

А.М. Люцко, И.В. Ролевич, В.И. Тернов

Чернобыль: шанс выжить

Минск
Полымя
1996

ББК 51.26
Л 96
УДК 614.876 ++ 621.039.581
504.054:539.16.04(476) + 539.16.04

Рецензент
В. Б. Нестеренко,
член-корреспондент АН РБ,
профессор, доктор технических наук
Люцко А. М. и др.

Л 96 Чернобыль: шанс выжить/А. М. Люцко, И.В. Ролевич, В. И. Тернов. — Мн.:
Полымя, 1996. — 181 с: ил.
ISBN 985-07-0012-2.

Чернобыльская катастрофа... С ней придется считаться и теперешнему, и будущему поколениям. Поэтому радиационная культура должна стать неотъемлемой частью общечеловеческой культуры. Достичь этого можно только тогда, когда люди усвоят навыки проживания в загрязненной зоне, правила питания, поведения. Об этом и повествует данная книга.

Рассчитана на массового читателя.

д 6140876000-001 46 М306(03)—96
ISBN 985-07-0012-2
ББК 51.26 + 20.1 + 31.46
Люцко А. М., Ролевич И. В., Тернов В. И. 1996

ОТ АВТОРОВ

Родная земля. Нет ничего ее дороже, потому что каждый ее клочок обильно полит потом хлебопашцев, кровью защитников. И вот эта кормилица становится опасной для самой жизни. И люди надолго, на столетия, оставляют ее. Имя этой трагедии, затронувшей миллионы судеб, — Чернобыль.

К тому, что случилось в Чернобыле в 1986 году, мы не были готовы. «Нашествия» радиации нельзя было избежать, ей нечего было противопоставить. Из-за преступной беспечности, стремления удешевить строительство атомные электростанции в СССР не имели ни обязательных средств защиты, ни достаточной контрольной аппаратуры.

Взорвавшийся в апреле 1986 года реактор РБМК повторял принципы ядерных устройств, на которых с конца 40-х годов нарабатывался оружейный плутоний. В нем тоже применяется горючий графит (за рубежом нет гражданских реакторов такого типа), в целях экономии отсутствуют защитные оболочки. Зато эти полувойсковые объекты, установленные на многих АЭС бывшего Советского Союза, хорошо приспособлены для извлечения плутония из топливных элементов.

Заложенное в 60-х годах отставание отечественной теоретической и экспериментальной дозиметрии, радиационной биофизики и гигиены, исследования по которым были сосредоточены в закрытых учреждениях Третьего главного управления Министерства здравоохранения СССР, так называемых «почтовых ящиках*», особенно остро ощущается сегодня — не хватает специалистов, аппаратуры, радиационно-гигиенических знаний. В школьных учебниках и популярной литературе рассказывалось лишь об одной стороне ядерной энергии — о «мощи ядерного оружия» и «полезности мирного атома». В наследство же нам достались «бэры», «кюри» и другие единицы измерения, которыми давно не пользуются нигде в мире.

Гипотетическая катастрофическая авария в Чернобыле случилась в самом начале наступления гласности. Попытка в духе сложившихся традиций замолчать истинные масштабы трагедии дорого обошлась сотням тысяч людей. Отсутствие элементарных защитных мер, особенно на первом этапе аварии, когда их легко было применить, лишь усугубило беду.

Радиоактивность нельзя уничтожить — с ней придется жить нашему и будущим поколениям. Поэтому чтобы не только выжить, но и жить полноценной жизнью, надо повышать радиационную культуру.

В изданной недавно книге «Выжить после Чернобыля» авторы рассказали о радиоактивности, ее воздействии на организм человека, способах защиты от излучений. С момента издания произошло много событий: изменены некоторые понятия, нормативы» появились первые исследования последствий. Чернобыльской аварии, опубликованы некоторые ранее закрытые данные.

В этой новой книге, как и в предыдущей, авторы старались в доступной форме рассказать о непростых вопросах мира радиоактивности. Для тех, кто давно закончил школу, разобраться в них будет нелегко. Но нужно.

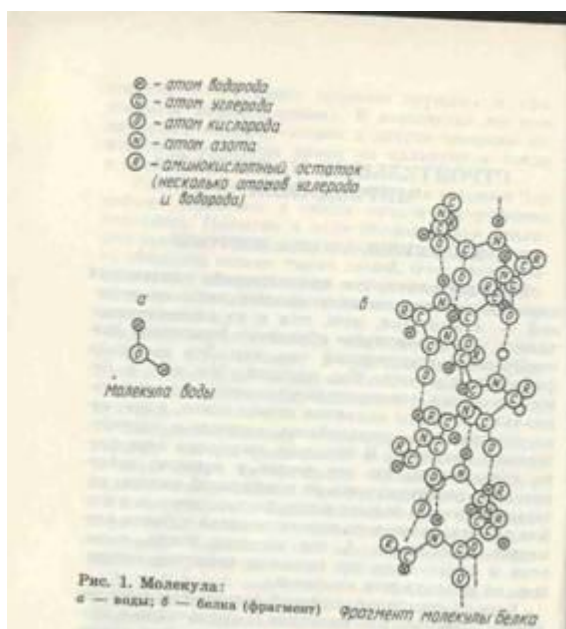
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ МИРОЗДАНИЯ

МОЛЕКУЛЫ, АТОМЫ, ИЗОТОПЫ

Наподобие тому, как из совершенно одинаковых кирпичей можно сложить разные типы сооружений — камин, дом, печь, так и из элементарных частиц — «кирпичиков» образован бесконечно разнообразный окружающий нас мир. Это заметили философы древности. Так, живший в V в. до н. э. Демокрит считал, что первичными строительными материалами природы являются атомы земли, воды, огня и воздуха — мельчайшие, «вечные и неразрушимые» частички. И только в нынешнем веке точно установлено, что все живое и неживое действительно конструируется из комбинаций атомов, которых оказалось больше сотни, расположенных в особом порядке, известном как знаменитая таблица элементов Менделеева. А что касается земли, воды, огня и воздуха, то это сложные вещества, состоящие из молекул или их смеси.

Еще из программы средней школы каждому человеку известно, что молекула — мельчайшая частичка материи. Но не самая мелкая. Это скорее строительный блок. Есть простые молекулы, состоящие из одного или нескольких атомов, а есть сложные, состоящие из множества атомов. Например, молекула воды — простая, содержит два атома водорода и один атом кислорода (рис. 1), а молекула органического вещества состоит из миллионов атомов. Некоторые из них даже видны в электронный микроскоп. В их состав входят атомы углерода, водорода, азота, фосфора, кислорода и металлов. Из таких молекул состоят живые организмы.

В природе существуют, разрушаются и вновь образуются миллионы разнообразных веществ, а следовательно, и молекул, из которых они состоят. Если от молекулы одного вещества отщепить атом, получится молекула другого вещества. Например, при расщеплении молекулы воды получают два атома водорода и атом кислорода. Таким образом, молекулы состоят из атомов.



Атом — мельчайшая частичка химического элемента, которая при определенных условиях также делится на тяжелое ядро и электроны. Если сравнить с видимой природой, то атом — это Солнечная система, где тяжелое ядро — Солнце, электроны — это планеты. Электроны вращаются вокруг ядра, как планеты вокруг Солнца (рис. 2).

Атомное ядро состоит из протонов — положительно заряженных частиц, каждая из которых почти в две тысячи раз тяжелее отрицательно заряженных частиц электронов. Именно число протонов в ядре определяет вид атома. Протоны обозначаются

латинской буквой Z . Самый легкий атом — атом водорода имеет один протон ($Z = 1$), атом железа — 26 протонов ($Z=26$), атом

урана — 92 протона ($Z=92$). Z определяет и номер клетки в таблице Менделеева. Обычно количество электронов в атомной оболочке равно той же цифре, что и протонов, и обозначается буквой Z . Так как протоны и электроны имеют разный электрический заряд, атом в целом является нейтральным.

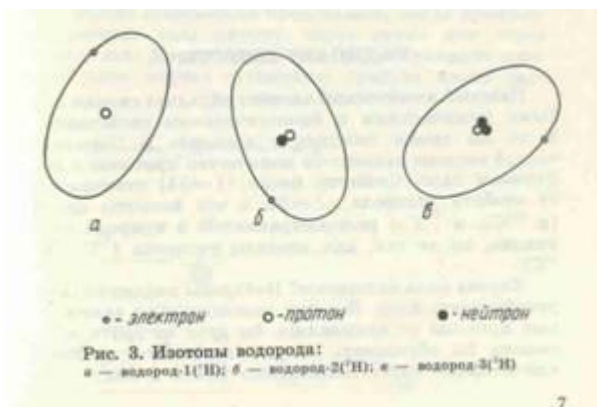
Атомное ядро, кроме протонов, содержит нейтральные частицы — нейтроны, почти такие же тяжелые, но не заряженные. Их количество в ядре атома не является строго определенным. Например, атом водорода содержит один протон, но не имеет нейтрона или имеет их один или два (рис. 3). Этот элемент существует в виде трех изотопов: водород-1 (обычный), водород-2 (дейтерий) и водород-3 (тритий).



Для того чтобы различать изотопы, им присваивают номер или число, равное сумме протонов и нейтронов в ядре. Этот номер можно писать через черточку, как это мы сделали с изотопами водорода: водород-1, водород-2, водород-3, или слева вверху перед обозначением химического элемента, например ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$. В ядре цезия-137 число нейтронов равно $82:(137-55)$, а у цезия-134 их 79: $(134-55)$.

В настоящее время для всех компонентов таблицы Менделеева известно около 1500 изотопов, включая полученные искусственно. В веществе Земли и планет имеется примерно 300 изотопов.

В природе одни элементы встречаются часто — водород, углерод, кремний, железо, другие редко — стронций, цезий, осмий, некоторые — франций, тербий, гольмий видели лишь специалисты, которые с ними работают. Такое же положение с изотопами одного и того же элемента. Например, у водорода на каждые 6400 атомов водорода-1 приходится лишь один атом водорода-2, на 90 атомов углерода-12 — примерно один атом углерода-13. Это говорит о том, что в природе образуются преимущественно изотопы с некоторым оптимальным соотношением протонов и нейтронов: слишком легкие (с малым числом нейтронов) и слишком тяжелые (в которых избыток нейтронов) образуются редко.



