменяться согласно выбору, который он делает, например, как и где жить, или что есть и пить.

Космические источники

Космическое излучение - основной природный источник внешнего радиационного воздействия. Большинство этих лучей возникают глубоко в межзвездном пространстве, некоторые испускаются солнцем во время солнечных вспышек. Они напрямую облучают Землю и взаимодействуют с атмосферой, создавая таким образом разные типы радиации и радиоактивного вещества, а также являются основным источником радиации в космическом пространстве. Хотя атмосфера Земли и магнитное поле существенно



сокращают космическое радиационное излучение, некоторые части земного шара больше облучены, чем другие. Так как космическая радиация отклоняется магнитным полем к Северному и Южному полюсу, они получают больше радиации, чем экваториальные регионы.

Более того, уровень воздействия радиации увеличивается с высотой, поскольку воздуха, выполняющего роль защитного слоя, наверху становится все меньше. Таким образом, люди, проживающие возле моря, в среднем, получают эффективную дозу 0,3 мЗв в год от космических источников радиации или приблизительно 10-15% от суммарной дозы, получаемой от всех естественных источников радиации. Те, кто живут выше 2 000 м над уровнем моря, получают дозу, увеличенную в несколько раз. Еще более высокие дозы могут получать пассажиры самолетов, так как доза от космических источников зависит не только от высоты, но и от продолжительности полета. Например, на крейсерской высоте полета средняя эффективная доза составит 0,03-0,08 мЗв за 10 часов полета. Другими словами, за полет по круговому маршруту Нью-Йорк - Париж - Нью-Йорк человек получит дозу облучения в 0,05 мЗв. Это примерно соответствует эффективной дозе пациента, который проходит обычное рентгеновское обследование грудной клетки. Хотя рассчитанная эффективная доза, полученная отдельными пассажирами во время полета низкая, коллективные дозы могут быть довольно высокими из-за большого количества пассажиров и полетов по всему миру.

ОБЛУЧЕНИЕ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Дозы от космических источников очень важны для людей, которые часто летают, например, пилотов и членов экипажа, получающих в среднем ежегодное облучение в 2-3 мЗв. Были также измерены дозы для ряда космических полетов. Зарегистрированные дозы для кратковременных космических полетов находятся в диапазоне 2-27 мЗв, в зависимости от солнечной активности. Однако, астронавт за четырехмесячный полет на международной космической станции, которая вращается по орбите вокруг Земли на расстоянии 350 км, получает общую эффективную дозу около 100 мЗв.

Наземные источники

Почва

Всё на планете Земля содержит *первичные радионуклиды*. Эти чрезвычайно долгоживущие радионуклиды, встречающиеся в почве, такие как калий-40, уран-238 и торий-232, вместе с теми радионуклидами, на которые они распадаются, такие как радий-226 и радон-222, излучали радиацию с момента, когда планета Земля приняла свою сегодняшнюю форму. НКДАР ООН

подсчитал, что, в среднем, каждый человек в мире, получает эффективную дозу внешнего облучения от наземных источников около 0,48 мЗв в год.

Внешнее облучение сильно отличается от одной местности к другой. Исследования во Франции, Германии, Италии, Японии и США, например, предполагают, что около 95% населения этих стран живут в регионах, где средняя годовая доза вне помещений варьирует в пределах 0,3-0,6 мЗв в год. Однако в отдельных местах в этих странах люди могут получать дозы выше 1 мЗв в год. Есть и другие районы в мире, где радиационное воздействие от наземных источников еще выше. Например, на юго-западном побережье Керала, Индия, плотно-населенная полоса земли, протяженностью 55 км, содержит в себе богатые торием пески, вследствие чего люди, в среднем, получают облучение в размере 3,8 мЗв в год. Известно, что существуют и другие регионы с высокими уровнями радиации от естественных наземных источников в таких странах, как Бразилия, Китай, Исламская Республика Иран, Мадагаскар и Нигерия.

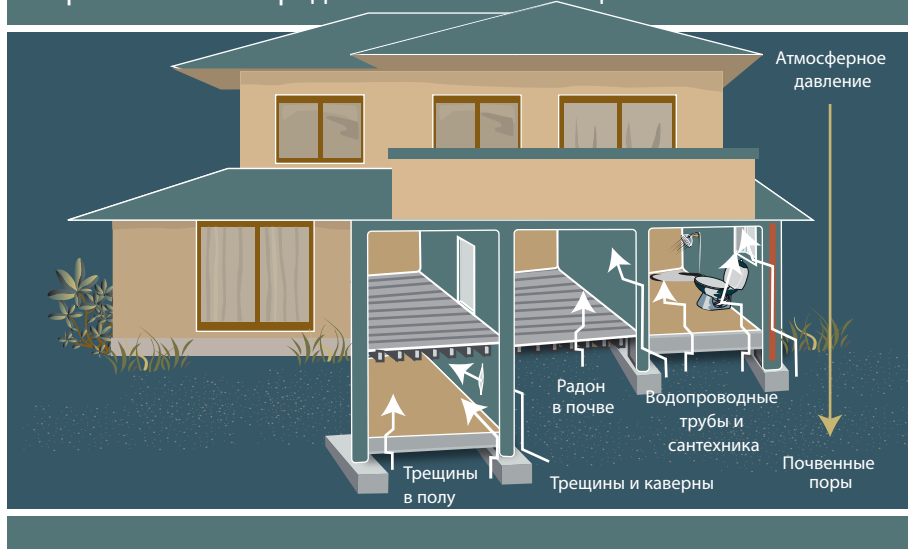
Радон

Радон-222 - это радионуклид в форме газа, который обычно выделяется из почвы. Он возникает в ходе серии распадов урана-238, присутствующего в скалах и почве планеты Земля. При вдыхании часть короткоживущих продуктов распада радона, в основном полония-218 и -214, задерживается в легких и облучает клетки респираторного тракта альфа-частицами. Следовательно, радон является главной причиной рака легких как у курильщиков, так и у некурящих; однако, курильщики более уязвимы из-за сильной взаимосвязи между курением и радоновым облучением.

Радон присутствует везде в атмосфере и может проникать непосредственно в здания через подвалы и пол, где его *концентрация* (количество активности, отражающее число распадов за время в объеме воздуха) может увеличиваться. Особенно, когда дома обогревают, теплый воздух поднимается вверх и выходит в самой верхней точке дома через окна или протечки, что создает низкое давление на первом этаже или в подвале. Это, в свою очередь, вызывает активное втягивание радона из грунта через трещины и протечки (например, вокруг входов и сервисных труб) в нижней части дома.

Средняя концентрация радона внутри помещения по всему миру составляет около 50 Бк/м³. Однако, это среднее значение варьируется от места к месту. В общем, средние концентрации в разных странах находятся в диапазоне от <10 Бк/м³ (Египет, Кипр и Куба) до >100 Бк/м³ (Чехия, Финляндия и Люксембург). В некоторых странах таких, как Канада, Швеция и Швейцария, есть дома с концентрациями радона в диапазоне от 1 000 до 10 000 Бк/м³. Тем не менее, доля домов с такими высокими концентрациями очень мала. К факторам, лежащим в основе такой вариативности, относятся местная геология, проницаемость почвы, строительный материал и вентиляция в зданиях.

Проникновение радона в жилые помещения



В частности, ключевым фактором является вентиляция, зависящая от климата. Если здания хорошо вентилируются, как в тропическом климате, вряд ли накопление радона будет существенным. Однако в умеренном или холодном климате, где здания вентилируются меньше, концентрация радона обычно значительно выше. Следовательно, при проектировании энергоэффективных зданий важно учитывать эффект ограниченной вентиляции. Во многих странах проводились широкомасштабные исследования по измерениям радона, которые сформировали базу для принятия мер по снижению концентраций радона внутри помещений.

Уровень радона в воде обычно очень низкий, но некоторые источники, например, глубокие колодцы в Финляндии в городе Хельсинки и в США в городе Хот Спрингз, Арканзасе, содержат очень высокие концентрации. Радон в воде может повлиять на увеличение концентрации радона в воздухе, например, в ванной во время принятия душа. Однако НКДАР ООН считает, что доза радона, поглощаемая с питьевой водой, небольшая по сравнению с той, что поступает при вдыхании. НКДАР ООН оценил, что средняя годовая эффективная доза от радона равна 1,3 мЗв, что составляет половину того, что человек получает от всех естественных источников облучения.

