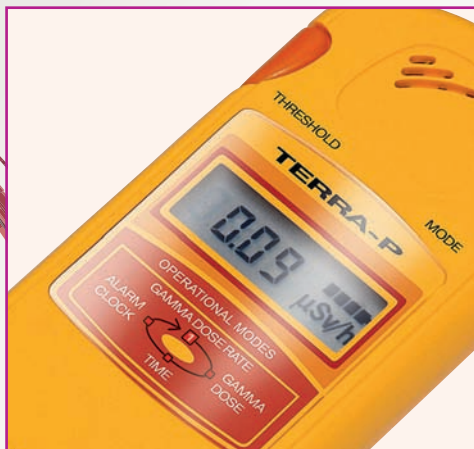




Акатов А. А.,
Коряковский Ю. С.

Радикация: **ОПАСНОСТЬ РЕАЛЬНАЯ И ВЫМЫШЛЕННАЯ**



Акатов А. А.
Коряковский Ю. С.

Радикация: **ОПАСНОСТЬ РЕАЛЬНАЯ И ВЫМЫШЛЕННАЯ**

УДК 612.014.48

ББК 51.26

Акатов А. А., Коряковский Ю. С.

Радиация: опасность реальная и вымышленная. — М.: Изд-во «Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли», 2010. — 28 с.

ISBN 978-5-91706-031-6

Как радиация воздействует на наш организм? Что вносит наибольший вклад в дозу облучения — природные или техногенные источники? Какие дозы опасны для человека? В чем состоит реальная опасность радиации и где вымысел?

Прочитайте этот буклет, чтобы составить собственное мнение.



УДК 612.014.48

ББК 51.26

ISBN 978-5-91706-031-6



- © Издательство «Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли», 2010
- © Акатов А. А., Коряковский Ю. С., 2010

Радиация и эмоции

М

ногие люди считает радиацию неким продуктом ядерной отрасли — и сейчас, наверное, сложно доискаться до первоисточника такой точки зрения. Большой вклад в формирование подобного представления, безусловно, внесла авария на Чернобыльской АЭС в 1986 году: тогда многие люди получили дозы, опасные для здоровья. Также справедливо предположить, что до сих пор сохраняется мощный эффект, произведенный боевым применением ядерного оружия в Хиросиме и Нагасаки в 1945 году. Еще надо учесть, что об авариях (да и о штатной деятельности ядерной от-

расли) мы узнаём от журналистов — людей с гуманитарным образованием, зачастую неспособных разобраться в технических и медицинских тонкостях, — и к тому же вносящих в свои публикации и выступления изрядную долю эмоций. Наконец, надо принять во внимание совершенно нормальный с точки зрения психологии страх человека перед непонятым явлением (а именно таким для большинства и является радиация) и подсознательную готовность предполагать самое худшее.

В представлении многих единственным источником опасной радиации является ядерная отрасль, радиоактивные изотопы, образующиеся в процессе работы атомных электростанций, радиохимических производств, испытаний ядерного оружия. При этом человек легко готов записать себя в категорию пострадавшего, даже получив совершенно незначительную радиоактивную дозу.



Основные источники радиации в представлении большинства населения



А вообще, бывают ли незначительные, неопасные для здоровья дозы радиации? И если бывают, то какую дозу можно считать незначительной?

Постараемся ответить на эти и некоторые другие вопросы и провести более или менее четкую границу между реальной и вымышленной опасностью радиации.

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Начать придется с расшифровки термина «радиация». «Радиация» — это в некотором роде обывательский термин, специалисты ядерной отрасли предпочитают определение «ионизирующее излучение».

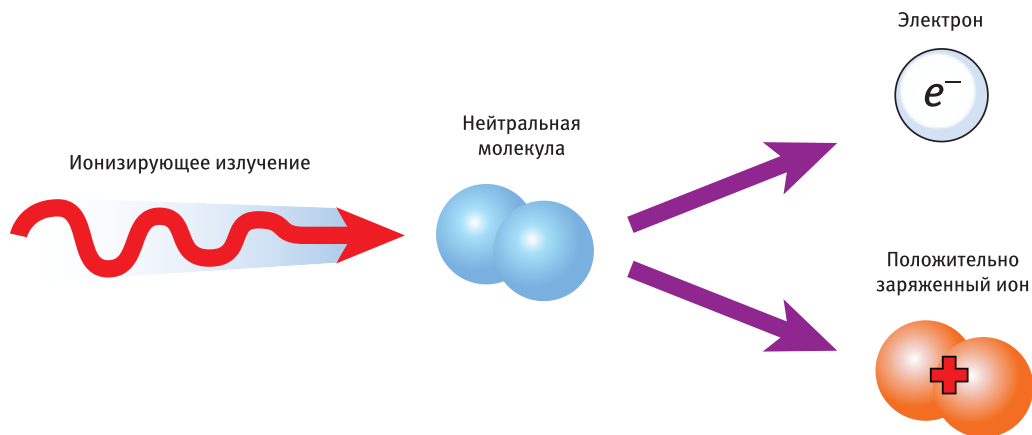
Итак, радиация, или ионизирующее излучение — это поток частиц (электронов, протонов, электромагнитных квантов), способных ионизировать среду, то есть превращать нейтральные атомы и молекулы среды в частицы, имеющие положительный или отрицательный заряд (ионы). При воздействии радиации на организм человека процесс ионизации идет непосредственно в клетках тканей и органов; и если источник излучения обладает достаточной мощностью, ни к чему хорошему это не приводит. Но давайте перед обсуждением последствий сначала рассмотрим основные типы радиации; определим-ся, с чем мы имеем дело.