РАДИОАКТИВНОСТЬ

Каждый химический элемент обладает своими особыми химическими и биологическими свойствами. В то же время положение элемента в Периодической системе зависит от количества протонов в его атомном ядре. Свойства цезия ($Z=55$) отличаются от свойств углерода ($Z=6$), а все изотопы цезия (и ${}^{134}\text{Cs}$, и ${}^{137}\text{Cs}$) распространяются в природе одинаково, но не так, как изотопы углерода (${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$,

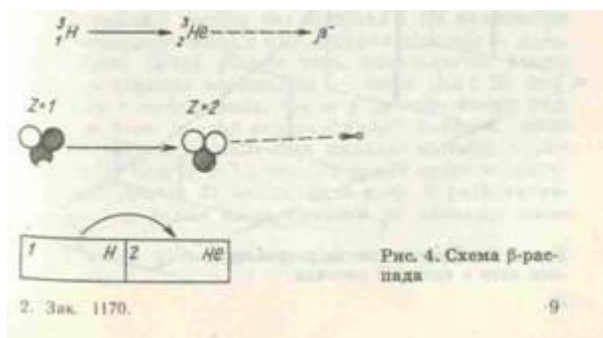
Какова роль нейтронов? Нейтроны поддерживают устойчивость ядер. Без них положительно заряженные протоны отталкивались бы друг от друга и не смогли бы образовать такую устойчивую систему, как атомное ядро. Необходимо иметь в виду: при

определенных условиях, когда соотношение протонов и нейтронов отличается от оптимального, устойчивость теряется. Например, если нейтронов слишком много, они способны превращаться в протоны. Или наоборот, если протонов много, они способны превращаться в нейтроны. И в том, и в другом случае ядро перепрыгивает в соседнюю клетку Периодической системы, образуя новый химический элемент.

Этот процесс называется радиоактивным распадом и сопровождается он испусканием α -частиц. β -частицы — это обычные электроны (превращение нейтрона в протон) или

позитроны (превращение протона в нейтрон), во всем подобные электронам, но в отличие от них заряженные положительно (рис. 4).

Еще один вид радиоактивного распада: обычно он происходит в тяжелых ядрах, из которых вылетают частицы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов. Их называют α -частицами, а соответствующий вид радиоактивного превращения — α -распадом. Поскольку во второй клетке Периодической системы располагается элемент гелий, α -частицы, очевидно, представляют собой ядра гелия. При этом ядро «перепрыгивает» на две клетки влево (рис. 5).



Таким образом, открытие радиоактивности позволяет превращать одни элементы в другие. Этот процесс сопровождается радиоактивным излучением. Но если мы имеем дело с одним единственным ядром, совершенно невозможно предсказать, когда произойдет распад: сию минуту, через сутки или через тысячу лет. Другое дело, если радионуклидов много. В этом случае

существует среднее время распада T , называемое периодом полураспада, в течение которого распадается половина исходных ядер. Спустя еще один период полураспада распадется половина оставшихся, т. е. останется одна четверть и т. д. (рис. 6).

Период полураспада — величина, строго индивидуальная для каждого радиоизотопа. Есть нуклиды, распадающиеся чрезвычайно быстро — за доли секунды; у других T составляет миллиарды лет. Йод-131 имеет период полураспада 8,05 дня; цезий-137 — 30 лет; стронций-90 — около 30 лет (он порождает радиоактивный иттрий-90 с $T=64$ часа), плутоний-239 — 24390 лет.

Со времени аварии на Чернобыльской АЭС практически исчез йод-131. Но даже в 2000 году еще останется более 72 % первоначально выброшенных цезия и стронция, а плутоний-239 «переживет» многие сотни поколений.

Радиоактивность измеряют в распадах на секунду. Эта единица называется беккерель (Бк) по имени французского ученого, открывшего это явление. Например, если активность образца составляет 100 беккерелей, значит, в нем каждую секунду происходит 100 распадов.

Зная радиоизотопный состав и периоды полураспада каждого нуклида, конечно, можно подсчитать и общее количество радиоактивных ядер в данном образце почвы или пищевого продукта. Но это уже другая задача. Например, те же 100 Бк активности можно получить, если в образце каждую секунду распадаются 60 из 100 тысяч имеющихся в нем ядер цезия-137, 35 из 70 тысяч стронция-90 и 6 из 1 миллиона плутония-239.

Единица в тысячу раз большая 1 Бк называется килбеккерель (кБк), в миллион раз большая — мега-беккерель (Мбк). Кроме того, используется также старая единица активности — кюри (Ки). Ее применяли в начале века, когда в распоряжении ученых не было других радиоактивных веществ, кроме радия (радий впервые был выделен в лаборатории супругов Кюри). В 1 г чистого радия каждую секунду распадается 37 миллиардов ядер, и радиоактивность 1 г радия была принята за единицу измерения.

1 кюри — очень большая величина, и практически чаще применяются производные единицы: в тысячу раз меньшая называется милликюри (мКи), в миллион раз меньшая — микрокюри (мкКи).

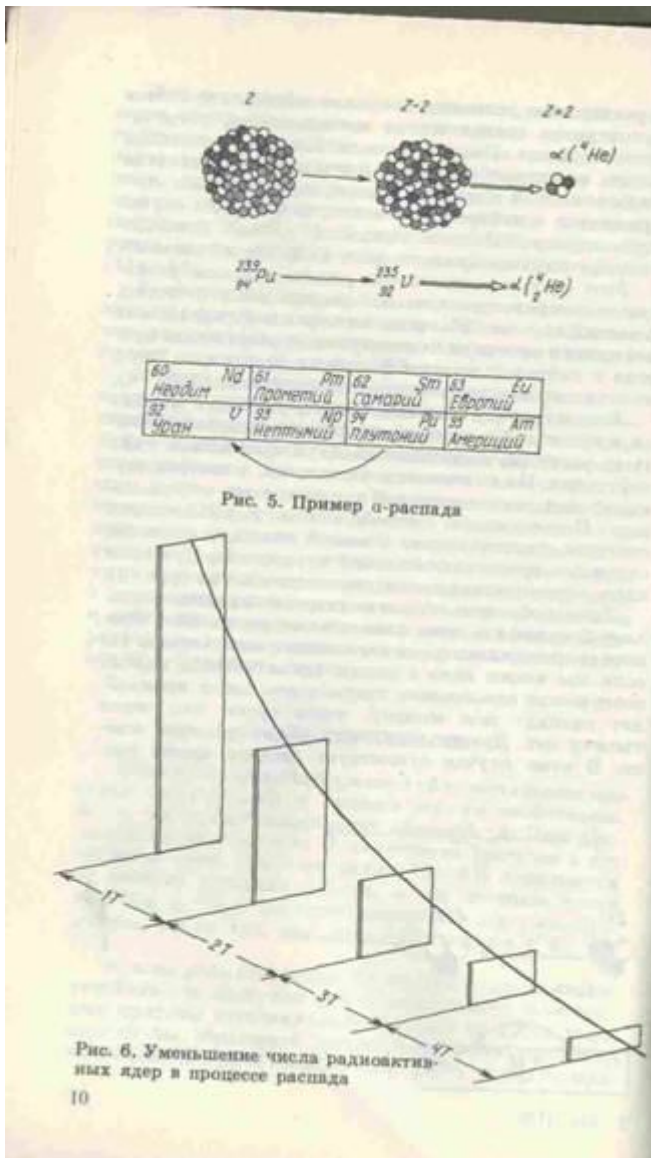


Рис. 5. Пример α -распада

Рис. 6. Уменьшение числа радиоактивных ядер в процессе распада

Зная активность в кюри, нетрудно выразить ее в беккерелях и наоборот: 1 Ки=3,7.10¹⁰ Бк, 1 мКи=37 Мбк, 1 мкКи=37 кБк.

Начиная с момента аварии на Чернобыльской АЭС, в нашей республике периодически публикуются карты радиоактивной загрязненности местности в кюри на 1 кв. км. Перевод этих данных в международные единицы дан в табл. 1.

Сами по себе эти числа, если их не сравнить с чем-нибудь привычным, мало о чем говорят. В природе широко распространен изотоп калия-40. Поверхностная концентрация его в почвах Беларуси — примерно около 1 Ки/кма; в 1 л морской воды активность калия-40 составляет 10 Бк, в 1 кг овощей и фруктов — 50—150 Бк.

Специалисты, конечно, работают с большим количеством радиоактивности. Типичные фасовки радиоактивных веществ, поступающие в специализированные биологические, биохимические, медицинские исследовательские изотопные лаборатории, имеют активность 40 кБк (близко к 1 микрокюри), а менее

опасных — 40 Мбк (близко к 1 милликюри). Таким образом, концентрация активности, сосредоточенной на 1 кв. м загрязненной после аварии на ЧАЭС местности, безопасна при применении надлежащих средств защиты.

Таблица 1

Загрязненность местности радионуклидами		Концентрация ядер цезия-137, соответствующая этой активности, миллиардов на квадратный метр (миллиграммы)
Кюри на километр, Ки/км ²	Килобеккерель на кв. метр, кБк/м	
1	37	50000 (0,0114)
3	111	152000 (0,0345)
5	185	253000 (0,0575)
10	370	506000 (0,1150)
15	555	760000 (0,1730)
40	1480	2000000 (0,455)
100	3700	5060000 (1,150)

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Мы уже познакомились с устройством атомов и их ядер, знаем, что ядра одного и того же химического элемента представляют собой смесь тяжелых и более легких изотопов. Знаем также, что подавляющее большинство ядер в природе существует вечно, хотя некоторые их изотопы — радионуклиды предпочитают распадаться, превращаясь в ядра других элементов. Наконец мы научились измерять активность в почве, воде, продуктах питания. Но вопрос в том, действительно ли мы можем ее измерить? И в самом деле, ядра атомов настолько малы, что ни увидеть их, ни тем более распознать и, конечно, подсчитать «вручную» не представляется возможным.