ОБЛУЧЕНИЕ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

На определенных рабочих местах вдыхание радона преобладает в качестве радиационного воздействия на работников. Радон – основной источник радиационного воздействия в подземных шахтах всех типов. Например, годовая средняя эффективная доза для некоторых работников угольных шахт составляет около 2,4 мЗв, а для других работников шахт – около 3 мЗв. В ядерной индустрии годовая средняя эффективная доза для работника составляет около 1 мЗв, в основном от облучения радоном на урановых шахтах.

Источники радиации в пище и напитках

Еда и питье могут содержать первичные и некоторые другие радионуклиды, получаемые, в основном, от естественных источников радиации. Радионуклиды могут попасть на растение, а потом на животное с камнями и минералов, присутствующих в почве и воде. Следовательно дозы облучения варьируются в зависимости от концентрации радионуклидов в пище и воде и от местных пищевых привычек.

Например, рыба и ракообразные содержат относительно высокий уровень свинца-210 и полония-210, поэтому люди, которые потребляют в пищу много морских продуктов, могут получить чуть более высокие дозы радиации, чем население в целом. Сравнительно более высокие дозы также получают люди, проживающие в арктических регионах и потребляющие много мяса северных оленей. В северных оленях Арктики содержатся высокие концентрации полония-210, накопленные в лишайнике, которым они питаются. НКДАР ООН подсчитал, что средняя эффективная доза радиации в пище и напитках, полученная от естественных источников составляет 0,3 мЗв в основном из-за калия-40 и радионуклидов цепочки урана-238 и тория-232.

Радионуклиды от искусственных источников могут присутствовать в продуктах питания в дополнение к радионуклидам от природных источников. Однако величина дозы от разрешенных сбросов этих радионуклидов в окружающую среду обычно очень небольшая.

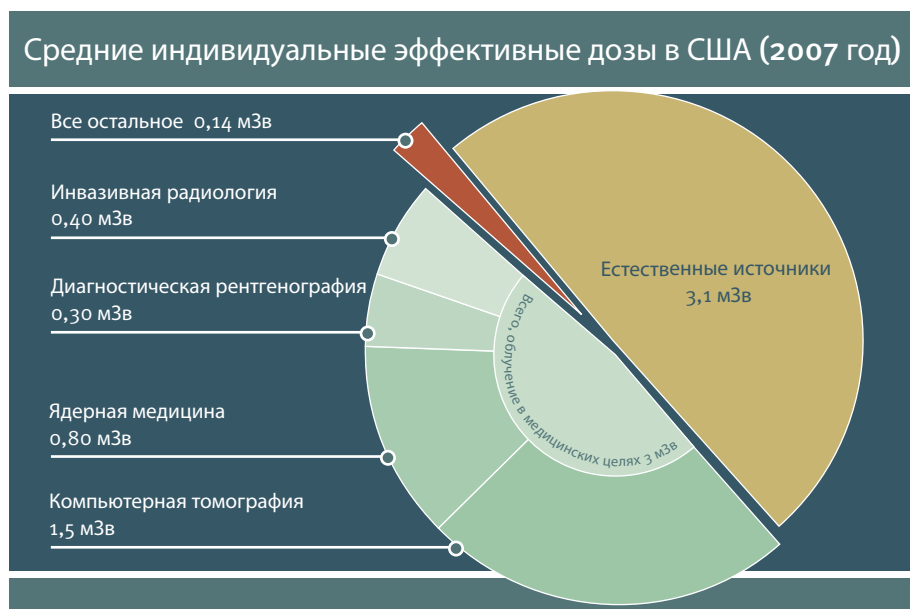
3.2. Искусственные источники

Использование радиации существенно увеличилось за последние десятилетия, так как ученые научились использовать энергию атома для самых разных целей, от военного до медицинского назначения (лечение рака), от производства электричества до домашнего использования (детекторы дыма). Эти и другие искусственные источники увеличивают дозу радиационного воздействия от естественных источников как для отдельных людей, так и для всего населения Земли.

Индивидуальные дозы от искусственных источников радиации сильно различаются. Большинство людей получают относительно маленькую дозу от подобных источников облучения, но некоторые получают дозу в несколько раз превышающую среднюю. Искусственные источники радиации, в основном, хорошо контролируются мерами по радиационной безопасности.

Медицинское применение

Использование радиации в медицине в диагностике и лечении определенных заболеваний играет настолько важную роль, что на данный момент это вне всяких сомнений является основным искусственным источником облучения во всем мире. В среднем, на него выпадает 98% радиационного воздействия от всех искусственных источников радиации, и его вклад в облучение населения по всему миру занимает второе место после естественных источников, составляя примерно 20% от общего количества облучения. Большая часть данного облучения приходится на промышленные страны, где ресурсы для оказания медицинской помощи более доступны, и, следовательно, радиологическое оборудование используется гораздо более широко. В некоторых странах это привело даже к тому, что в результате медицинского применения годовая средняя эффективная доза облучения примерно соответствует дозе от естественных источников.



Существуют значительные и четкие отличия между медицинскими и другими типами радиационного воздействия. Медицинское облучение обычно подразумевает облучение конкретной части тела, тогда как другое облучение часто влияет на весь организм в целом. Вдобавок к этому, в группу

пациентов обычно входят люди более зрелого возраста по сравнению с остальным населением. Более того, необходимо очень осторожно сравнивать дозы, получаемые в результате медицинского облучения, с дозами, получаемыми из других источников, учитывая, что медицинские пациенты получают определенную пользу от радиационного облучения.

Возрастающая урбанизация вместе с постепенным улучшением уровня жизни неизбежно означает, что все больше людей имеют доступ к медицинской помощи. Как следствие, доза медицинского облучения для населения потихоньку возрастает по всему миру. НКДАР ООН регулярно собирает информацию касательно диагностических и терапевтических процедур. Согласно опросу за период 1997-2007 около 3,6 млрд. медицинских радиационных процедур было выполнено в год во всем мире по сравнению с 2,5 млрд в течение предыдущего опросного периода 1991-1996 гг., что указывает на рост в 50%.

Основные категории медицинской практики с использованием радиации это: радиология (включая интервенционные процедуры), ядерная медицина и радиотерапия. Другие виды использования радиации, не охваченные регулярными оценками НКДАР ООН, включают программы скрининга здоровья, и различные добровольные участия в медицинских, биомедицинских, диагностических или терапевтических исследовательских программах.

Рентгенодиагностика – анализ снимков, полученных с использованием рентгеновских лучей, например, простая рентгенограмма (грудной клетки или зубов), рентгеноскопия (со взвесью сульфата бария или клизмой) или компьютерная томография (КТ). Методы лучевой диагностики с использованием неионизирующего излучения, такие как ультразвуковое исследование или магнитно-резонансная томография, не затрагиваются НКДАР ООН. **Интервенционная радиология** использует минимально инвазивные процедуры под визуальным контролем для диагностики и лечения заболевания (например, для введения катетера в кровеносный сосуд).

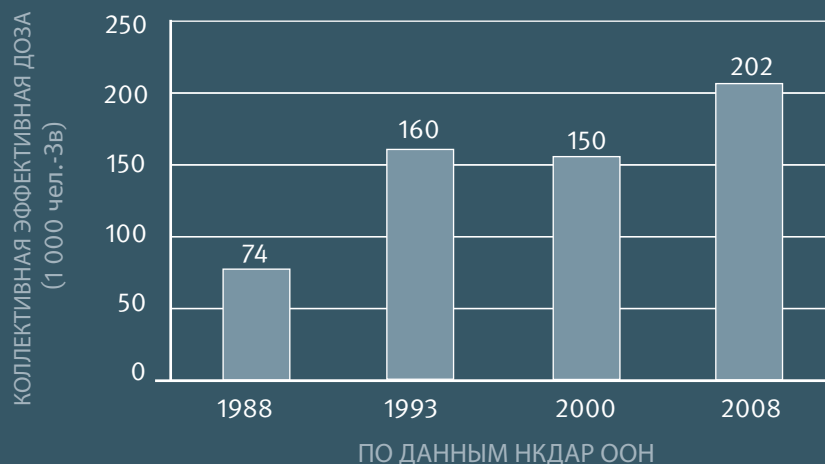
Из-за более широкого использования КТ и значительной дозы во время исследования, общая средняя эффективная доза от диагностических радиологических процедур практически удвоилась с 0,35 мЗв в 1988 г. до 0,62 мЗв в 2007 г. Согласно последнему обзору НКДАР ООН, на долю КТ сканирования приходится 43% от суммарной коллективной дозы в радиологии. Эти цифры варьируются от региона к региону. Около двух третьих от всех радиологических процедур было получено 25% населения всего мира, проживающего в промышленных странах. Для остальных 75% мирового населения средняя частота процедур остается относительно постоянной, даже для простых рентгенологических исследований зубов.