Радиоактивные изотопы способны испускать излучение трех типов:

альфа-излучение — поток альфа-частиц — ядер гелия (${}^4_2\text{He}$), обладающих высокой энергией,

бета-излучение — поток бета-частиц (бета-частица — это электрон e^- или, реже, — позитрон e^+), также имеющих большую энергию,

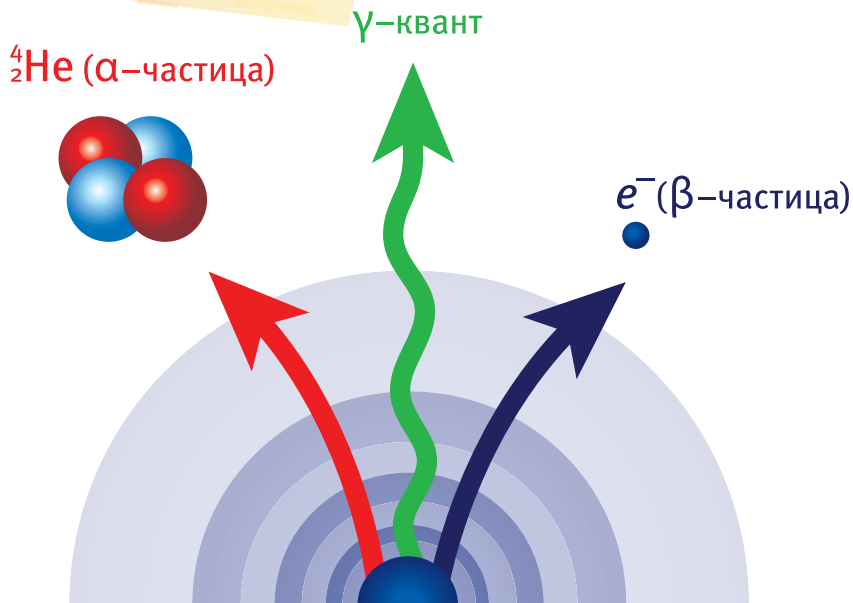
гамма-излучение — поток гамма-квантов (т.е. высокоэнергетического электромагнитного излучения, природа которого аналогична природе света).



Ионизирующее излучение, взаимодействуя с молекулами среды, превращает их в заряженные частицы — ионы

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИЗОТОПЫ

Однако ионизирующее излучение совсем не обязательно связано с техногенными радионуклидами. В каждой вещи, в каждом предмете, которые нас окружают, в том числе в питьевой воде и самом воздухе содержатся природные или естественные радиоактивные изотопы, которые изначально присутствовали на Земле и сопровождают жизнь с момента ее зарождения. Наибольший вклад в годовую дозу облучения вносят именно природные источники: их доля составляет 84 процента. Причем, это справедливо даже для регионов России, наиболее пострадавших от Чернобыльской аварии. Например, в Брянской области доля природного облучения составляет 79 процентов.

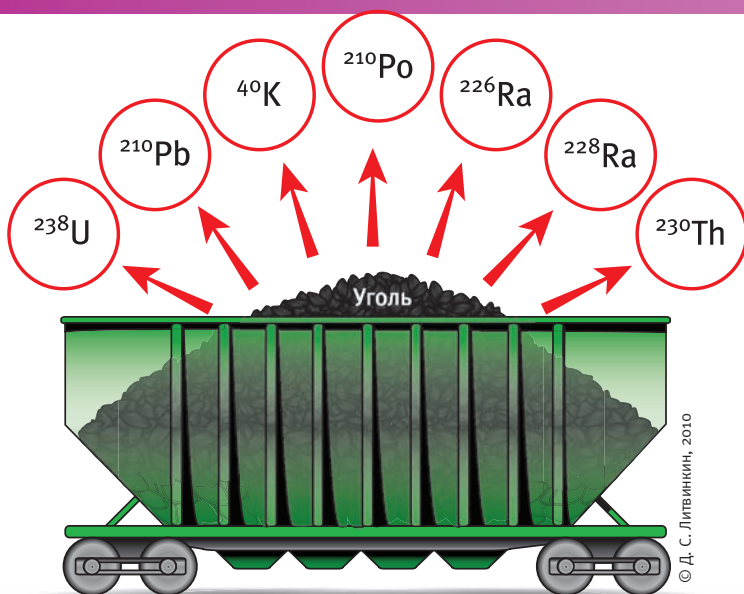


Виды излучения, испускаемого радиоактивными изотопами

В результате различных технологических процессов происходит концентрирование природных радиоактивных изотопов, и это может стать причиной получения повышенных доз облучения. Подобная ситуация возникает, например, при добыче и транспортировке нефти и природного газа, производстве минеральных удобрений, сжигании угля и мазута на тепловых электростанциях.