Но наиболее опасны возникающие при распаде излучения. Не будь излучений, невозможно было бы зарегистрировать само радиоактивное превращение. При радиоактивном превращении выделяется энергия, которая передается α - и β -частицам. Но довольно часто частицы уносят не всю энергию распада: возбужденное ядро в таком случае способно излучать избыточную энергию в виде γ -кванта.

В микромире энергию удобно измерять в электрон-вольтах (эВ). В этих единицах свет, возникающий при взаимодействии молекул и воспринимаемый нами с помощью зрения, имеет энергию около 2 эВ. Энергия радиоактивных излучений в сотни тысяч и даже миллионы раз больше. Например, при распаде цезия-137 энергия электрона достигает 514000 эВ, или 514 килоэлектронвольт (кэВ) и γ -кванта 661 кэВ, превращаясь в стабильный изотоп бария*. Стронций-90 испускает электрон 546 кэВ, но на этом превращение ядра не заканчивается: он образует радиоактивный иттрий-90, который испускает электрон с максимальной энергией 2270 кэВ. Плутоний-239 излучает α -частицы с энергией в несколько миллионов эВ (около 5 МэВ).

* При γ -распаде испускаются частицы с любой энергией от нуля до некоторой максимальной, равной энергии распада для каждого данного радионуклида. Дальше мы будем приводить наибольшие энергии электронов.

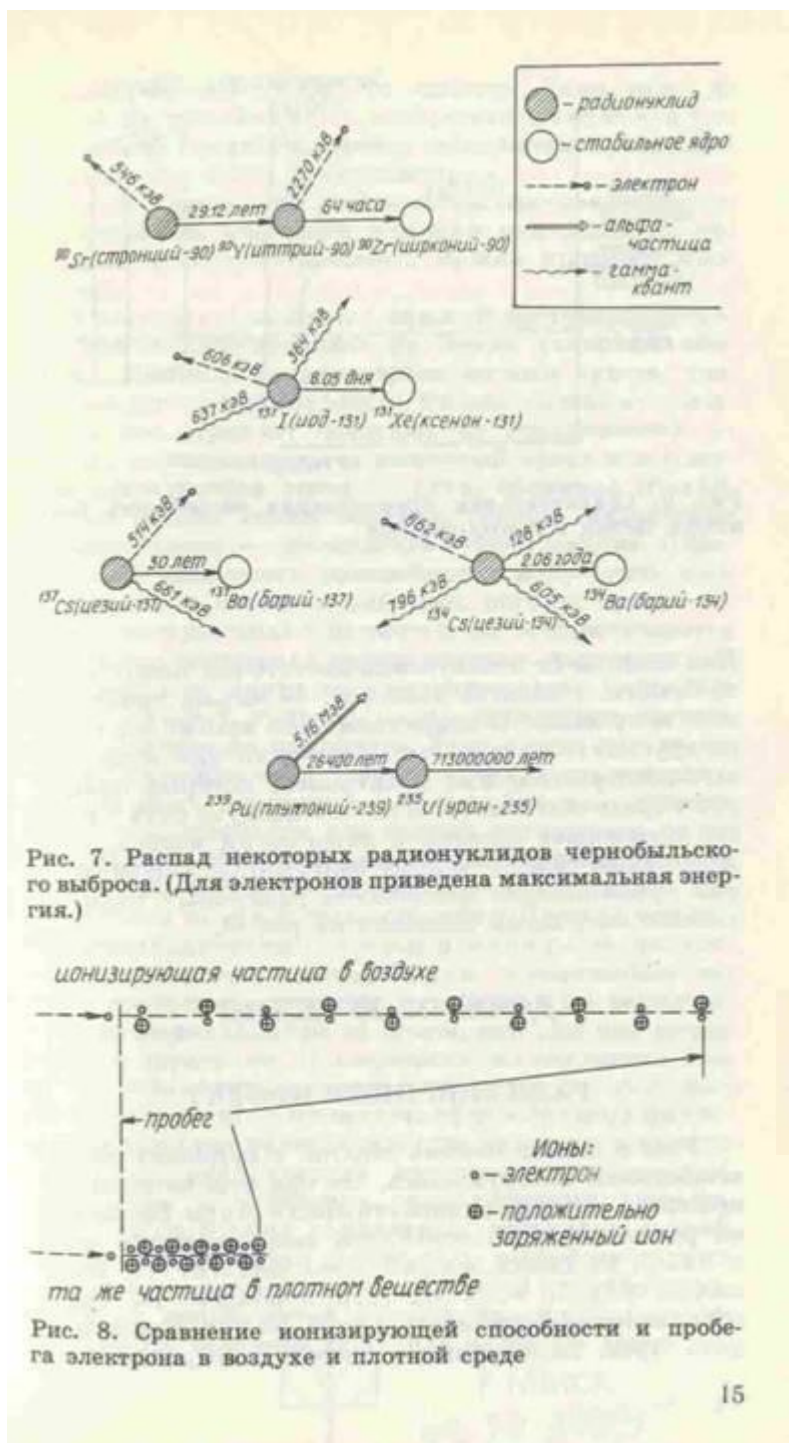
В первые дни после взрыва на Чернобыльской АЭС в окружающую среду попало свыше сотни разнообразных радиоактивных изотопов. Большинство из них быстро распалось, но те, которые имеют периоды полураспада десятки лет, представляют опасность и сегодня. Распад важнейших радиоактивных изотопов чернобыльского выброса схематически показан на рис. 7.

Радиоактивные излучения существуют всего лишь мгновение. Как они исчезают? Гигантская энергия γ -квантов, α - и β -частиц растрачивается в любом веществе, оказавшемся на их пути. В облученном веществе образуются заряды, разрываются молекулы, нарушается структура кристаллических решеток. Это весьма опасно в живом организме.

Рассмотрим более детально законы взаимодействия радиоактивных излучений с веществом, β - и α -частицы растрачивают свою энергию в отдельных актах ионизации — образовании пар заряженных ионов. Движущаяся с большой скоростью частица просто срывает электроны из оболочек попадающих на ее пути атомов. Таким образом, в каждом акте ионизации возникают две новые заряженные частицы — отрицательный (электрон) и положительный (с недостающим электроном) ионы атома.

На каждую ионизацию затрачивается около 30 электронвольт энергии, и нетрудно подсчитать, что частица с энергией 600 кэВ на своем пути способна создать примерно 20000 пар ионов, а с энергией 1,2 МэВ — вдвое больше. В плотной среде, где концентрация атомов велика, ионизации происходят чаще (рис. 8). В этом случае частица растрачивает свою энергию на более коротком участке пути. Прежде чем исчезнуть, β -частицы успевают пролететь расстояние несколько метров в воздухе, несколько миллиметров — в воде и мягких тканях человеческого тела, десятки микрон —

в металле. Тяжелые α -частицы ионизируют вещество значительно сильнее, но зато они очень короткопробежны: в воздухе и органической ткани длина их пути составляет соответственно сантиметры и микроны.



Для защиты от α -излучения достаточно тонкого листа бумаги, γ -кванты, наоборот, — весьма проникающее излучение. С веществом они взаимодействуют по-другому: сначала выбивают один или несколько высокоэнергетических электронов, которые ионизируют среду обычным способом. В воздухе путь γ -квантов превышает десятки и даже сотни метров, в человеческом теле — многие сантиметры. Сравнительная проникающая способность различных радиоактивных излучений показана на рис. 9.

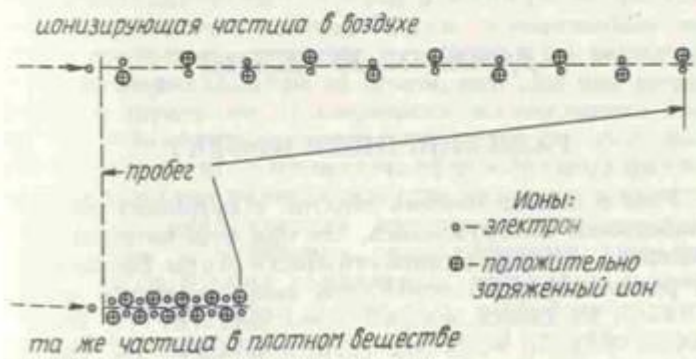
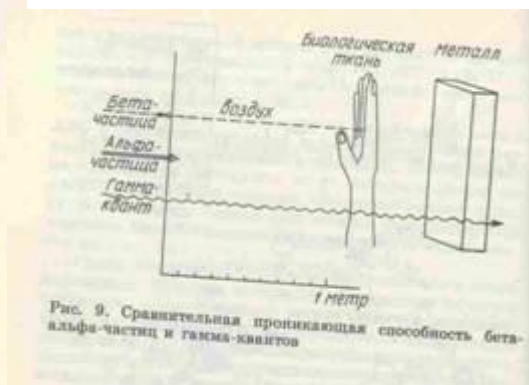


Рис. 8. Сравнение ионизирующей способности и пробега электрона в воздухе и плотной среде

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ

РАДИАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ

Уже в самых первых опытах с радиоактивными веществами обнаружилось, что они небезопасны. Открывший явление радиоактивности Анри Беккерель, на руках которого появились незаживающие язвы, в одной из своих лекций пожаловался: «Я очень люблю радий, но я на него в обиде». Не знали об опасности невидимых лучей Мария Кюри и ее дочь Ирен, выделившие в чистом виде радий и полоний. Обе они умерли от лейкоза.

Рано ушел из жизни Энрико Ферми — изобретатель первого в мире атомного реактора, много экспериментировавший с радиоактивными излучениями.

Таких примеров, особенно частых в начале века, когда об опасности влияния радиации на организм было мало известно, можно привести множество.