Облучение населения мира от лучевых исследований (1988–2008 годы)



Ядерная медицина – это введение *открытых* (т.е. растворимых и не инкапсулированных) радиоактивных веществ внутрь организма, в основном, чтобы получить снимки, предоставляющие информацию о структуре или о функции органа, и реже для лечения определенных заболеваний, таких как гипертиреоз или рак щитовидной железы. Обычно радионуклид модифицируют для формирования радиофармпрепарата, который обычно вводят внутривенно или перорально. Затем препарат распределяется в

Облучение населения мира от компонентов ядерной медицины (1988–2008 годы)



организме в соответствии с физическими или химическими характеристиками, позволяя провести сканирование. Таким образом, радиация, испускаемая радионуклидом внутри организма, анализируется для получения диагностических изображений или используется для лечения заболеваний.

Количество диагностических процедур с использованием ядерной медицины увеличилось во всем мире примерно с 24 млн. в 1988 г. до 33 млн. в 2007 г. Это привело к значительному увеличению годовой коллективной эффективной дозы облучения с 74 000 до 202 000 человеко-Зиверта. Терапевтическое применение облучения в современной ядерной медицине также увеличивается, достигая 0,9 миллиона пациентов по всему миру ежегодно. И в этом случае использование ядерной медицины неравномерно, поскольку 90% всех исследований проводится в развитых (индустриальных) странах.

Радиационная терапия (или **радиотерапия**) использует радиацию для лечения различных заболеваний, обычно это рак и доброкачественные опухоли. Внешняя радиотерапия относится к лечению пациентов с использованием источников радиации, находящихся вне организма человека, и называется **телетерапией**. Она использует оборудование, содержащее высокорadioактивный источник (обычно кобальт-60) или высоковольтный прибор, продуцирующий радиационное излучение (например, линейный ускоритель). Лечение может также проводиться посредством размещения металлических или герметичных радиоактивных источников, временно или постоянно, внутрь пациента, это называется **брахитерапией**.

Было рассчитано, что за период 1997-2007 гг. 5,1 млн. пациентов в мире ежегодно получили облучение в виде радиотерапии, что превышает показатель в 4,3 млн в 1988 году. Около 4,7 млн. пациентов получали телетерапию и 0,4 млн. брахитерапию. Двадцать пять процентов населения мира, проживающего в промышленных странах, получили 70% лечения радиотерапией и 40% всех процедур брахитерапии.

ОБЛУЧЕНИЕ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Так как общее количество медицинских радиологических процедур значительно возросло за последние десятилетия, увеличилось и количество вовлеченных медицинских работников, оно превысило 7 млн. со средней годовой эффективной дозой облучения около 0,5 мЗв на работника. В интервенционной радиологии и ядерной медицине медицинский персонал может получить дозы, превышающие среднюю дозу.

Несчастные случаи при медицинском применении

Некоторое медицинское применение радиации (например, радиотерапия, интервенционная радиология и ядерная медицина) включают облучение пациентов высокими дозами. При неправильном применении эти процедуры могут нанести серьезный вред пациенту или даже стать причиной смерти. Люди, которые находятся под риском, - это не только пациенты, но также врачи, и другой медицинский персонал, находящийся поблизости. Человеческий фактор является самой распространенной причиной этих несчастных случаев. Примеры включают облучение, рассчитанное в неправильной дозе из-за того, что при планировании лечения были допущены ошибки, неправильно использовано оборудование, было проведено облучение не того органа, и иногда даже облучение не того пациента.

Хотя серьезные несчастные случаи в радиотерапии происходят редко, тем не менее, было зарегистрировано более 100 официальных случаев. НКДАР ООН проанализировал 29 зарегистрированных случаев, произошедших с 1967 г., которые стали причиной 45 случаев смерти и 613 случаев увечий. Однако, скорее всего, о некоторых случаях смерти и о многих повреждениях официально не сообщалось.

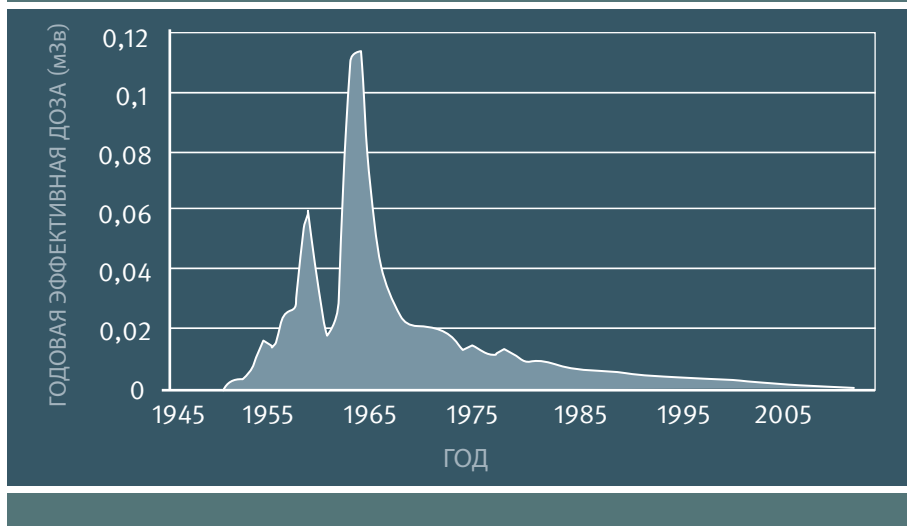
К серьезным последствиям может привести не только облучение большей дозой радиации, но также и недостаточное облучение, когда пациент получает недостаточную дозу радиации для лечения заболевания, опасного для жизни. Программы обеспечения качества помогают поддерживать единые стандарты практики, чтобы минимизировать риск подобных несчастных случаев.

Ядерное оружие

В 1945 г. в течение последней стадии Второй мировой войны две атомные бомбы были сброшены на японские города - Хиросиму 6 августа, и Нагасаки 9 августа. Оба взрыва стали причиной смерти практически 130 000 человек. В истории эти два события пока остаются единственными примерами применения ядерного оружия в ходе ведения войны. Однако после 1945 г. большое количество ядерного оружия было испытано в атмосфере, в основном в северном полушарии. Наиболее активный период испытаний пришелся на 1952-1962 гг. В целом было проведено более 500 испытаний, с суммарным выходом 430 мегатон в тротиловом эквиваленте, последнее испытание имело место в 1980 г. В результате глобальных выпадений после этих испытаний люди по всему миру подверглись радиационному воздействию. В ответ на опасения относительно радиационного воздействия на человека и окружающую среду в 1955 г. был учрежден НКДАР ООН.

Рассчитанная средняя эффективная годовая доза облучения в результате глобальных выпадений от атмосферных испытаний ядерного оружия была наивысшей в 1963 г., составляя 0,11 мЗв, и постепенно снижалась до настоящего уровня - около 0,005 мЗв. Это облучение будет снижаться в будущем, но очень медленно, так как большая часть облучения сейчас происходит за счет долгоживущего углерода-14.

Среднемировая индивидуальная доза облучения от выпадения продуктов ядерных взрывов



Не меньше, чем 50% общих осадков в результате поверхностных испытаний находилось локально в пределах 100 км от испытательного полигона. Люди, проживающие около испытательных полигонов, были облучены в основном из-за локальных осадков. Однако, учитывая, что испытания проводились в относительно отдаленных районах, количество облученного населения было небольшим, и вклад в глобальную коллективную дозу был незначительным. Тем не менее, люди, проживающие с подветренной стороны, получили дозы гораздо выше разрешенных средних значений.

Первый отчет НКДАР ООН в 1958 г. заложил научную базу, на основе которой обсуждался *Договор о запрете ядерных испытаний в атмосфере, космическом пространстве и под водой*. После подписания этого договора о частичном запрете ядерных испытаний в 1963 г. около 50 испытаний ежегодно проводилось под землей до 1990-х гг. и лишь несколько испытаний было также проведено после этого. В большинстве случаев мощность ядерных взрывов во время испытаний была гораздо ниже, чем при испытаниях в атмосфере, и обычно любые радиоактивные вещества были локализованы, за исключением случаев, когда газы выбрасывались или просачивались в атмосферу. Хотя в результате испытаний образовалось

большое количество радиоактивных веществ, предполагается, что они не подвергнут население облучению, поскольку они расположены глубоко под землей и фактически смешиваются с основной породой.