^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{238}U — и это еще неполный список естественных радиоактивных изотопов, которые могут обусловить повышенные дозовые нагрузки¹.

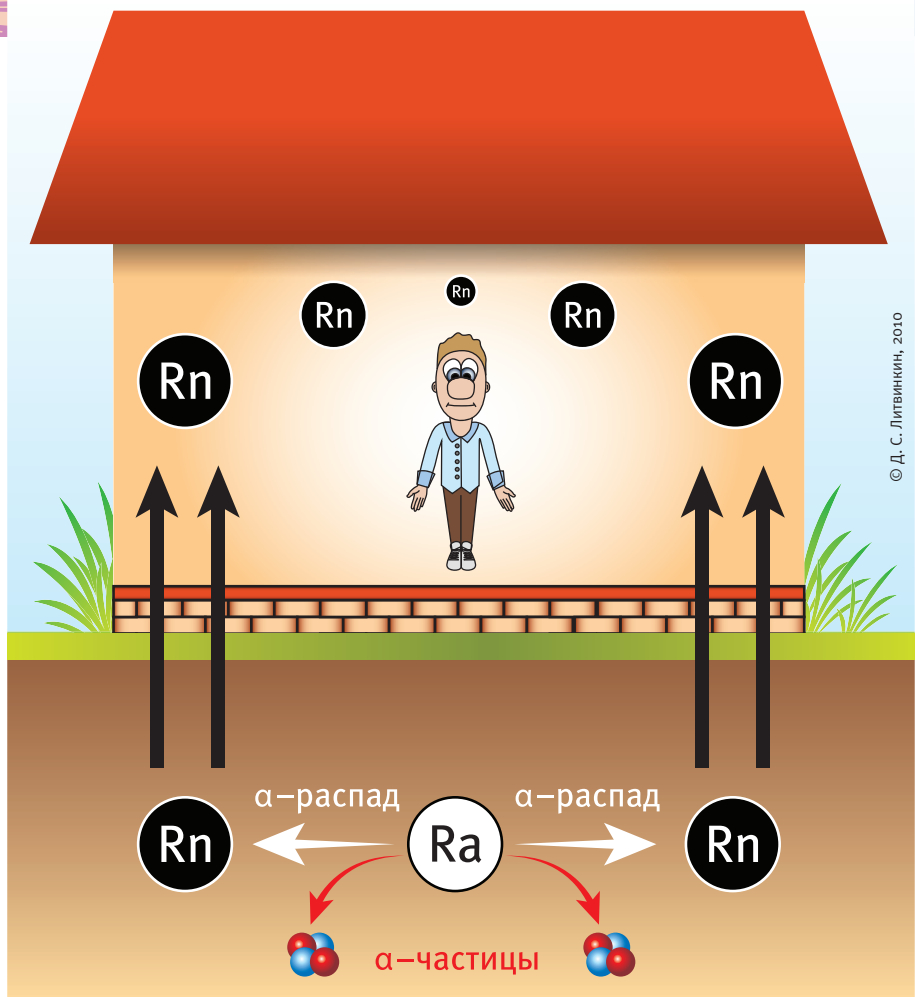
¹ Верхний индекс в обозначении изотопа — это его масса, выраженная в атомных единицах.



Вагон с углем везет не только уголь,
но и целый набор природных радиоактивных изотопов

Радон

Самым значимым естественным радиоактивным изотопом, вносящим наибольший вклад в облучение человека, является радон (^{222}Rn) — радиоактивный благородный газ, образующийся в результате распада радия (^{226}Ra). Механизм таков: если в почве или материале, используемом для строительства, содержится повышенное количество ^{226}Ra , то из него будет выделяться радон, который не удерживается внутри грунта или строительных конструкций, а свободно выходит в воздух. Радон может накапливаться в закрытых, малопроветриваемых помещениях. С воздухом он попадает в легкие и разносится кровью по органам и тканям, что приводит к внутреннему облучению организма.



© Д. С. Литвинкин, 2010

Радон, накапливаясь в закрытых помещениях, способен создавать повышенные дозовые нагрузки

Поступление радона в здания можно снизить, оборудовав подвальные помещения вентиляцией, выполнив бетонирование подвала и заделав щели в межэтажных перекрытиях, — эта простая мера оказывается очень действенной. Рекомендуется чаще проветривать помещения, проводить влажную уборку (продукты распада радона закрепляются на частичках пыли), оборудовать вытяжку над газовой плитой, кипятить питьевую воду. Строительные материалы и проекты зданий сейчас проходят радиационно-гигиенический контроль, но в прежние годы он не проводился.

КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Естественные радиоактивные изотопы — не единственный источник природной радиации. Атмосфера Земли непрерывно подвергается действию галактического космического излучения и излучения Солнца. В основном, до границ атмосферы долетают электроны, протоны и альфа-частицы — компоненты первичного космического излучения. Взаимодействуя с газами, формирующими атмосферу планеты, они приводят к возникновению вторичного космического излучения, представленного гамма-квантами. Однако атмосферная «шуба» Земли играет роль защитного экрана, поэтому на уровне моря вклад космического излучения достаточно мал (для жителей равнин — менее 7 процентов от годовой дозы).