В результате эволюции каждый организм приспособился к сложившимся на Земле условиям обитания. Природа предусмотрела органы чувств, предупреждающие об опасности. От ожогов и переохлаждения нас страхует осязание, от столкновений — зрение, от попадания под каменный обвал или с шумом движущийся поезд — слух, обоняние обнаруживает запах. Таким образом, главное назначение органов чувств — обезопасить существование. Однако из бесчисленного разнообразия излучений, пронизывающих окружающий мир, органы чувств человека воспринимают немногие. Не воспринимаются высокоэнергетические радиоактивные излучения. Об их опасности ничто не предупреждает. Возникает вопрос, почему природа не предусмотрела органа, реагирующего на радиацию. Дело в том, что до освоения человечеством ядерной энергии существовавший на Земле радиационный фон был так незначителен, что опасности для живых организмов он не представлял. И только после открытия ядерной энергии такая опасность появилась. Но вредное воздействие ее не сразу было осознано. Прежде чем были сформулированы основные принципы радиационной безопасности, понадобилось основательно изучить свойства излучений, поведение их в веществе, а также радиационные эффекты, которые они производят в организме. Проведенные исследования позволили установить, что результат радиационного воздействия зависит от множества разнообразных факторов: количества радиоактивности снаружи и внутри организма, вида энергии излучения при распаде, накопления и выведения радиоактивных веществ, биологической роли облучаемых органов и тканей и т. д. Объективный показатель воздействия этих факторов — количество поглощенной энергии излучения от ионизации в рассматриваемой массе вещества. Эта величина получила название дозы.

В настоящее время существует несколько понятий доз, возникающих в результате изучения воздействия радиации на человеческий организм. Но затруднение вызывает то, что в отечественной дозиметрии все еще применяются старые, не используемые в международной практике единицы. В связи с этим мы рассмотрим как старые, так и используемые в настоящее время дозиметрические величины, а также соотношения между ними.

ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА

Что такое экспозиционная доза? Чтобы ответить на этот вопрос, надо оценить радиационную обстановку в окружающей среде — экспозицию. Мы находимся на местности, загрязненной разными радионуклидами. При этом короткопробежные¹ частицы поглощаются нижней поверхностью обуви, не влияя на жизненно важные органы. Сильно изменяется по высоте и интенсивность γ -излучения почвы, причем большая часть его будет поглощаться одеждой и кожей. Достаточно равномерно лишь наружное облучение проникающими у-квантами, которые в данном случае представляют наибольшую опасность для внутренних органов. Именно для этих квантов и определена экспозиционная доза — доза гамма- или рентгеновского излучения, прохождение которого в воздухе создает определенное количество заряженных ионов.

Итак, экспозиционная доза определяется только для воздуха и только для квантового излучения. Для ее измерения существует простой физический метод, заключающийся в

измерении суммарного заряда ионов, образовавшихся под действием радиации в воздушной ионизационной камере.

За единицу экспозиционной дозы принят один кулон электрического заряда в одном килограмме облучаемого воздуха: $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ р}$. Кроме основных дозиметрических единиц (грамм, килограмм, микрограмм) используют производные (табл. 2) этой таблицы укрупненные и дробные единицы измерения.

Таблица 2

Количество единиц	Приставка	Обозначение	Доля единицы	Приставка	Обозначение
Миллиард	гига	г	Тысячная	милли	м
Миллион	мега	м	Миллионная	микро	мк
Тысяча	кило	к	Миллиардная	нано	н
			Одна тысячная от миллиардной	пико	п

С помощью этой таблицы легко образовать укрупненные и дробные единицы измерения. Например, одна миллионная рентгена — 1 мкР .

Уровень радиации может изменяться, поэтому используют понятие мощность экспозиционной дозы, которую определяют как величину дозы за определенный промежуток времени. Например, тысячная доля рентгена в

секунду — 1 мР/с ; миллионная в час — 1 мкР/ч . В международной системе единиц мощность экспозиционной дозы выражают в амперах, деленных на килограмм (А/кг). Так, если в облученном воздухе измерен ток в 1 микроампер/кг , это соответствует одной миллионной Кл/кг в секунду.

Как же поступить в случае, если радиоактивные вещества не только осели на поверхности Земли, но и взвешены в воздухе? Это имеет место при прохождении радиоактивного облака после ядерного взрыва или аварии на ядерном объекте либо в сухую погоду над загрязненной поверхностью поднимается пыль. Оказавшийся на таком опасном участке человек снаружи равномерно облучается не только γ -квантами, но также α - и β -частицами. Значит, применить понятие экспозиционной дозы в данном случае нельзя, но для описания радиационной обстановки можно воспользоваться единицами концентрации активности, например беккерелей в кубическом метре или килограмме воздуха, а для изменяюще-гося уровня радиоактивности во внешней среде — $\text{Бк/(м}^3\text{-с)}$ или Бк (кг воздуха-с) . Здесь, правда, ничего не говорится о виде излучений, испускаемых! при радиоактивном распаде, но если добавить, что! в воздухе взвешен стронций-90 или частички плутония, специалист легко определит, какова опасность для человека в данной точке.

Взвешенные в воздухе заряженные α - и β -частицы в основном поглощаются одеждой и поражают лишь открытые участки кожи. У пожарников, оказавшихся на крыше горящего здания реактора Чернобыльской атомной электростанции, образовался «радиационный загар» как следствие сильного облучения β - и α -частицами. Кожа защитила внутренние органы от этих излучений, но она не защитила их от проникающих излучений.

Исходя из этого, главным фактором опасности внешней среды после оседания радиоактивных веществ являются γ -лучи. Экспозиционная доза позволяет в данном случае принять решение о целесообразных мерах защиты: укрыться за толстой стеной или поскорее покинуть зараженный участок.

ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА

Экспозиционная доза показывает радиационную обстановку в соответствующей точке окружающей среды, но воздействие на объект оказывает только та часть излучения, которая поглотилась в нем самом, γ -облучение опасно, но существует много способов ему противодействовать.

Представим, что мы оказались на поле боя, где со всех сторон ведется беспорядочная пальба. Это не значит, что гибель неизбежна: можно надеть бронежилет, каску, спрятаться в траншее или вообще отступить. Другое дело, если пули попадают в цель,...

При определении дозы в объекте нужно учитывать и внешнее и внутреннее облучение, ведь радиоактивные вещества могут попасть в организм с пищей, водой, вдыхаемым воздухом. И в этом случае из-за отсутствия защитных оболочек опасно облучение внутренних органов не только γ -, но также β и α -частицами.

Поглощенной дозой назовем энергию ионизирующего излучения, переданную массе вещества. В отличие от экспозиционной дозы она определена для любых видов излучений, поглотившихся в любой среде и их сочетаний. Единица измерения поглощенной дозы — грей (Гр). Один грей соответствует поглощению одного джоуля энергии (Дж) в килограмме облученного вещества:

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Соотношение старой единицы поглощенного вещества рада к новой выражается так:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад.}$$

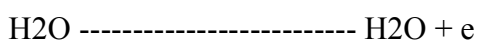
Экспериментально установить величину поглощенной дозы сложно. А выполнить это можно, если тканеэквивалентные дозиметры с детекторами установить в полости тела или в его модели — фантоме.

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

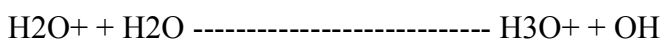
При одной и той же поглощенной дозе α -, β - и γ -излучения обладают различным поражающим действием. Объясняется это их различной ионизирующей способностью, т. е. разной плотностью ионов на единице пути в веществе. Особенно опасно, если эта частица попадает в жизненно важную биологическую структуру. В то же время γ -кванты ионизируют молекулы слабо, растрачивая энергию постепенно. Это приводит к разным последствиям, вызывая тот или иной радиационный или, лучше сказать, радиобиологический эффект. Что понимать под радиобиологическим эффектом?

Ионизирующая радиация передает биологическому объекту небольшую энергию, но вызывает большие неприятности. Даже при смертельной дозе радиации человеческое тело нагревается всего на сотые доли градуса! Объясняется это механизмом размена поглощенной энергии и возникновения веществ, запускающих цепную реакцию биологических разрушений.

Для исследований вместо живого вещества радиобиологи часто используют воду. Когда ионизирующая частица проходит через молекулу воды, сначала, как обычно, возникают ионы:



Затем положительно заряженный ион H_2O^+ взаимодействует с ближайшей молекулой воды, образуя очень активный свободный радикал OH^* .

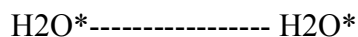


У этого радикала имеется один неспаренный электрон, и он стремится нейтрализовать его во взаимодействии с соседними молекулами, внося беспорядок в химические связи

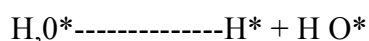
биологической среды. Отрицательные ионы (электроны e^-), в свою очередь, нарушают стабильный биохимический порядок, присоединяясь к молекулам и изменяя привычный для них характер взаимодействия.

Излучение не только ионизирует, но и возбуждает молекулы, отдавая им часть своей энергии:

излучение



Возбужденная молекула H_2O^* разваливается на два радикала:



Таким образом, в результате ионизации и возбуждения в воде образуются, по крайней мере, три химически очень активных агента: e^- , OH^* и H^* с вероятностями каждого из них 45, 45 и 10 процентов. Кроме того, возникают H_2O_2 и многие другие неустойчивые вещества. Все они воздействуют на молекулы в клетках. Так запускается механизм повреждений, который продолжает развиваться и, в конце концов, приводит к угнетению организма, а иногда и к его гибели.

Обычно свободные радикалы «живут» не более одной миллионной секунды, но в твердых кристаллических веществах они не находят такое место в кристаллической решетке, где могли бы встроиться, отдав свою энергию. К такому веществу относится зубная эмаль. Попав в кристаллы зубной клетки, они существуют десятки и даже сотни лет. Таким образом, измерив количество радикалов в случайно выпавшем зубе человека, можно определить накопленную за всю жизнь дозу облучения, применив разработанный для этого метод электронного парамагнитного резонанса, предложенного японскими учеными.

Из биологии мы знаем, что в каждой клетке человеческого организма содержится 23 пары хромосом. Хромосомы представляют собой огромные молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и связанные с ними белки. В отдельных участках ДНК — генах — закодирована вся информация о видовых и индивидуальных особенностях, обмене веществ и о других жизненно важных биологических процессах. Можно разрушить митохондрии клеток, отрезать большую часть цитоплазмы, и все-таки клетка восстановится и останется жить. Но потеря всего одной хромосомы или даже ее изменение обычно ведет к гибели клетки. Вот почему радиобиологи в первую очередь занялись изучением воздействия радиации на молекулярную структуру хромосом.