Существует определенная проблема относительно повторного использования территорий ядерных полигонов (например, для выпаса скота или земледелия), поскольку некоторые из них вновь оккупированы. Дозы от радиоактивных выбросов на некоторых испытательных площадках, например, около Семипалатинского полигона в современном Казахстане могут быть существенно высокими, в то время как на других участках, в Муруоро и Фангатауфа, расположенных во Французской Полинезии, дозы для населения составят часть обычного естественного фонового излучения. Тем не менее, для других площадок, где проводились ядерные испытания, такие как Маршэл Айлэндс и Маралинга, в США и Великобритании, облучение проживающего населения, будет зависеть от питания и образа жизни.

Ядерные реакторы

Когда нейтроны ударяют отдельные изотопы урана или плутония, ядро расщепляется на два ядра меньшего размера посредством процесса, который называется ядерным распадом, выделяя при этом энергию в два или более нейтрона. Выделенные нейтроны могут также ударить другие ядра урана и плутония и вызвать их распад, освобождая больше нейтронов, которые в свою очередь могут расщепить больше ядер. Это называется цепной реакцией. Эти изотопы обычно используются как топливо в ядерных реакторах, где цепная реакция контролируется с целью предотвратить слишком быстрое течение реакции.

Энергия, освобождаемая в процессе распада в ядерных реакторах, может использоваться для производства электричества на атомных электростанциях. Однако существуют также исследовательские реакторы для испытания ядерного топлива и разного рода веществ, для исследований в ядерной физике и биологии, а также для производства радионуклидов, которые в дальнейшем будут использоваться в медицине и промышленности. Хотя разница между двумя этими типами реакторов существует, оба требуют производственных процессов, таких как добыча урана и захоронение радиоактивных отходов, что может стать причиной профессионального облучения и облучения населения.

Атомные электростанции

Первая в мире коммерческая атомная электростанция в промышленных масштабах, Колдер Холл, была построена в 1956 г. в Великобритании, и с тех пор производство электроэнергии атомными электростанциями существенно выросло. Несмотря на увеличение вывода из эксплуатации старых реакторов, производство электроэнергии с использованием ядерных источников продолжает расти. К концу 2010 года было около 440 действующих

энергетических ядерных реакторов в 29 странах, обеспечивающих около 10% всего производства электроэнергии, и 240 исследовательских реакторов, которые широко распространены по всему миру в 56 странах.

Хотя производство электроэнергии атомными электростанциями часто вызывает много вопросов, при нормальном функционировании оно вносит малый вклад в глобальное радиационное воздействие. Более того, уровни радиационного воздействия широко варьируются в зависимости от месторасположения предприятия и срока эксплуатации.

Совокупные уровни облучения в результате стандартных выбросов из реакторов проявляют тенденцию к снижению, несмотря на возрастающую электрическую мощность станций. Отчасти это происходит благодаря усовершенствованиям технологии и из-за более жестких мер по радиационной защите. Обычно, выбросы ядерных предприятий являются источником очень низких доз радиации. Годовая коллективная доза на все население, проживающее вокруг атомных электростанций, равна 75 чел.-Зв. Таким образом, человек, проживающий вблизи электростанции, получает, в среднем годовую эффективную дозу облучения в 0,0001 мЗв.

Доминирующим компонентом радиационного воздействия от деятельности с использованием ядерной энергии, является ведение горных работ. Добыча и переработка урана производят существенное количество отходов в форме отвалов, содержащих повышенные уровни естественных радионуклидов. К 2003 г. суммарное мировое производство урана достигло около 2 млн. тонн, в то время как получившееся в результате количество отвалов достигло более 2-х млрд. тонн. Современные отвалы содержатся в хорошем состоянии, но существует много старых, заброшенных мест, и на сегодняшний день только на нескольких были проведены восстановительные мероприятия. НКДАР ООН оценил текущую годовую коллективную дозу для всех групп населения, проживающих вокруг шахт и мест переработки, и скоплений отвалов, как равную около 50-60 чел.-Зв.

Отработанное топливо из реакторов может быть переработано для выделения урана и плутония для повторного использования. Большая часть отработанного топлива в настоящий момент содержится в промежуточном хранилище, а около одной трети произведенного на настоящий момент топлива было переработано. По оценкам, годовая коллективная доза, полученная в результате переработки, находится в диапазоне 20-30 чел.-Зв.

Низкоактивные и некоторые среднеактивные отходы в настоящий момент утилизируются в приповерхностных строениях, хотя в прошлом отходы иногда сбрасывались в море. И высокоактивные отходы от переработки, и отработанное топливо (если не переработано) хранятся, но в конечном итоге должны быть утилизированы. Соответствующая утилизация отходов не должна вызывать облучение людей, даже в отдаленном будущем.

Основные процессы в атомной промышленности

Преобразование и очистка урана для использования в качестве топлива.



Изготовление топлива: сборка тепловыделяющих элементов обычно из керамических топливных таблеток и металлической оболочки.

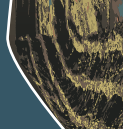


Переработка урана и плутония из отработанного топлива для повторного использования в качестве топлива после преобразования и обогащения.

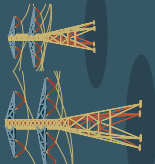
Руда измельчается для отделения диоксида урана. Отходы, содержащие долгоживущие радионуклиды в низких концентрациях, идут в отвал.



Основные способы добычи природного урана – карьерная и шахтная добыча.



В исследовательских и энергетических реакторах происходит деление (расщепление) атомных ядер урана и выделяется энергия, используемая для нагрева воды.



Радиоизотопы, производимые в реакторах, можно выделять для использования в медицине и промышленности.

Побочные радиоактивные продукты снижают эффективность топлива. Через 12-24 месяцев отработанное топливо удаляется из реактора.

Высокоактивные отходы, включая отработавшее топливо, обычно выдерживают во временном хранилище до окончательного захоронения в геологически безопасных объектах.



Слабоактивные и среднеактивные отходы чаще всего закладывают в неглубоких могильниках.



Глубокозахороняющее геологическое хранилище



Поверхностное хранилище



Небольшая и средняя глубина



ОБЛУЧЕНИЕ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

В ядерной промышленности выбросы радона в подземных урановых шахтах вносят существенный вклад в профессиональное облучение. Выделение и переработка радиоактивной руды, которая может содержать высокие уровни радионуклидов, широко распространенный вид деятельности. Средняя годовая эффективная доза на работника в ядерной промышленности постепенно снизилась с 1970-х гг. с 4,4 мЗв до 1 мЗв в настоящее время. Это произошло из-за значительного сокращения добычи урана вкпе с использованием более продвинутых технологий и вентиляции.

Аварии на ядерных предприятиях

Уровни облучения во время нормального функционирования мирных предприятий ядерной промышленности очень низкие. Однако, уже было несколько серьезных аварий, которые привлекли значительное внимание общественности. Последствия данных аварий оценивались НКДАР ООН. Примеры включают в себя: Исследовательский реактор Винка в бывшей Югославии в 1958 г., Атомную электростанцию Три Майл Айленд в США в 1979 г., и предприятие по переработке топлива Токай-Мура в Японии в 1999 г.

Тридцать четыре серьезных радиационных аварий на ядерных предприятиях, произошедшие в период с 1945 по 2007 гг., привели к смерти или серьезным повреждениям у работников атомных станций, а 7 аварий стали причиной сбросов радиоактивных веществ за пределы предприятий и к детектируемому облучению населения. Происходили также серьезные аварии на предприятиях, связанных с программами ядерного вооружения. За исключением аварий в Чернобыле в 1986 г. и на Фукусиме-1 в 2011 г. (о которых говорится ниже), известно о 32 случаях смерти и о 61 случае повреждений, связанных с радиацией и потребовавших медицинского вмешательства.

Самая серьезная авария на ядерной установке для мирных целей до аварии в Чернобыле произошла на атомной электростанции Три Майл Айленд 28 марта 1979 г. Определенная серия событий привела к частичному расплавлению ядра реактора. В результате аварии произошел большой выброс продуктов распада и радионуклидов из поврежденного ядра реактора в здание-контейнер, но в окружающую среду попала относительно малая часть радиации; из-за чего полученное населением облучение было очень низким.