Космическое излучение



Атмосфера Земли в значительной степени защищает нас от космического излучения

МЕДИЦИНСКИЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

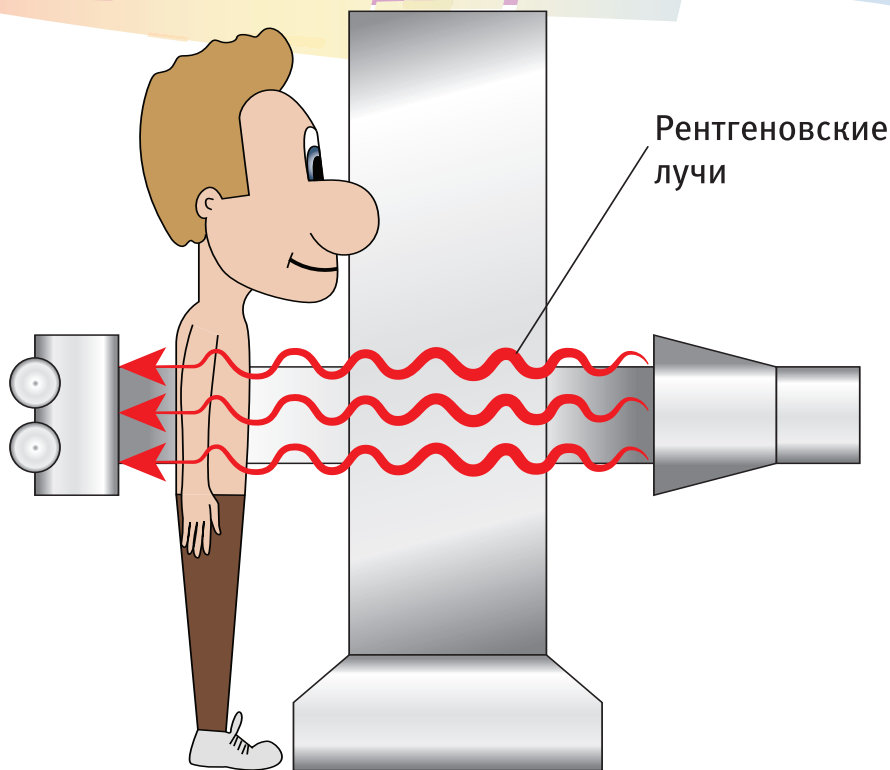
Неприродные источники радиации дают меньший вклад в дозу, но и здесь техногенные радионуклиды не являются главным дозообразующим фактором. После природных источников, наибольшую дозу обычный житель России получает за счет медицинских обследований: она составляет в среднем примерно 15 процентов от суммарной дозы. В настоящее время, как ни странно, в нашей стране не установлены предельные дозы для медицинского облучения. Какими же принципами руководствуются врачи, назначая процедуры, подразумевающие воздействие радиации?

В «Нормах радиационной безопасности–99/2009» читаем следующее:

«Радиационная защита пациентов при медицинском облучении должна быть основана на необходимости получения полезной диагностической информации и/или терапевтического эффекта от соответствующих медицинских процедур при наименьших возможных уровнях облучения. При этом не устанавливаются пределы доз для пациентов, но применяются принципы обоснования назначения медицинских процедур и оптимизации защиты пациентов».

Переведем вышесказанное с сухого формального языка на обычный: мероприятия, связанные с облучением пациента (начиная от флюорографии и заканчивая лучевой терапией), назначаются тогда, когда ожидаемый полезный эффект намного превышает возможный вред от воздействия радиации.

Допустим, речь идет об обычном флюорографическом обследовании: в этом случае полученная информация об изменениях в легочной ткани позволит в максимально короткий срок поставить диагноз и начать лечение. И если пациент действительно болен туберкулезом, то своевременное обследо-



© Д. С. Литвинкин, 2010

При рентгеновском обследовании, флюорографии и компьютерной томографии наш организм просвечивают рентгеновскими лучами, которые по характеру воздействия идентичны гамма-квантам, испускаемым радионуклидами

вание добавок позволяет предотвратить заражение многих окружающих его людей — и это в полной мере оправдывает тот мизерный риск, которому мы подвергаемся, ежегодно проходя флюорографию.



Современные цифровые аппараты для флюорографического обследования позволяют на порядок снизить величину получаемой дозы

В обществе идет постоянное обсуждение, насколько реальна опасность медицинского облучения. У неспециалистов существует мнение, что «роль и значимость радиационного фактора и его воздействия на население высока, постоянно расширяется, и в перспективе будет увеличиваться».



Правда ли это? Совсем нет: медицинская техника непрерывно совершенствуется, и сейчас при рентгеновской диагностике пациенты облучаются гораздо меньше, чем 30–40 лет назад. Обследование на современном цифровом флюорографе снижает дозу в 10 раз по сравнению со старым аппаратом.