Изменение плотности ионов при прохождении через нить ДНК ионизирующих излучений разных видов схематически показано на рис. 10. Пропорционально изменяется и количество образующихся вдоль ионного следа радикалов. Чем больше пар ионов (радикалов), тем больше вероятность повреждения и даже разрыва нити. Чаще всего разрывы происходят при альфа-облучении, хотя возможны и в других случаях. Увеличение дозы приводит к росту вероятности разрывов в нескольких местах, так что в ядре клетки накапливаются куски хромосом (фрагменты). Разорванные концы и целые фрагменты в дальнейшем «склеиваются*» в новых сочетаниях, и закодированная в генах информация искажается или теряется совсем. Это и есть хромосомная абберрация. По мере накопления дозы облучения растет и количество хромосомных абберраций по линейно-квадратичному закону (рис. 11). Эта закономерность используется в еще одном методе биологической дозиметрии — методе хромосомных абберраций, в котором количество нарушений подсчитывают под микроскопом.

Облучение приводит к тому, что клетки организма с радиационными изменениями в молекулах ДНК теряют нормальные свойства или приобретают способность безудержного

деления — появляются опухоли. В любом случае облучение приводит к ослаб-1 лению организма, болезням и преждевременной гибели. Последствия зависят от дозы облучения.

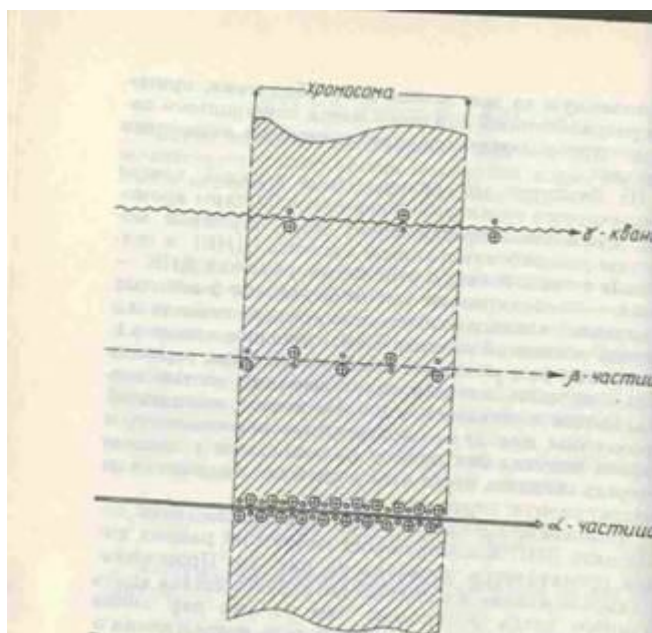


Рис. 10. Механизм поражения биологической молекулы при прохождении ионизирующих излучений

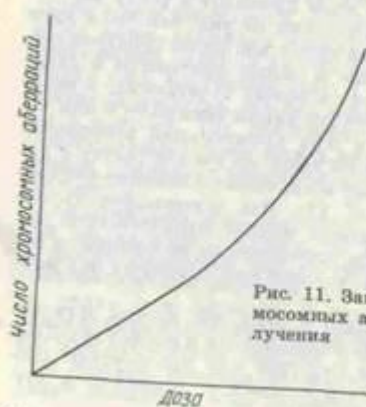


Рис. 11. Зависимость числа хромосомных aberrаций от дозы облучения

Опасно облучение для половых клеток, так как измененная генетическая информация передается по наследству.

Наследуемые хромосомные изменения называются мутациями. Мутации вызывают не только ионизирующие излучения, но и некоторые вредные химические вещества, неблагоприятные факторы окружающей среды. Они возможны при любой дозе, даже такой малой, какая существует при естественном радиационном фоне Земли. Большинство мутаций несовместимо с жизнью. Мутации в хромосомах с большим номером дают неполноценное, хотя и жизнеспособное потомство. Мутация в 21-й хромосоме — пример наследственной болезни Дауна.

Поскольку все обменные процессы в организме находятся под генетическим контролем, многие наследственные болезни (сахарный диабет, альбинизм и т. д.) обусловлены мутациями.

Итак, мы познакомились с некоторыми из радиобиологических эффектов на молекулярном и клеточном уровнях, которые приводят к заболеваниям и генетическим

последствиям. При увеличении дозы вследствие множественности биологических нарушений возрастает и вероятность гибели организма.

Смертельная (летальная) доза для разных организмов разная: простейшие очень устойчивы к радиации, а некоторые бактерии прекрасно чувствуют себя даже в воде атомного реактора. Имеет значение пол, возраст, индивидуальные особенности и множество других признаков. В экспериментах в качестве одного из радиационных эффектов использовали полуметальную дозу (доза ионизирующего облучения, которая вызывает гибель половины всех облученных организмов данного вида ЛД₅₀). Так как смерть почти никогда не наступает мгновенно, наблюдения проводили в течение 30 (60) суток после облучения: ЛД_{50/30} (ДД_{50/во})* В экспериментальной радиобиологии строгие количественное определение Радиационного эффекта обязательно, так как в противном случае у разных специалистов получатся различные, несопоставимые и неповторяющиеся результаты.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА

Выбрав подходящий радиобиологический эффект (абerrации хромосом, изменение числа клеток в составе крови, генетические последствия, критерий ЛД⁵⁰ и т. п.), попробуем улучшить понятие дозы так чтобы оно учитывало особенности поглощения радиации в живом организме.

Согласно опытным данным, α -, β - и γ -излучения даже при одинаковой поглощенной дозе (Д) оказывают разное поражающее действие из-за различной ионизирующей способности — разной плотности ионов на единицу пути в органическом веществе. Так, α -частица при попадании способна погубить целую молекулу. В то же время γ -кванты ионизируют биологическую среду слабо, растрачивая энергию слабо,

В радиобиологических опытах, где все условия измерения, наблюдаемый радиационный эффект и вид экспериментальных животных заранее оговорить для каждого излучения по отношению к эталонному (рентгеновские кванты высокой энергии), можно точно установить их относительную биологическую эффективность (ОБЭ).

На людях такие эксперименты, конечно, не проводятся, однако определение дозы необходимо сделать так, чтобы оно было полезным для безопасности именно человека. Бесконечное разнообразие ОБЭ для этого не подходит, да и неудобно при практических расчетах. На основании многочисленных радиобиологических экспериментов, а также наблюдений за лицами, пострадавшими при радиационных авариях, испытательных взрывах, бомбардировке японских городов, относительную опасность разных ионизирующих излучений учли, приписав каждому из них округленное значение ОБЭ — собственный коэффициент качества излучения (К), α -частицы и β -частицы поражают органическую ткань примерно одинаково, и для них коэффициент качества принят равным 1. Для α -частиц К=20, т. е. считается, что при попадании внутрь организма они в 20 раз опаснее, чем γ -излучение.

Доза, учитывающая различие поражающего действия излучений, называется эквивалентной:

$$D_{\text{э}} = K * D_{\text{п}}$$

Единица эквивалентной дозы — зиверт (Зв) названа по имени шведского радиобиолога. Она больше поглощенной дозы в К раз:

$$D_{\text{э}} = D_{\text{п}} * K$$

Используются также производные единицы: в тысячу раз меньшая — миллизиверт (мЗв) — одна тысячная зиверта, микрозиверт (мкЗв) — одна миллионная зиверта.

Старая единица эквивалентной дозы — биологический эквивалент рентгена (бэр) вычисляется исходя из поглощенной дозы в радях. Зиверт в 100 раз крупнее бэра:

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА

Используя понятие эквивалентной дозы, радиобиологи определили, что облучение менее губительно для простых организмов, чем для сложных (табл. 3).

По пути совершенствования дозы, таким образом, необходимо еще учесть радиочувствительность облучаемых органов и тканей человека. Это тем более оправдано, что некоторые радиоактивные вещества, попадающие в организм с воздухом или пищей, избирательно накапливаются в некоторых органах, т. е. тело человека облучается неравномерно. Кроме того, в радиоизотопных методах медицинской диагностики и

при лучевой терапии опу* холей облучению подвергают лишь отдельные участ ки, и надо знать, каким испытаниям при этом ти подвергаем весь организм.

Т а б л и ц а 3

Организм	ЛД ₅₀ , Зв
Вирусы	10000
Бактерии	2000
Мхи, лишайники	500—5000
Насекомые	600
Лиственные деревья	50—350
Хвойные деревья	10—20
Рыбы	7—15
Птицы (куры)	6—8
Кролик	8
Обезьяна	5
Человек	3,5

Учет радиочувствительности органов и ткани делают с помощью тканевых взвешивающих коэффициентов (ТК) (табл. 4).

Тканевые коэффициенты (ТК) позволяют сопоставить неравномерное облучение отдельных органов с радиационными последствиями для всего организма. Например, считается, что облучение щитовидной железы дозой 1 Зв вызывает такой же неблагоприятный исход, как и облучение всего тела дозой 0,05 Зв. Опаснее, конечно, когда радиации подвергается все тело (от гамма-фона окружающей среды), так как нарушаются взаимосвязи сложнейшей биологической системы, какой является человек, в отличие от нарушения одной или нескольких функций, выполняемых отдельным органом.

Т а б л и ц а

	0,01	0,05	0,12	0,20
Поверхность кожи		Мочевой пузырь	Толстая кишка	Половые железы (гонады)
Кожа		Грудная железа	Легкие	
		Печень	Костный мозг	
		Пищевод	Желудок	
		Щитовидная железа		
		Остальные органы и ткани		
Все тело	1,0			

Зная ТК, можно рассчитать эффективную дозу (эффектанс) $D_{эф}$, обозначающую общий радиационный

ущерб для всего организма с учетом радиочувствительности облученных эквивалентными дозами $D_{э}$ тканей и органов:

$$D_{эф} = ТК_1 \cdot D_{э1} + ТК_2 \cdot D_{э2} + ТК_3 \cdot D_{э3} + \dots$$

Эффективная доза, как и эквивалентная, также измеряется в зивертах или

производных от него единицах.