Авария на Чернобыльской АЭС

Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. была не только самой серьезной в истории мирной ядерной энергетики, но также самой серьезной с точки зрения облучения обычного населения. Коллективная доза в

результате аварии во много раз превышала коллективную дозу всех других радиационных аварий вместе взятых.

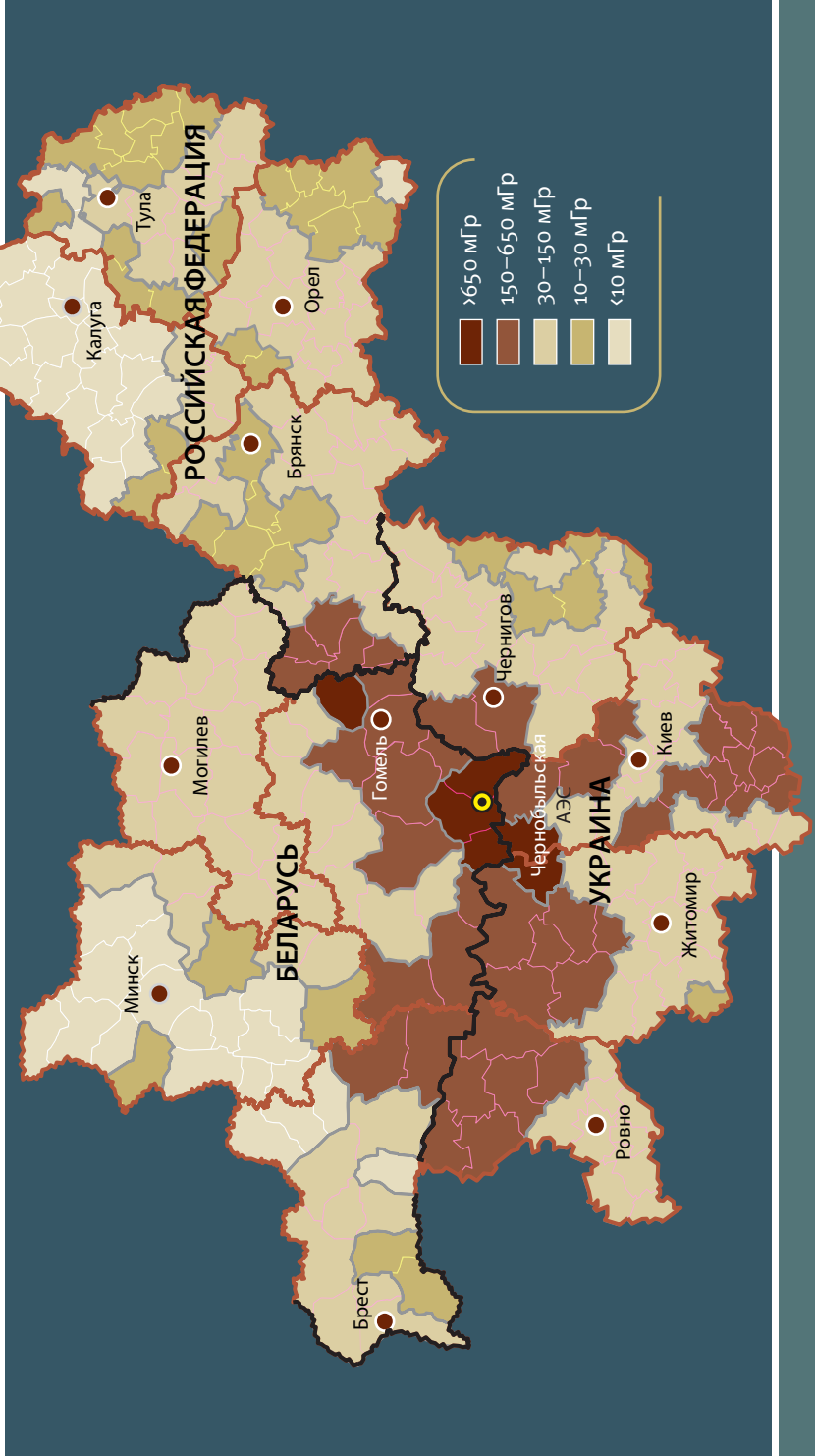
Два работника скончались от травм непосредственно после аварии, а 134 работника пострадали от острого лучевого синдрома, который впоследствии оказался смертельным для 28 из них. Повреждения кожи и радиационно-ассоциированные катаракты - это одни из нескольких примеров серьезных проблем, с которыми столкнулись те, кто выжил. Помимо спасателей, в дальнейшем несколько сотен тысяч людей участвовали в работах по ликвидации последствий. За исключением явного увеличения частоты возникновения лейкозов и катаракт среди тех, кто получил высокие дозы в 1986 и 1987 гг., до настоящего времени нет противоречащих друг другу доказательств о каких либо других радиационно-ассоциированных медицинских эффектах в этой группе.

Авария стала причиной самого крупного неконтролируемого выброса радиоактивных веществ в окружающую среду, которое когда-либо было зафиксировано при какой-либо мирной операции; большое количество радиоактивных веществ выбрасывалось в атмосферу в течение 10 дней. Радиоактивное облако, возникшее в результате аварии, распространилось по всему северному полушарию, существенное количество радиоактивных веществ осело на обширных территориях бывшего Советского Союза и других странах Европы, загрязняя землю и воду, особенно в современной Беларуси, Российской Федерации и в Украине, вызвав серьезную социальную и экономическую дестабилизацию среди большого количества населения.

Загрязнение свежего молока короткоживущим радионуклидом йодом-131 (с периодом полураспада 8 дней) и недостаточная эффективность своевременных контрмер привели к тому, что в некоторых частях бывшего Советского Союза люди, особенно дети, получили высокие дозы радиации на щитовидную железу. С начала 1990-х годов частота возникновения рака щитовидной железы среди лиц, облученных в детском возрасте или в юности во время аварии 1986 г., возросла в Беларуси, Украине и 4 регионах Российской Федерации, подвергшихся наибольшему воздействию. Сообщается о более чем 6 000 случаев за период с 1991-2005 гг., из них 15 случаев со смертельным исходом.

Далее все население продолжало подвергаться радиационному воздействию как внешнему из-за радиоактивных осадков, так и внутреннему, вследствие потребления продуктов питания, загрязненных, в основном, цезием-137 (с периодом полураспада в 30 лет). Однако дозы длительного радиационного воздействия были относительно малыми, средняя индивидуальная эффективная доза за период 1986-2005 гг. на загрязненных территориях Беларуси, Российской Федерации, и Украины составила 9 мЗв, что вряд ли приведет к существенным медицинским эффектам у населения. Тем не менее, серьезное потрясение в результате аварии оказало важное

Средние дозы облучения щитовидной железы после аварии на Чернобыльской АЭС



социальное и экономическое влияние на людей, и стало основной причиной психологического стресса у населения, подвергшегося радиационному воздействию.

НКДАР ООН детально исследовал радиологические последствия Чернобыльской аварии, описанные в различных отчетах. Международное сообщество предприняло беспрецедентные усилия в оценке величин и характеристик последствий аварии в целом и в различных приоритетных областях, чтобы улучшить понимание радиологических и других последствий аварии, и оказать содействие в преодолении негативных последствий.