Вот еще расхожее мнение: «нередко за секунды пациент получает дозу, в десятки раз превышающую суммарное годовое облучение».

В реальности, даже при выполнении компьютерной томографии (а она облучает намного больше обычного рентгеновского снимка), доза пациента сравнима с дозой, получаемой ежегодно от природных источников, и лежит гораздо ниже опасных уровней. Устаревшие рентгеновские аппараты с дозами, которые «в десятки раз превышают...», сегодня уже не применяются в медицинской практике².

Какое же место в общей схеме занимает вклад техногенных радиоактивных изотопов?

Оказывается, самое последнее: 0,3 процента от годовой дозы в среднем по стране. Эта доля, конечно, может колебаться, но порядок числа будет таким же и для жителей Амурской области, и для населения городов–спутников АЭС³.

ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА

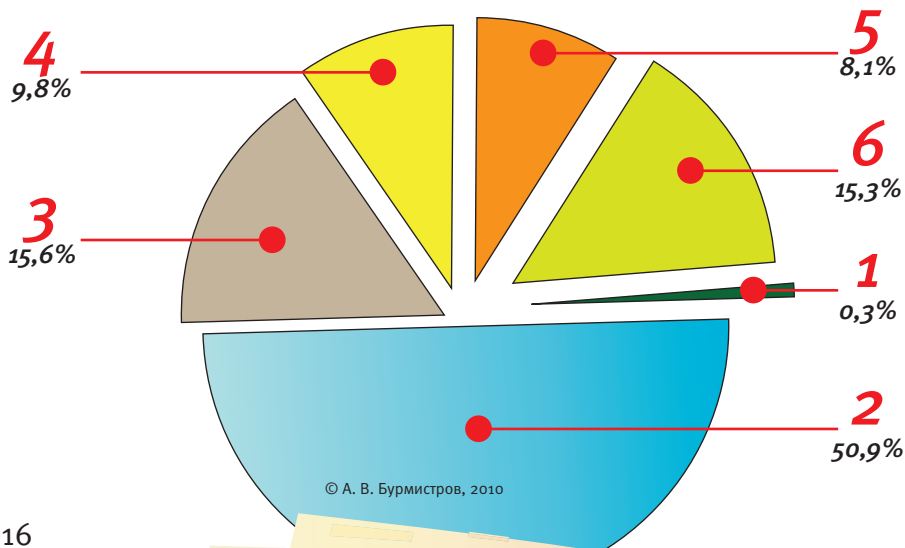
Для того, чтобы определить вред, который радиация наносит нашему организму, используется понятие эффективной дозы. Слово «доза» знакомо

² Высокие дозы можно получить, пожалуй, только при рентгеноскопии. Но этот вид обследования в наши дни практически вытеснен компьютерной томографией по вполне понятным причинам: дозы — в десятки раз меньше, информативность — гораздо больше.

³ Исключение составляют разве что регионы, пострадавшие от радиационных аварий. Но даже для них доля искусственной радиации гораздо меньше по сравнению с медицинским облучением.

Источники радиации, получаемой человеком (в среднем по РФ)

- 1** — техногенные источники — 0,3%
- 2** — радон — 50,9%
- 3** — терригенное излучение, обусловленное радионуклидами, находящимися в земле — 15,6%
- 4** — космическое излучение — 9,8%
- 5** — внутреннее облучение за счет радионуклидов, находящихся в теле человека (калий-40, а также радионуклиды, поступающие с водой, воздухом, пищей) — 8,1%
- 6** — медицинские источники — 15,3%



всем, и даже неспециалист отлично понимает: чем выше доза, тем хуже для организма. Эффективная доза учитывает три аспекта:

- количество энергии излучения (в джоулях), поглощенной органом или тканью (на единицу массы),
- вид излучения (поскольку разные виды излучения отличаются по степени опасности),
- чувствительность разных органов и тканей к излучению.

Коэффициент, учитывающий опасность излучения (R)

Поглощенная доза — количество энергии излучения, переданной органу или ткани (на единицу массы)

$$E = W_R \cdot W_T \cdot D$$

Коэффициент, учитывающий чувствительность к излучению органа или ткани (T)

Эффективная доза — используется как мера риска проявления последствий облучения

Формула эффективной дозы

Для измерения эффективной дозы (или мощности дозы) используются специальные приборы — дозиметры. В частности, каждому сотруднику, работающему на радиационно опасном объекте, выдается индивидуальный дозиметр. Также дозиметры выдаются врачам и техникам, обслуживающим рентгеновские аппараты и установки для лучевой терапии.

Эффективная доза измеряется в зивертах (Зв) — по имени шведского радиофизика Рольфа Зиверта, одного из родоначальников радиобиологии.



Индивидуальный дозиметр

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ

Попытаемся объяснить, чем вредна радиация для живого организма вообще и человеческого организма в частности.

Долгое время считалось, что облучение крайне негативно влияет на структуру клеточного ядра, разрушая нити ДНК, вызывая мутации. Позже выяснилось, что это представление неверно: главный ущерб, который получает облученная клетка, заключается вовсе не в нарушении функционирования генов.