ОЖИДАЕМАЯ ДОЗА

После аварии на ЧАЭС большое число людей вынуждено жить при повышенном радиационном фоне. Как в этом случае, так и в других, если радиоэкологическая обстановка неблагоприятна, необходимо предвидеть, какую дозу облучения получит человек за предстоящий год, десять лет, в течение всей жизни. Это позволяет оценить вероятность последствий и принять соответствующие защитные меры: обеспечить население чистыми завозными продуктами питания, ввести ограничения в привычный образ жизни или вообще переселить в безопасное место.

Расчет ожидаемой дозы сложен. Он должен учитывать роль отдельных радионуклидов в общей радиоактивности, их периоды полураспада, способность накапливаться в органах и выводиться из организма, особенности рациона питания и загрязненность продуктов, долю внешнего облучения и множество других факторов. Поэтому расчет дозовой нагрузки на некоторый период, например на 70 предстоящих лет (так называемая «доза за жизнь»), требует от специалиста высокой квалификации и досконального знания радиационной обстановки. Ожидаемая эффективная доза тоже измеряется в зивертах.

КОЛЛЕКТИВНЫЕ ДОЗЫ

Просуммировав индивидуальные дозы по группе облученных людей, можно получить коллективную эффективную дозу в человеко-зивертах (чел • Зв).

Коллективную дозу можно рассчитать для отдельного поселка, области, республики или даже для всего контингента подвергшихся облучению людей.

Таким образом, коллективная доза — объективный показатель масштаба радиационного поражения, по которому воздействие ядерных взрывов или радиа-1 ционных аварий на население сравнивается между собой. Например, проведенные расчеты после аварии на ЧАЭС показали, что дозовая нагрузка только от радионуклида цезия-137 на население Скандинавии и стран Центральной Европы в первый год! составила 80 000 чел-Зв. За этот период жители Веј ларуси, Украины и России, проживающие на загрязненных территориях, получили 200 000 чел-Зв¹

Еще одно важнейшее свойство коллективной дозы — возможность применять статистические методы усреднения, которые позволяют вычислить ко-| личество неблагоприятных последствий облучения. На основании многолетних наблюдений за жителями Хиросимы и Нагасаки, переживших атомную бомбар-1 дировку, установлены вероятности дополнительных! случаев раковых заболеваний, рождения неполноцен-1 ного потомства и т. д. — коэффициенты радиацион-1 ного риска, о которых подробнее мы поговорим ниже.1 Дело в том, что одна и та же доза облучения проявляет себя неодинаково: сильный здоровый человек может перенести большую лучевую нагрузку, чей слабый, особенно если это маленький ребенок. Однако в массе облученных людей предсказанное количество случаев гибели или заболеваний обычно| осуществляется.

Наконец, если какая-то часть населения продол-1 жает жить в условиях длительного хроническогоР облучения и известны закономерности изменения радиационного воздействия, рассчитывают ожидаемую! коллективную эффективную дозу (тоже в чел | Зв) на определенный предстоящий промежуток времени. Например, по оценке некоторых международных ор-, ганизаций*, полная ожидаемая коллективная доза в результате аварии на ЧАЭС оценивается в 620 000 чел • Зв (в настоящее время многие специалисты счи- 1 тают, что она превышает 1 млн чел • Зв). Из них 52 % коллективной дозы приходится на европейские страны, 37 — на территорию СНГ, 10 — на

* Облучение в результате Чернобыльской аварии. НКДАР; ООН, Вена, 1988.

Азию 1 — на Африку и 0,3 % на страны Северной и! Южной Америки.

В результате аварии на ЧАЭС огромные тер-питурии загрязнены радиоактивностью сложного изотопного состава. Оценка ожидаемой коллективной дозы с учетом распадающихся радионуклидов важна для прогнозирования неблагоприятных последствий для живущих и будущих поколений и служит ориентиром при принятии защитных мероприятий. Снижению ожидаемой коллективной дозы способствует переселение жителей из сильно загрязненных населенных пунктов, исключение из

сельскохозяйственного использования земель, с которых по пищевым цепям распространяются радиоактивные вещества, контроль за чистотой продуктов питания, дезактивации и другие менее радикальные меры защиты.

Ниже представлена обзорная таблица доз и единиц (табл. 5.)

Таблица 5

Доза	Единицы		Равенство единиц
	международн.	устаревшие	
Экспозиционная	Кулон на килограмм (Р)	Рентген	1 Кл/кг = 3876 Р
	воздуха (Кл/кг)		
Поглощенная	Грей (Гр)	Рад	1 Гр = 100 рад
Индивидуальные:	Зиверт (Зв)	Бэр	1 Зв = 100 бэр
эквивалентная	•	•	
эффективная	•	•	
ожидаемая эффективная	•	•	
Коллективные:	Человеко-зиверт (чел·Зв)	Человеко-бэр (чел·бэр)	1 чел·Зв = 100 чел·бэр
эффективная	•	•	
ожидаемая эффективная	•	•	

31

РАДИОАКТИВНЫЙ ФОН И ДОЗЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОБЛУЧЕНИЕ

Радуюсь солнечному свету и теплу, часто ли мы задумываемся, что это лишь разные виды энергии, которую доносят до нас излучения? Самые разнообразные излучения пронизывают окружающее пространство: свет, тепловые и ультрафиолетовые лучи, вызывающие загар, звуки и радиоволны... Благодаря им человек узнает предметы, слышит, ощущает запахи.

К радиоактивным излучениям у людей и животных нет органов чувств, и без специальных приборов их не обнаружить. Но они существуют и всегда были в природе. Оказалось даже, что естественная радиация — радиационный фон — сыграла важную роль в развитии биологической жизни на Земле.

Радиационный фон окружающей среды состоит из космических лучей, излучений изотопов земной коры и антропогенной радиации, возникшей в результате целесообразной человеческой деятельности, а также безответственного обращения с источниками излучения.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Земля непрерывно бомбардируется космическими частицами, часть которых приходит от Солнца, а большинство из глубин космоса. В основном это — протоны, хотя в первичном потоке встречаются и более тяжелые частицы.

Энергия космического излучения чрезвычайно велика. Зарегистрированы приходящие из космоса протоны с энергией около 1 джоуля. Так как в 1 грамме содержится примерно $6 \cdot 10^{23}$ протонов, то энергия, заключенная в этом количестве протонов, в тысячу раз превышает мощность всех произведенных на Земле термоядерных взрывов, вместе взятых.

На счастье, космические частицы бомбардируют Землю поодиночке. К тому же от их губительного действия защищает атмосфера, в которой они теряют энергию, образуя γ -кванты, нейтроны, мезоны, а другие частицы со значительно меньшей энергией.

На пути к земной поверхности поглощается и это вторичное излучение. До Земли оно почти не подходит. Но в высоких горах, где воздух разрежен интенсивность космических лучей велика (табл.6).

Таблица 6

Высота, км	Мощность дозы, мкЗв/ч	Среднегодовая доза, мЗв
0	0,035	0,3
4	0,2	1,75
8,848 (Эверест)	1,0	8
10	2,9	
20	12,7	

В нижней атмосфере интенсивность космического излучения с высотой удваивается примерно каждые 1,5 км. Таким образом, жители высокогорья, чабаны, пасущие скот на альпийских пастбищах, облучаются сильнее, чем отдыхающие на морском побережье. Еще сильнее космические лучи действуют на

пассажиров самолета, ведь современные авиалинии проходят на высоте 10—12 км. Правда, надо иметь в виду, что в полете человек проводит немного времени, и общая полученная им доза незначительна. Намного большую опасность космическое излучение представляет для экипажей воздушных судов, и особенно для космонавтов, так как последние лишены надежной защиты воздушной оболочки, а через тонкие стенки аппарата-спутника частицы высокой энергии проникают без труда.

Космический фон практически постоянен и зависит лишь от высоты местности. Наши далекие предки тоже подвергались космическому облучению. Нет оснований считать, что интенсивность этого облучения изменится и в ближайшие тысячи лет. Однако если представить на минуту, что поток космических частиц внезапно прекратился, то значит ли это одновременное прекращение облучения? Оказывается нет, потому что на большой высоте (примерно 15—25 км от поверхности Земли) космические лучи превращают некоторые ядра атомов воздуха в радиоактивные! Таким путем образуются тяжелый изотоп водорода — тритий и радиоактивный углерод-14. Распадаясь, эти изотопы испускают β -частицы, причем период полураспада у трития 12,3 года, а у радиоуглерода — 5730 лет!

В воздушном пространстве оба радиоизотопа возникают непрерывно. Но и распадаются они тоже непрерывно, так что в природе всегда имеется некоторое количество трития и радиоуглерода. Как он расходуется? Равномерно перемешиваясь с обычными углеродом и водородом, тритий и радиоуглерод попадают в воду, их потребляют растения и животные. Таким образом, все живые существа содержат немного радиоактивных изотопов, образованных космическим излучением.

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОЧВЫШ И ЗЕМНЫХ ПОРОД

Наша планета образовалась примерно 4,5 миллиарда лет назад. Такой же возраст и химических! элементов, в том числе радиоактивных. Но за это время радиоактивные элементы распались, за исключен ни ем некоторых, у которых период полураспада больше этой цифры. В настоящее время из радиоактивных элементов на Земле сохранились калий-40, уран-238, уран-235, торий-232, рубидий-87. Они рассеяны в почвах, горных породах, полезных ископаемых и создают естественный радиационный фон Земли.

Калий-40 больше всего в ископаемых калийные солях, но в небольшом количестве он встречается повсюду, в том числе в воде, пище и даже в теле человека. Естественное содержание этого изотопа в почвах Беларуси на глубине 20 см — около 40 кБк/м².

Период полураспада урана-238 равен примерно! 4,5 миллиарда лет, т. е. возрасту Земли. В настоящее время его вдвое меньше. Поскольку период полураспада урана-235 700 млн. лет, его осталось очень мало.

Ядро урана распадается, испуская α -частицы. Но каждое вновь образованное ядро — тоже радио-1 активно и в свою очередь распадается, испуская частицы. Прежде чем окончательно превратиться в свинец, уран образует полтора десятка промежуточных радиоактивных ядер — радиоактивный ряд. В радиоактивном ряду урана-238 распад заканчивается, когда возникает стабильный (нерадиоактивный) свинец-206. Ряд урана-235 кончается образованием стабильного свинца-207.