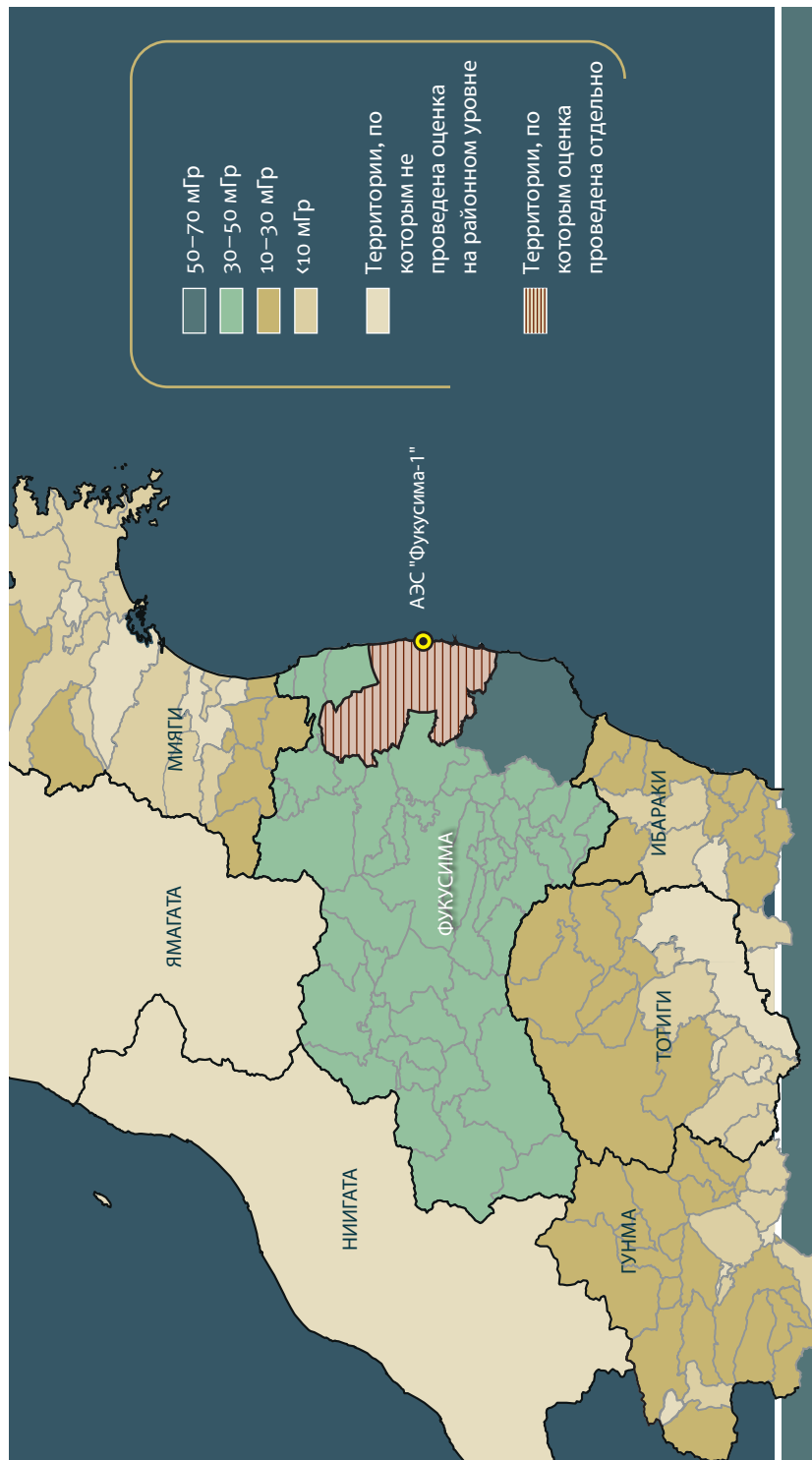
Главным образом, исследования, проводившиеся с 1986 г., показывают, что люди, облученные в детстве йодом-131, а также спасатели и ликвидаторы последствий аварии, получившие высокие дозы, имеют повышенный риск радиационно-индуцированных эффектов. Однако, большая часть жителей данной территории подверглась радиационному воздействию низкого уровня, сопоставимого или в несколько раз превышающего годовые уровни естественного радиационного фона.

Авария на атомной электростанции Фукусима-1

После великого землетрясения на востоке Японии магнитудой в 9 баллов и цунами на восточном побережье северной Японии 11 марта 2011 г. была серьезно повреждена атомная электростанция Фукусима-1, из-за чего произошел выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Около 85 000 жителей, проживающих в пределах 20 км вокруг станции, были эвакуированы из своих домов. Позже, в апреле 2011 г., было рекомендовано эвакуировать еще 10 000 людей, проживающих недалеко от северо-западной части станции, из-за повышенных уровней радиации в почве. Эвакуация существенно снизила уровни радиационного воздействия на население, проживающие в зоне повышенной опасности. Потребление воды и определенных продуктов питания было временно ограничено с целью ограничения радиационного воздействия на местное население. В процессе урегулирования последствий чрезвычайной ситуации на атомной электростанции некоторые рабочие и персонал аварийно-спасательных служб подверглись облучению.

НКДАР ООН провел оценку доз радиации и эффектов влияющих на здоровье и окружающую среду. Около 25 000 работников участвовали в минимизации последствий и других видах деятельности на АЭС Фукусима-1 в первые полтора года после аварии. Средняя эффективная доза у этих работников на то время составила около 12 мЗв. Однако 6 работников получили накопленные суммарные дозы более 250 мЗв; самая высокая доза, согласно сообщениям, составила 680 мЗв у одного работника в результате полученного внутреннего облучения (около 90%). Было установлено, что 12 работников получили дозы на щитовидную железу в диапазоне 2-12 Гр. Не наблюдалось ни одного радиационно-ассоциированного случая смерти или

Средние дозы облучения щитовидной железы у младенцев после аварии на АЭС "Фукусима-1"



острого заболевания непосредственно среди работников, подвергшихся радиационному воздействию во время аварии.

Средние эффективные дозы для взрослых в эвакуированных областях префектуры Фукусима варьировались в пределах от 1 мЗв до около 10 мЗв в первый год после аварии. Эффективные дозы для детей первого года жизни были выше примерно в 2 раза. В районах префектуры Фукусима, в которых эвакуация не проводилась, и в соседних префектурах дозы радиации были значительно ниже.

Оценки средних доз на щитовидную железу, в основном от йода-131, среди тех, кто больше всех подвергся радиационному воздействию, достигали 35 мГр для взрослых и до 80 мГр для годовалых детей. Годовая доза на щитовидную железу, в основном, в результате внешнего облучения от естественных источников составляла порядка 1 мГр. НКДАР ООН предположил, что существует теоретическая возможность того, что риск рака щитовидной железы в группе детей, подвергшихся наибольшему радиационному воздействию, может увеличиться. Однако, рак щитовидной железы - редкое заболевание среди детей, поэтому не ожидается выявление статистически значимых эффектов в данной группе.

Радиационную аварию на Фукусиме-1 сравнивают с катастрофой в Чернобыле, однако авария на Фукусиме-1 отличается типом реактора, тем, как происходила авария, характеристиками радионуклидов в выбросах и их распространением, и принятыми защитными мерами. В обоих случаях большое количество йода-131 и цезия-137 – двух самых значимых радионуклидов с точки зрения облучения в будущем после ядерных аварий – попало в окружающую среду. Выбросы йода-131 и цезия-137 при аварии на Фукусиме-1 по сравнению с аварией на Чернобыльской АЭС составили 10 и 20%, соответственно.

Промышленное и другие применения

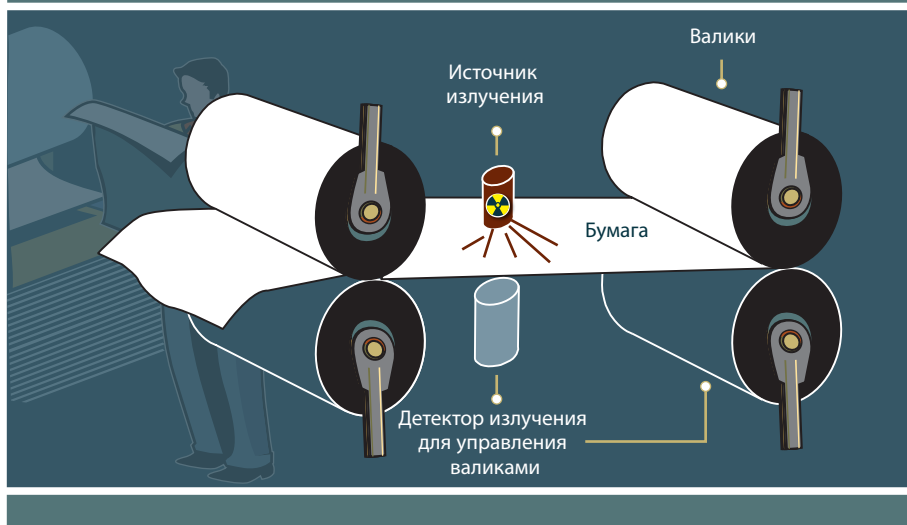
Источники радиации широко используются в промышленности. Примерами являются: промышленное облучение, используемое для стерилизации медицинских и фармацевтических товаров, хранение продуктов питания и избавление от поражений насекомыми-вредителями; промышленная радиография, используемая для проверки на наличие дефектов спаянных металлических соединений; альфа- и бета-излучатели, используемые в люминесцирующих соединениях в оружейных прицелах и как источники света низкого уровня для знака «выход» и подсветки карт; радиоактивные источники или миниатюрные рентгеновские машины, используемые для измерения геологических характеристик в буровых скважинах, пробурованных для поиска минералов, нефти или газа; радиоактивные источники, используемые в приборах для измерения толщины, влажности, плотности и уровней вещества; а также другие герметичные радиоактивные источники, используемые в науке.