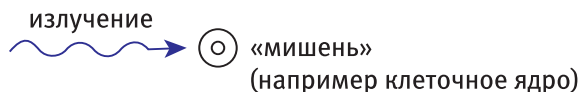
Вода является средой, без которой клетка жить не может. Клетка человеческого организма на 70 процентов состоит из воды, а в клетках мозга ее доля составляет до 90 процентов. Поэтому частица ионизирующего излучения, «влетая» в клетку, с наибольшей вероятностью взаимодействует именно с мо-

Рольф Зиверт

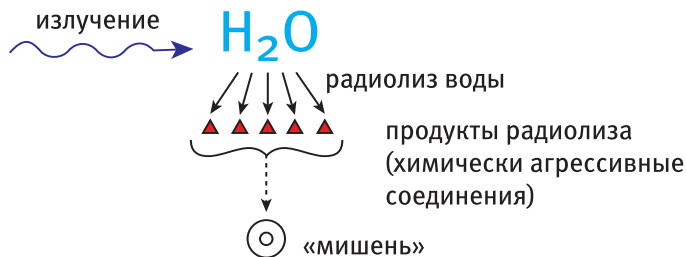


лекулой воды (H_2O), передавая ей свою энергию. Тут-то и происходит ионизация молекулы. Ионизированная молекула (H_2O^+) и вырванный из нее электрон (e^-) взаимодействуют с другими молекулами воды, при этом образуются так называемые свободные радикалы. Радикалы также в свою очередь вступают в химическое взаимодействие.

I вариант



II вариант (основной)



Воздействие радиации на живую клетку



Под действием ионизирующего излучения в клетке появляются чужеродные химически агрессивные соединения. Если таких соединений накапливается слишком много, клетка гибнет. Здесь следует отметить, что клетка обладает механизмами саморегуляции и самовосстановления, с небольшими дозами радиации она вполне способна справиться (также, как наш организм способен справиться с легкой простудой).

ПАРАМЕТРЫ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ

Какую дозу можно считать относительно безвредной? По российским нормам для обычного человека, не работающего с источниками радиации, допустимая эффективная годовая доза составляет 1 миллизиверт (мЗв), причем только от техногенных источников излучения, и сюда не входит медицинское облучение.

Для тех, кто работает с источниками радиации, допустимая доза больше 20 мЗв/год. К слову сказать, в западных странах эту величину сочли чрезмерно строгой и повысили порог до 50 мЗв/год.

Существует весьма странное мнение, что техногенные радионуклиды значительно опаснее для здоровья, чем природные (просто по причине своей «техногенности»). Однако это тот случай, когда «формальная логика» не срабатывает. Конечной величиной, определяющей вред, нанесенный организму, является эффективная доза, измеряемая в зивертах (Зв). Допустим, человек получил дозу 1 миллизиверт. При этом совершенно не важно, что явилось источником излучения — природный радиоактивный газ радон, техногенный изотоп стронция, флюорографическое обследование или регулярные авиаперелеты — во всех перечисленных случаях эффект будет совершенно идентичным. Поэтому, если мы хотим определить, насколько опасными могут быть для

нашего организма последствия облучения, нас должно интересовать значение эффективной дозы, а не источник радиации.

Вопрос в том, откуда взялись все приведенные числа, и почему дозу 1 миллизиверт (а не 100 и не 500) посчитали безопасной? И почему многие специалисты считают современные нормы радиационной безопасности неоправданно жесткими?

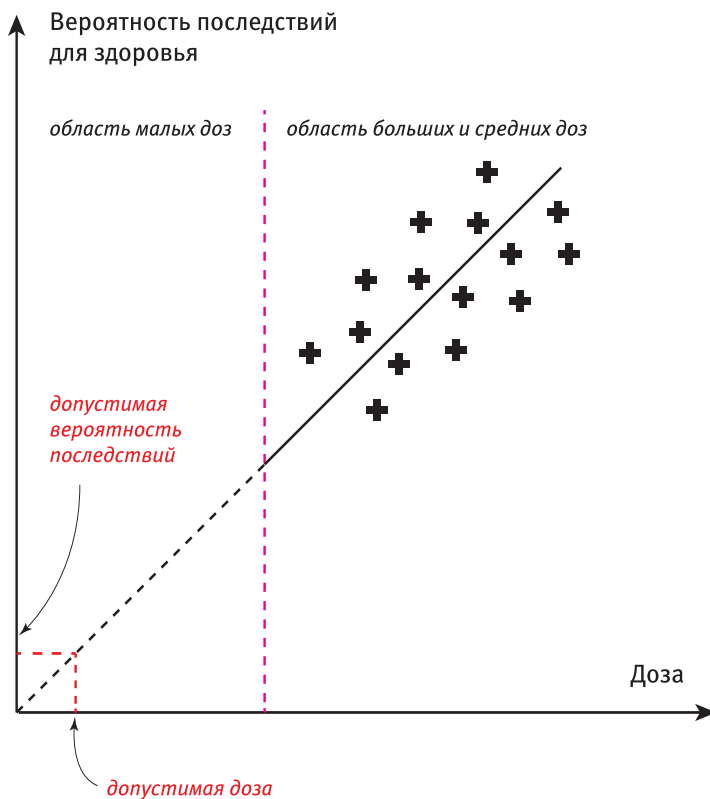
Допустимые величины, приведенные в нормативных документах, выведены на основании линейной беспороговой гипотезы. В соответствии с этой гипотезой любая, даже самая маленькая доза радиации может привести к негативным последствиям для здоровья в будущем. Согласитесь, это звучит довольно пугающе. Попробуем объяснить подробнее.