Радиоактивный ряд распада тория-232 заканчивается свинцом-208. Почти весь свинец, который встречается на Земле, образовался в результате распада урана или тория.

Среди промежуточных ядер любого из названных радиоактивных рядов выделим радон. Считающиеся целебными радоновые ванны — это вода, в которой растворен этот радиоактивный элемент. Дело в том, что радон является газом, а значит, он легко вытекает в воздух, особенно если образуется в разрушенной или пористой породе — почве, песке. В земле, богатой ураном или торием, есть радон. В такой местности обычно повышена концентрация этого газа в воздухе, куда он поступает через поры или трещины. Земной и космический фон образуют естественный радиационный фон данной местности. Составляющие этого фона непрерывно облучают все живые организмы. Средние концентрации природных изотопов и соответствующие дозы внутреннего облучения в тканях жителей США представлены в табл. 7.

Изотоп	Концентрация радиоактивности человеческого тела, Бк/кг	Среднегодовая доза, мЗв
Тритий	26	0,00001
Тритий (антропогенный)	1000	0,0006
Радиоуглерод	2960	0,01
Калий-40	4070	0,169
Рубидий-87	1073	0,006
Стронций-90 (антропогенный)	48	0,004

В таблице приведены также вклады радиоактивных изотопов, накопившиеся в результате человеческой деятельности (антропогенные). Доли каждого источника радиационного естественного фона в среднегодовой эффективной дозе человека (мЗв) представлены в табл. 8.

О к о н ч а н и е		
Изотоп	Концентрация радиоактивности человеческого тела, Бк/кг	Среднегодовая доза, мЗв
Цезий-137 (антропогенный)	104	0,003
Свинец-210 (ряд урана-238)	22	0,09
Радий-226 (ряд урана-238)	3	0,02
Радий-228 (ряд тория-232)	2	0,03
Природный уран	3	0,02
	9310	0,353

В таблице с учетом внешнего облучения α -квантами и поступления радиоактивности внутрь организма рассчитаны средние дозы для человека от естественного фона.

Т а б л и ц а 8			
Источник излучения	Внешнее облучен.	Внутрен. облучен.	Полная доза
Космическое	0,355	0,015	0,37
Радиоизотопы земной коры			
калий-40	0,15	0,18	0,33
ряд урана-238 (радон-222)	0,1	1,24	1,34
ряд тория-232 (радон-220)	0,16	1,1	0,24
Доза естественного фона	0,8	0,16	2,4

Примечание. Радон дает вклады и во внешнее, и во внутреннее облучение.

ПРИРОДНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ И ЧЕЛОВЕК

Все, что построено людьми, сделано из природных материалов — глины, песка, дерева, камня... Все они содержат естественные долгоживущие радиоизотопы: калий-40, α -, β - и γ -излучающие промежуточные ядра рядов урана и тория.

Добывая полезные ископаемые, человек дробит и измельчает породу. При этом в воздухе шахт и рудников всегда повышен фон радона. При внесении калийных и фосфорных удобрений на сельскохозяйственные угодья тоже перераспределяется радиоактивность.

Особо ошутимо влияние человеческой деятельности на радиационный фон при выработке электроэнергии. На тепловых электростанциях сжигают уголь, мазут, торф, которые содержат природные радиоизотопы. Однако никакое пламя не способно разрушить ядра. Радиоактивность остается в золе, разносится с пылью. Золу используют в строительстве для изготовления бетона, который широко применяется для возведения жилых домов. Следовательно, горожане получают большую дозу облучения, чем сельские жители. В деревянных домах радиационный фон доходит только до 0,5 мЗв в год, в то время как в кирпичных и железобетонных соответственно 1 и 1,7 мЗв/год. Стены здания с одной стороны, экранируют человека от внешних излучений, с другой — сами служат источником радиации.

Среди промежуточных радиоизотопов рядов урана и тория есть радон. Он накапливается в закрытом помещении, проникая через щели в полу, трещины и поры стен. Но если их тщательно заделать, а пол покрыть плотным материалом, фон станет меньше. Однако самый простой и эффективный способ уменьшить концентрацию радона в квартире — чаще ее проветривать.

АНТРОПОГЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН

Наибольшее перераспределение радиоактивных веществ на Земле произошло за последнее столетие, когда резко выросла добыча ископаемых. В настоящее время ионизирующие излучения применяются в медицине, промышленности, энергетике. Повышению фона способствуют испытания атомного и термоядерного оружия, строительство атомных объектов и накопление радиоактивных отходов, а также радиационные аварии. В отличие от естественного такой фон называется антропогенным, т. е. обусловленным человеческой деятельностью. Рассмотрим лишь важнейшие составляющие избыточной дозы антропогенного происхождения.

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ

В медицине ионизирующая радиация используется в диагностике и лечении, в частности рентге-нодиагностический метод. В настоящее время рентгенологическим обследованием охвачено почти все население Земного шара. Это дополнительный источник облучения. Еще совсем недавно среднее значение индивидуальной дозы за счет этого источника в Беларуси составляло 1,95 мЗв/год. Для сравнения в США эта величина равнялась 0,2, в Великобритании 0,12 мЗв/год*. Лишь в последние годы данный показатель у нас снизился до 1,4 — 1,5 мЗв/год. Кардинальный выход состоит в усовершенствовании аппаратуры и замене метода диагностики более прогрессивным, а до того, понимая неизбежность обследования, следует разумно относиться к данной процедуре, не пользуясь ею слишком часто.

В распознавании болезней широко применяются многочисленные методы, использующие радиоактивные вещества. По времени их накопления и выведения, равномерности распределения в ткани врачи могут многое узнать о состоянии отдельных органов. Но дозы, которые получают исследуемые органы, бывают значительными.

Рентгеновские лучи очень похожи на гамма-кванты, но обычно их энергия немного меньше, и проикают они в ткань не так глубоко. Сами гамма-кванты тоже применяются в медицине, например, для лечения опухолей внутренних органов. Такие облучательные аппараты называют гамма-пушками. В гамма-пушке есть большой радиоактивный заряд — гамма-излучающий изотоп с периодом полураспада несколько лет.

* Э. Дж. Холл. Радиация и жизнь. М., 1989.

В отличие от рентгеновского аппарата гамма-пушку «включить» нельзя. Она «светит» все время, пока радиоактивный источник полностью не распадется. Для того чтобы не пострадали врачи, источник находится в толстой защитной оболочке из тяжелого, хорошо поглощающего излучение металла. В оболочке есть отверстие, которое автоматически открывается, когда необходимо облучить пациента.

Для лучевого лечения применяются также ускорители частиц, с помощью которых получают излучения с энергией больше 10 МэВ с исключительно высокой проникающей способностью.

АТОМНЫЕ И ТЕРМОЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ

В 1939 г., накануне второй мировой войны, немецкие химики Отто Хан и Фриц Штрассман установили, что при облучении нейтронами сверхтяжелые ядра разваливаются на осколки (рис. 12) (ранее считалось, что ядра атомов не разрушаются). При этом вылетают еще два-три нейтрона, способных расколоть другие урановые ядра с выделением огромной энергии. Это открытие навело ученых на мысль, что энергию деления ядер можно использовать для создания сверхмощного оружия. Все работы по расщеплению урана были немедленно засекречены. За короткий срок в безлюдной пустыне США выросли заводы и исследовательские лаборатории.

Фантастический проект, в котором приняли участие не только американские, но и выдающиеся европейские ученые, эмигрировавшие из полыхавшего иной Старого света, завершился успешным испытанием в июле 1945 г. 6 и 9 августа 1945 г. с бомбардировщиков ВВС США на Хиросиму и Нагасаки все еще воюющей Японии были сброшены атомные бомбы. В результате взрыва в Хиросиме за одну секунду был уничтожен почти весь город. Небольшие японские домики разрушились, взлетели воздух или испарились. От страшной температур! вспыхнули пожары. Жар, который шел от эпицентр! вызвал ураганный ветер, разнесший пламя пожара на окраины. Почти 100 тысяч жителей погибли сразу, еще 130 тысяч были тяжело ранены. Многие из оставшихся в живых продолжали умирать от радиоактивного облучения. Еще и сейчас, через несколько десятилетий, жертвы атомной бомбардировки — «хибакуся» умирают от

последствий
атомной
трагедии.

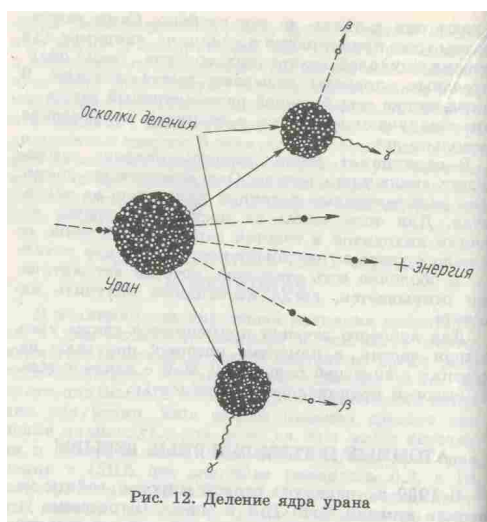


Рис. 12. Деление ядра урана

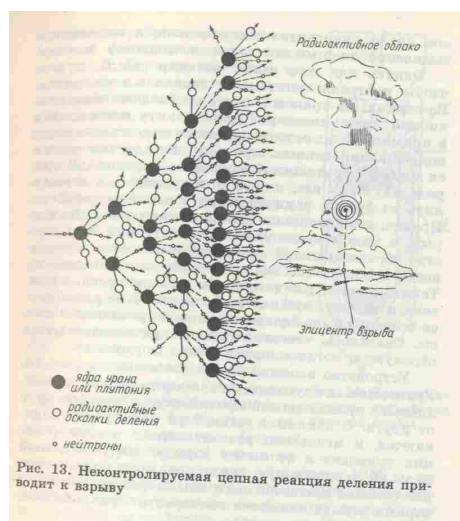


Рис. 13. Неконтролируемая цепная реакция деления приводит к взрыву

Собственные атомные бомбы вслед за американцами создали Англия и Франция. В Советском Союзе это оружие разрабатывалось под руководством И. В. Курчатова. Набросок возможного устройства атомной бомбы еще в самом начале войны сделал на острове открытия Гана и Штрассмана известный учёный Г.Н. флёрв.