Хотя производство радионуклидов для использования в промышленности и медицине широко распространено, оно может привести к очень низким уровням облучения населения в целом. Однако в случае аварий, более локализованные районы могут быть загрязнены, и это может привести к высоким уровням облучения.

ОБЛУЧЕНИЕ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Число работников, участвующих в промышленном использовании радиации составило около 1 млн. в ранних 2000-х гг. с годовой средней эффективной дозой на работника 0,3 мЗв.

Радиоизотопный толщиномер



Природные радиоактивные вещества

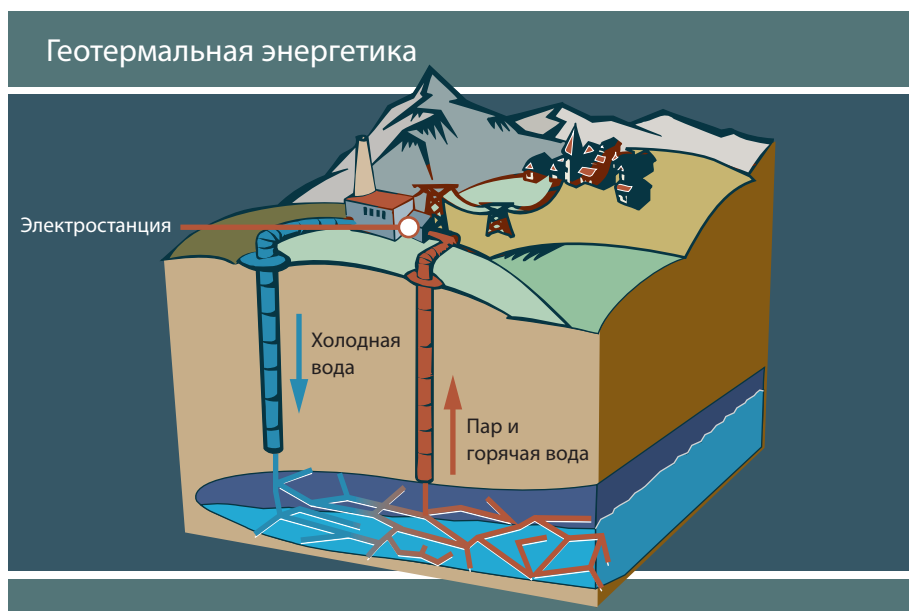
В мире существует несколько типов предприятий, которые не связаны с использованием ядерной энергии, но могут подвергать население радиационному воздействию из-за повышенных концентраций *естественных радиоактивных веществ*, содержащихся в промышленных товарах, сопутствующих товарах и отходах. Самые важные из таких предприятий - это те, которые связаны с добычей и фрезеровочными работами.

Деятельность, связанная с добычей и обработкой руды, тоже может привести к повышенным уровням концентраций естественных радиоактивных

веществ. Эта деятельность включает добычу и обработку урана; добычу и выплавление металлов; производство фосфатов; добычу угля и производство энергии при сжигании угля; добычу нефти и газа; промышленность, связанную с производством редко-земельных элементов и титанового оксида; циркониевая и керамическая промышленность; и применение энергии с использованием природных радионуклидов (обычно изотопов радия и тория).

Уголь, например, содержит следы первичных радионуклидов. В процессе горения эти радионуклиды выбрасываются в окружающую среду, тем самым облучая людей. Это значит, что на каждый гигаватт-год электрической энергии, произведенной мировыми угольными электростанциями, коллективная доза на мировое население, согласно подсчетам, увеличивается примерно на 20 человеко-Зивертов в год. Помимо этого, зольная пыль (остаток, образующийся в процессе горения) может использоваться для строительства мест захоронения отходов и дорог, но ее использование для строительства жилых зданий может привести к радиационному воздействию в результате вдыхания и выдыхания радона. Более того, захоронение зольной пыли увеличивает уровни радиационного воздействия вокруг места захоронения.

Производство геотермальной энергии - еще один источник радиационного воздействия на население. Подземные резервуары пара и горячей воды подводятся через трубы для производства электроэнергии или для подачи тепла в здания. Оценки выбросов в результате использования данной технологии в Италии и США предполагают, что они производят около 10% коллективной дозы на гигаватт-год электричества, производимого угольными электростанциями. В настоящее время геотермальная энергия вносит



относительно небольшой вклад в производство электроэнергии в мире и, соответственно, в радиационное воздействие.

Различная деятельность человека может подвергать людей радиационному воздействию от радиоактивных веществ естественного происхождения, например, осадок после водоочистки, используемой в сельском хозяйстве. Однако уровни облучения населения очень низкие, меньше, чем несколько тысячных мЗв в год.

Побочный продукт обогащения урана – обедненный уран, менее радиоактивный, чем природный уран. Обедненный уран используется и в мирных, и в военных целях много лет. Благодаря его высокой плотности, его используют в противорадиационной защите или как противовес в воздушных судах. Военное использование обедненного урана, особенно в бронетанковых боеприпасах, вызывает обеспокоенность относительно остаточного радиоактивного загрязнения. За исключением нескольких конкретных сценариев, например, длительной ручной обработки, радиационное воздействие обедненного урана чрезвычайно низкое. В действительности, его самое опасное свойство - это химическая токсичность.

Товары народного потребления

Некоторые товары, приобретаемые для ежедневного использования, могут содержать низкие уровни радионуклидов, которые намеренно добавляют в товар из-за их химических или радиоактивных свойств. Исторически, наиболее значимым радионуклидом, используемым в люминесцирующих товарах



потребления, был радий-226. Его использование закончилось несколько десятков лет назад, после чего радий заменили прометием-147 и водородом-3 (тритием), которые менее токсичны. Даже в этом случае, у настенных и наручных часов, содержащих соединения трития, иногда происходит некоторая утечка трития, так как он очень мобильный. Однако, тритий излучает только слабые бета частицы, которые не могут проникнуть сквозь кожу, поэтому он воздействует на людей только, если проникает внутрь организма.

Некоторые современные детекторы дыма состоят из камер ионизации с тонкими слоями фольги из америция-241, которые являются излучателями альфа-частиц и производят постоянный ионный ток. Атмосферный воздух свободно проникает внутрь детекторов; в случае, если дым попадает в детектор, он нарушает ток и активирует сигнализацию.

Радиоактивность источника америция в детекторе дыма очень низкая. Он распадается очень медленно и имеет период полураспада около 432 лет. Это означает, что детектор к концу десятого года использования в целом сохраняет всю свою исходную активность. Пока источник америция остается в детекторе, воздействие будет пренебрежимо малым. Хотя излучение можно обнаружить при помощи чувствительного оборудования, уровни радиационного воздействия таких товаров – чрезвычайно низкие. Согласно подсчетам, человек, находящийся на расстоянии двух метров от детектора в течение 8 часов в день, получает дозу менее 0,0001 мЗв в год.

Несчастные случаи на производстве

Несчастные случаи из-за промышленных радиоактивных источников происходят чаще, чем аварии на атомных электростанциях. Тем не менее, обычно они не привлекают столько внимания, хотя и могут стать причиной существенного радиационного воздействия как на персонал, так и на население.

За период с 1945 по 2007 г. сообщалось о 80 несчастных случаях на промышленных предприятиях, использующих источники радиации, ускорители и рентгеновское оборудование. В результате этих несчастных случаев девять человек погибли, а 120 работников получили увечья. У некоторых работников развился острый лучевой синдром. Самой распространенной локализацией повреждений были руки, и поэтому часто приходилось руки ампутировать. НКДАР ООН считает вероятным, что о некоторых несчастных случаях на промышленных предприятиях, повлекших смерть или повреждения, намерено не сообщалось.