Итак, медикам известно: для человека, получившего большую дозу, высока вероятность отдаленных последствий для здоровья (в частности, возникновения онкологических заболеваний). При этом наблюдается линейная зависимость: чем выше доза, тем выше вероятность возникновения заболеваний.

Что же сделали ученые? По имеющимся для высоких доз данным они построили линейный тренд, горизонтальная ось которого — это доза облучения, а вертикальная — вероятность возникновения отдаленных последствий. Для малых доз точки не получены⁴, поэтому линию «волевым усилием» продлили влево (в математике эта процедура называется экстраполяцией) — данный участок на рисунке показан пунктирной линией. Этот пунктирный участок и показывает предположительную вероятность вреда от малых доз. Из этого построенного участка и вывели допустимые дозы, для которых вероятность вреда настолько мала, что ей можно пренебречь. Эти дозы и были внесены в нормативные документы; ими должны руководствоваться все, кто имеет дело с техногенной радиацией.

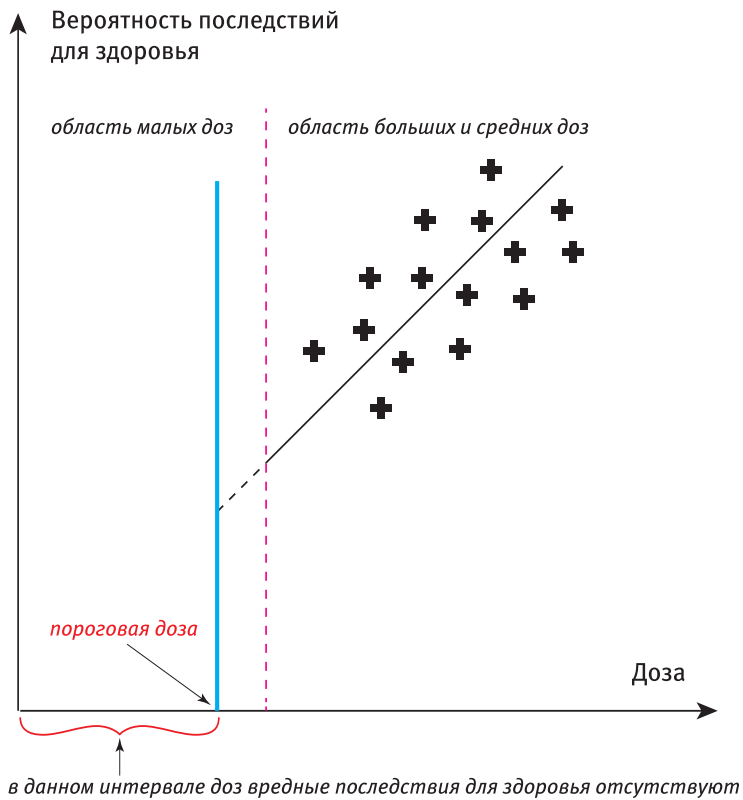
⁴ Эти данные чрезвычайно трудно получить из-за практической ненаблюдаемости эффектов облучения малыми дозами радиации на фоне заболеваемости, вызванной другими вредными факторами, и естественной заболеваемости.

Линейная беспороговая гипотеза



Величины допустимых доз получены на основании линейной беспороговой гипотезы, предполагающей, что даже ничтожно малая доза радиации несет угрозу для здоровья

Пороговая гипотеза





Однако в последнее время все больший вес набирает пороговая гипотеза. Ее основной тезис прост и более чем логичен: если для малых доз радиации не удалось зафиксировать отдаленные негативные последствия, значит, этих последствий в принципе не существует.

Иными словами, существует некая пороговая величина — и если доза, которую получил человек, лежит ниже этого предела, волноваться, по сути, не о чем.

Если сравнивать с допустимыми дозами (1 мЗв/год для населения, 20 мЗв/год для работников), то порог расположен достаточно высоко: по самым жестким оценкам, на уровне 100 мЗв, по более мягким — 500 мЗв (это означает, что ни одна исследовательская группа в мире, пользуясь самой современной аппаратурой, не смогла обнаружить никаких признаков вредного воздействия на организм при дозах ниже 100 мЗв).

Наличие естественного фона само по себе свидетельствует в пользу пороговой гипотезы — ведь иначе придется признать факт, что природная радиация ежегодно уносит жизни сотен тысяч людей — а это довольно сомнительно.

Последствия средних и высоких доз облучения представлены в таблице на с. 26.

Все эти данные относятся к случаям кратковременного однократного внешнего облучения и характеризуют острую лучевую болезнь. Вдобавок надо учитывать: даже при тяжелой радиационной аварии для обычных людей (в частности, жителей прилегающих регионов) вероятность получить дозу хотя бы 500–750 мЗв практически равна нулю.

Закончить хочется на оптимистической ноте, поэтому скажем, что в ближайшие десятилетия основой нашей ядерной энергетики станут АЭС с реакторами типа ВВЭР (Водо-Водяные Энергетические Реакторы), чья конструкция принципиально отличается от РБМК (Реакторов Большой Мощности, Канальных), которые были установлены на Чернобыльской АЭС. Современные энер-

Последствия доз облучения в зависимости от их величины

Доза	Последствия
До 500–750 мЗв	Кратковременные незначительные изменения в составе крови
0,8–1,2 Зв	Порог лучевой болезни. Тошнота у 5–10% облученных, возможна рвота. Изменения в составе крови
1,3–1,7 Зв	Тошнота и рвота у 25% облученных. Изменения в составе крови. Смертельные случаи почти исключены
1,8–2,6 Зв	Тошнота и рвота у половины облученных. Значительные изменения в составе крови. Начало выпадения волос. Возможны единичные смертельные случаи.
2,7–3,3 Зв	Тошнота и рвота почти у всех облученных. Значительные изменения в составе крови. Выпадение волос, стерилизация. Около 20% смертельных случаев в течение 2–6 недель. Восстановительный период у выживших — около 3 месяцев.
3,5–5,0 Зв	Тошнота и рвота у всех без исключения облученных в течение первого дня после облучения, другие перечисленные симптомы лучевой болезни. Смертность около 50% в течение месяца, восстановительный период у выживших — около полугода.
5,5 – 7,7 Зв	Тошнота и рвота по прошествии 4 ч. после облучения, все прочие симптомы лучевой болезни. Смертность около 100% (при отсутствии лечения — 100%). Восстановительный период у немногих выживших — более полугода.
10 Зв	Тошнота и рвота по прошествии 1–2 ч. после облучения. Все признаки острой лучевой болезни, прогноз почти безнадежен (хотя случаи выздоровления известны).

гоблки — как работающие, так и строящиеся — снабжены надежной, глубоко эшелонированной системой защиты. В частности, защитная оболочка энергоблока с ВВЭР, отсутствовавшая у РБМК, способна выдержать ураганы, землетрясения, взрывы и даже падение самолета. Вероятность тяжелого повреждения активной зоны для новых АЭС составляет 10^{-6} на реактор в год: для сравнения, вероятность попасть в дорожно-транспортное происшествие в Великобритании с травмами или смертельным исходом составляет $6 \cdot 10^{-3}$ на автомобиль в год (и это в Великобритании, где куда щепетильнее относятся к соблюдению Правил дорожного движения!).

Макет комплекса АЭС



ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ

Сайт государственной корпорации по атомной энергии «РОСАТОМ» www.rosatom.ru

Сайт Общественного совета Госкорпорации «РОСАТОМ» www.osatom.ru

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ, WHO) www.who.intru

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека — Роспотребнадзор www.rosпотребнадзор.ru

Санкт–Петербургский научно–исследовательский институт радиационной гигиены www.niirg.ru

Научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности www.secnrs.ru

Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности Госкорпорации «Росатом» www.fcncrs.ru

Сайт ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» www.fcp-radbez.ru

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской Академии Наук www.ibrae.ac.ru

Зиверт.Ру – радиационная и экологическая безопасность www.zivert.ru

Экология и атомная энергетика www.ecoatominf.ru

Радиационная обстановка на предприятиях Росатома www.russianatom.ru



Библиотечка
Общественного совета
Госкорпорации «Росатом»

Публикации, выходящие в серии
«Библиотечка Общественного совета Росатома»,
призваны расширить знания читателей о радиации
и радиационной безопасности,
безопасном использовании атомной энергии
и перспективах развития атомной энергетики
в России и в мире

Руководитель издательского проекта Конышев И. В.

Акатов А. А., Коряковский Ю. С.
Радиация: опасность реальная и вымышленная

Редактор А. Н. Борисов
Дизайнер А. В. Бурмистров

Формат 160х170
Тираж 15 000 экз.

Москва
Центр содействия социально–экологическим инициативам атомной отрасли
2010



Акатов А. А.,
Коряковский Ю. С.

Радиация: **ОПАСНОСТЬ РЕАЛЬНАЯ И ВЫМЫШЛЕННАЯ**



Библиотечка
Общественного совета
Госкорпорации «Росатом»

Авторы работают в сфере радиохимической технологии, радиоэкологии и обеспечения радиационной безопасности и в то же время являются преподавателями одного из старейших технических вузов страны — Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета), часто встречаются со школьниками и их педагогами. Они умеют разъяснять достаточно сложные явления простыми словами.

Созданные ими буклеты выпущены в «Библиотечке Общественного совета Росатома» и пользуются успехом у педагогов и старшеклассников, у всех, кто интересуется наукой об атоме и ядерными технологиями.

ISBN 978-5-91706-031-6



9 785917 060316