Причин и следствий подобных несчастных случаев много и они разнообразны. Здесь приведено только два примера. В 1978 г. в Луизиане, США промышленный рентгенолог, работающий на барже, получил радиационное повреждение левой руки в размере 3,7 ТБк от источника

иридия-192, вероятно, из-за дефекта дозиметра. Спустя примерно 3 недели его рука покраснела и опухла, а затем появились волдыри на коже, которые заживали 5-8 недель. Однако, спустя 6 месяцев указательный палец пришлось частично ампутировать. Затем в 1990 г. в Шанхае, из-за несоответствующих мер безопасности 7 рабочих подверглись радиоактивному воздействию источника кобальта-60 на промышленном предприятии. Один работник, получивший дозу 12 Гр, скончался через 25 дней после облучения. Второй работник, чья доза оценивалась как равная 11 Гр, умер через 90 дней после облучения. Еще 5 работников получили дозы в диапазоне от 2 до 5 Гр и восстановились после лечения.

Бесхозяйные источники

В период с 1966 по 2007 гг. произошел 31 несчастный случай из-за потерянных, украденных или брошенных радиоактивных источников, также называемых *бесхозяйными радиоактивными источниками*. Известно, что эти несчастные случаи привели к смерти 42 человек среди населения, включая детей. Помимо этого, острый лучевой синдром, серьезные местные повреждения, внутреннее облучение и психологические проблемы потребовали медицинского вмешательства для сотен людей. Шесть несчастных случаев были связаны с брошенным медицинским радиотерапевтическим оборудованием.

Точное количество бесхозяйных источников в мире неизвестно, но предполагается, что число измеряется тысячами. Комиссия по ядерному надзору США сообщает, что компании внутри США потеряли след почти 1 500 радиоактивных источников в период с 1996 по 2008 гг., половина из которых никогда не была найдена. В исследовании, проводившемся Европейским

Предполагаемое число серьезных радиационных аварий во всем мире*

Тип аварии	1945–1965	1966–1986	1987–2007
Аварии на ядерных установках	19	12	4
Аварии на предприятиях	2	50	28
Аварии с бесхозяйными источниками	3	15	16
Аварии в научно-исследовательских организациях	2	16	4
Аварии с медицинской аппаратурой	Неизвестно	18	14

* На основе данных об официально зарегистрированных или получивших огласку авариях. Можно предполагать, что число неучтенных аварий, особенно в медицине, значительно больше.

Союзом, показано, что до 70 источников теряется из-под регулирующего контроля ежегодно в пределах Европейского Союза. Хотя большинство из этих источников не представляют существенную радиологическую угрозу, основное беспокойство вызывают несчастные случаи, связанные с бесхозными источниками.

Герметичные источники или их контейнеры могут привлечь людей, собирающих металлолом с целью торговли, так как данные предметы, по всей видимости, изготовлены из ценных металлов и могут не иметь предупреждающей надписи о радиации. Есть случаи, когда ничего неподозревающие работники и даже простые жители неправильно обращались с источниками, что привело к серьезным повреждениям и в некоторых случаях к смерти, как например произошло в Гоянии, Бразилия в 1987 г. Деталь заброшенной установки для радиотерапии, содержащая высокорadioактивный источник (50,9 ТБк) цезия-137, была похищена, и капсула источника треснула. В течение следующих двух недель растворимый порошок хлорида цезия распространился по всей свалке и в окружающих домах. У большого количества человек развились заболевания и поражения кожи, 110 000 человек наблюдались на предмет радиоактивного загрязнения, многие из которых получили внутреннее облучение цезием-137. Из-за этой аварии 4 человека умерли, включая одного ребенка.

3.3. Среднее радиационное воздействие на население и персонал

По сути, радиационное воздействие от естественных источников радиации на население доминирует среди всего облучения. НКДАР ООН оценил, что средняя годовая эффективная доза на человека в среднем составляет около 3 мЗв. В среднем, годовая доза от естественных источников составляет 2,4 мЗв, две трети которой приходится на радиоактивные вещества в воздухе, которым мы дышим, а также на продукты питания и воду. Основной источник облучения от искусственных источников – это радиация в медицине, с индивидуальной средней годовой эффективной дозой в 0,62 мЗв. Медицинское радиологическое воздействие зависит от региона, страны и системы здравоохранения. НКДАР ООН подсчитал, что средняя годовая эффективная доза от медицинского применения радиации в промышленных странах равна 1,9 мЗв, в непромышленных странах – 0,32 мЗв. Однако эти значения могут существенно различаться (например, в США - 3 мЗв, или в Кении - только 0,05 мЗв).

Средняя доза облучения населения источниками радиации*



* Округленные оценки среднемировой индивидуальной годовой эффективной дозы.

До 1990-х годов все внимание в отношении облучения работников уделялось искусственным источникам радиации. Однако сейчас стало понятно, что очень большое количество работников подвергаются воздействию от естественных источников радиации, в основном в горнодобывающей промышленности. При проведении определенных видов работ в горнодобывающем секторе преобладающую часть профессионального облучения работники получают за счет вдыхания газа радона. Хотя выбросы радона в подземных урановых

шахтах вносят существенный вклад в профессиональное облучение со стороны ядерной промышленности, годовая средняя эффективная доза на работника в ядерной индустрии в целом снизилась с 4,4 мЗв в 1970 х гг. примерно до 1 мЗв сегодня. Однако годовая средняя эффективная доза на работника угольной шахты все еще составляет около 2,4 мЗв, а для шахтеров в других отраслях около 3 мЗв.

Текущая оценка общего количества наблюдаемых работников составляет около 23 млн. по всему миру, из них около 10 млн. подвергаются воздействию радиации от искусственных источников. Три из четырех работников, подвергшихся радиационному воздействию от искусственных источников, работают в сфере медицины, где годовая эффективная доза на работника составляет 0,5 мЗв. Оценка тенденций средней годовой эффективной дозы на работника показывает увеличение воздействия от естественных источников, в основном из-за ведения горных работ, и снижение в облучении от искусственных источников из-за успешного применения мер по радиационной защите.

Тенденции облучения работников по всему миру (мЗв)*				
Десятилетия	1970-е	1980-е	1990-е	2000-е
Естественные источники				
Лётный экипаж	—	3,0	3,0	3,0
Угледобыча	—	0,9	0,7	2,4
Добыча других ископаемых**	—	1,0	2,7	3,0
Прочие источники	—	6,0	4,8	4,8
Всего	—	1,7	1,8	2,9
Искусственные источники				
Медицинское применение	0,8	0,6	0,3	0,5
Атомная промышленность	4,4	3,7	1,8	1,0
Другие отрасли промышленности	1,6	1,4	0,5	0,3
Прочие источники	1,1	0,6	0,2	0,1
Всего	1,7	1,4	0,6	0,5
*Оценки средней годовой эффективной дозы облучения одного работника.				
**Добыча урана включена в атомную промышленность.				

ПУБЛИКАЦИИ НКДАР ООН

С момента создания Научным комитетом ООН по действию атомной радиации выпущено более 25 важнейших научных докладов и более 100 научных приложений, которые высоко ценятся в качестве достоверных источников информации, оценивающей и исследующей радиационное воздействие от испытаний ядерного оружия и производства атомной энергии, медицинского использования радиации, профессиональных источников радиации и природных источников. НКДАР ООН оценивает детальные исследования радиационно-индуцированных раковых и наследственных заболеваний, а также радиологические последствия аварий для здоровья и для окружающей среды. Отчеты и научные приложения НКДАР ООН выпускаются в виде печатных изданий для продажи (unp.un.org) а также в электронном виде (unscear.org) для свободного распространения результатов в интересах государств-членов ООН, для доступа научного сообщества и общественности.

Замечания и комментарии по данной публикации направлять в:

Секретариат НКДАР ООН
Венский международный центр
Почтовый ящик 500
1400 Вена, Австрия
Электронный адрес: unscear@unscear.org

В 1955г. Генеральная ассамблея ООН учредила Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) с целью сбора и оценки информации по уровням и эффектам ионизирующего излучения.

Это было сделано в ответ на опасения по поводу воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека и окружающую среду, так как в то время выпадения осадков в результате атмосферных испытаний ядерного оружия достигали людей через воздух, воду и пищу. Первый отчет НКДАР ООН стал научной основой переговоров в 1963г. относительно соглашения «О частичном запрете испытаний ядерного оружия в атмосфере».

Данная публикация пытается представить объективно и в доступной манере обыкновенному читателю новейшие знания об уровнях и эффектах радиации. . Она основывается на научных отчетах НКДАР ООН, которые используются в качестве главного источника информации.



ЮНЕП