Атомные военные заводы начали строиться на Южном Урале в Челябинской области в 1947 г., а уже 29 августа 1949 г. в Казахстане недалеко от Семипалатинска состоялся испытательный ядерный взрыв советского устройства.

Как же устроена атомная бомба? При делении ядра урана (рис. 12) вылетает несколько нейтронов. Если они попадут в соседние ядра, те разд-ЯТСя, в свок> очередь и возникнет уже большее чис-0 нейтронов. Таким образом, в куске урана разви-ается Цепная реакция деления, захватывающая все новые и новые ядра (рис. 13). Возникает огромное число радиоактивных осколков, а мгновенное выделение энергии приводит к мощному взрыву.

Однако для того чтобы реакция пошла, нужно чтобы нейтроны деления не терялись напрасно. Во-первых, из урановой руды необходимо выделить чистый уран, иначе нейтроны будут поглощаться в примесях и их может оказаться недостаточно для поддержания цепного процесса. Еще лучше делится другой сверхтяжелый элемент — плутоний. В природе плутония нет, но его можно получить и выделить из других радиоизотопов в атомном реакторе. Правда, это сложная и небезопасная работа. Во-вторых, в малом куске урана или плутония большинство образовавшихся нейтронов вылетает в окружающее пространство, не успев провзаимодействовать. Таким образом, для того чтобы реакция деления привела к взрыву, нужно, чтобы количество делящегося вещества было больше некоторой критической массы. Оказалось, что самая малая критическая масса образуется, когда вещество имеет форму шара.



Устройство атомной бомбы показано на рис. 14.

Урановые или плутониевые полусферы общей массой, намного превышающей критическую, отделены друг от друга. С помощью детонатора полусферы соединяются, и мгновенно развивающаяся цепная реакция приводит к атомному взрыву разрушительной силы. В окружающую среду попадают радиоактивные осколки деления и нейтроны. Поражающими факторами взрыва являются температура, ударная волна, радиация.

Мощность атомного взрыва эквивалентна взрыву 20 тысяч тонн обычного бомбового заряда — тротила. Увеличить ее нельзя, потому что делящееся вещество взрывается как только образовалась критическая масса. Лишний плутоний просто разбрасывается взрывом без

увеличения мощности.

Итак, разрушением сверхтяжелых ядер удалось создать атомное оружие. Но физикам давно было известно, что при синтезе очень легких ядер в одно более тяжелое выделяется значительно больше энергии, чем при делении. Если удалось деление, то нельзя ли осуществить обратное — создать новые ядра? Над этим фантастическим проектом трудились и американские, и советские ученые, в Советском

Союзе в разработке принципа сверхмощной бомбы участвовал академик А. Д. Сахаров, над этим трудились целые коллективы других выдающихся ученых. Трудность состояла в том, что синтез ядер происходит лишь при температурах в миллионы градусов при очень высоком давлении. Как создать такую адскую температуру?

Термоядерную (термо—тепло) реакцию осуществили, наполняя атомную бомбу веществом, содержащим изотопы водорода. При атомном взрыве создается необходимая сверхвысокая температура, при которой возможен синтез. Таким образом, вслед за атомным сразу происходит термоядерный взрыв. Его мощность зависит только от массы синтезированных ядер, а масса тем больше, чем больше ее уда- Рис. 14. Принципиально заключить в бомбовый корпус.

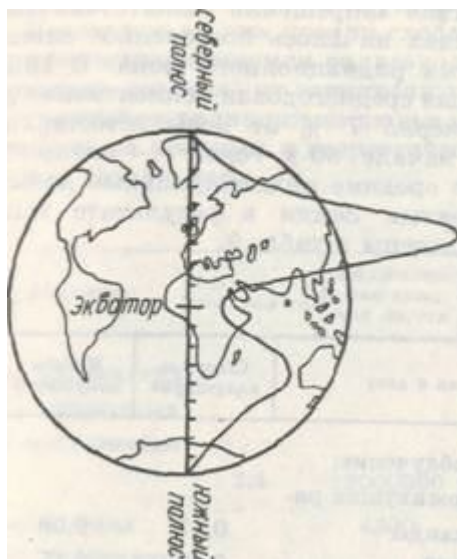
Термоядерная бомба так и называется — водородная. Первый в мире испытательный взрыв водородной бомбы произведен 12 августа 1953 г. на семипалатинском военном полигоне. Американцы сумели изготовить такую же бомбу лишь через 3 года и взорвали ее в Тихом океане, на Маршалловых островах.

В начавшейся гонке вооружений СССР и США, а позже и другие ядерные державы произвели более 400 испытательных взрывов на земле, в воде и в атмосфере (не считая подземных) общей мощностью около 550 мегатонн (в тротиловом эквиваленте). Испытания ядерного оружия продолжались с 1945 по 1980 г. с двумя короткими перерывами. Межправительственное соглашение (моратории) 1958 г., связанное с

окончанием холодной войны между двумя сверхдержавами, оказалось непродолжительным. Последовал Карибский кризис. В качестве «силового приема» средства нажима на американскую сторону СССР произвел в стратосфере над Новой Землей испытание совершенно нового термоядерного устройства беспрецедентной мощности — 60 мегатонн. Нарушение моратория спровоцировало серию взрывов сверхмощных бомб в обеих странах. В результате радиоактивными веществами была загрязнена вся планета: повышенный радиационный фон отмечался даже в Антарктиде, а естественный фон изменился повсеместно.

В 1963 г. в Москве был, наконец, подписан Международный договор о запрещении ядерного оружия в трех средах, к которому присоединилось большинство государств. Однако Китай в Тибете и Франция на тихоокеанском атолле Муруроа продолжали совершенствование своих водородных бомб вплоть до 1980 г. В настоящее время осуществляются лишь подземные испытательные взрывы, не приводящие к широкомасштабному распространению радиоактивных веществ. Изменившаяся в мире политическая обстановка, вероятно, приведет в скором времени к запрещению и этих испытаний.

РАДИОАКТИВНОСТЬ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ФОНОВЫЕ ДОЗЫ



Закономерности глобального загрязнения планеты при испытаниях атомных и водородных бомб примерно известны и сводятся к следующему. Радиоактивные вещества, если они заброшены в верхние слои атмосферы, многократно огибают Землю, постепенно концентрируясь между 30- и 50-ыми градусами широты в северном и южном полушариях, независимо от географических координат взрыва (рис. 15). Чем выше заброшены радиоактивные продукты, тем дольше они находятся в атмосфере, иногда год или два. Постепенно опускаясь, они оседают на аэрозолях, пылинках, дымовых частицах, присоединяются к облачным каплям и выпадают ют на земную поверхность в основном с весенне-летними дождями. Взрывы, произведенные невысоко, загрязняют окружающие пространства,

хотя часть радиоактивности тоже распространяется глобально.

Из множества разнообразных радионуклидов, образующихся при ядерном взрыве, наибольшее значение для формирования доз облучения людей имеют осколки деления: йод-131, цирконий-95, рутений-106, церий-144, стронций-90, цезий-137 и др. (короткоживущие радиоизотопы опасны в непосредственной близости от эпицентра). Кроме того, громадные нейтронные потоки, взаимодействуя с атомами воздуха, образуют тритий и углерод-14 подобно тому, как это происходит при облучении атмосферы. В результате атмосферных термоядерных испытаний количество этих изотопов в сотни раз превысило их естественное содержание.

Облучение людей продуктами ядерных взрывов происходит извне и с поступающими в организм с пищевым цепям радиоактивными веществами, испытания на Новой Земле чрезвычайно загрязнили приполярные тундры. Оленеводы Крайнего Севера получили дозы облучения в 100—1000 раз более высокие, чем остальное население, так как основной продукт питания — оленья ленина имела очень высокую концентрацию радиоактивности из-за накопления ягелем цезия и стронция.

Внешнее облучение:

короткоживущие ра-

дионуклиды	0,47	0,08	0,31
цезий-137	0,60	0,17	0,37

Внутреннее облучение:

красный костный

мозг	2,7	0,98	1,9
гонады	1,5	0,42	0,99

Вследствие запрещения испытательных взрывов в трех средах началось постепенное снижение вызванного ими радиационного фона. В 1963 г. соответствующая среднегодовая коллективная доза составила примерно 7 % от дозы естественного облучения, в начале 80-х годов — около 1 %. Рассчитанные средние индивидуальные дозы, полученные жителями Земли в результате испытаний в мЗв*, приведены в табл. 9.

Ожидаемая коллективная доза от всех произведенных ядерных взрывов составляет 30 млн чел · Зв. К 1980 г. человечество уже получило 12 % этой дозы. Приведенные выше индивидуальные ожидаемые дозы тоже будут накапливаться в течение длительного времени (большая часть до 2020 г.), так что их нельзя сравнивать с годовыми источниками от других источников радиации. Тем не менее это су-; щественный избыток над естественным облучением. Отметим, что образовавшийся при термоядерных испытаниях радиоуглерод, смешавшись со стабильным углеродом биосферы, вследствие большого периода полураспада (5730 лет) будет служить дополнительным источником облучения для многих поколений людей.

* В. П. Антонов. Уроки Чернобыля: радиация, жизнь, здоровье. Киев, 1989.

Таблица 10

Источники облучения	Индивидуал. доза, мЗв/год	Коллектив-ная доза, чел·Зв/год	Ожидаемая коллективная доза, чел·Зв
Естественная радиоактив-ность (фон природных изотопов и космическое излучение)	2,4	12000000	
Полеты на самолетах		4300	
Медицинские процедуры (диагностика и радиоте-рапия)	0,4	2000000 — —5000000	
Ядерный топливный цикл (добыча урана, про-изводство и транспорти-ровка топлива, эксплуата-ция АЭС)	0,025	10730	3400 на каждый ГВт/год
Твердые радиоактивные отходы ядерной энерге-тики			6500000
Индивидуальные источ-ники (добыча и сжигание органического топлива, добыча металлов, строи-тельные материалы, ис-пользование фосфатных удобрений)	0,1	485000	
Испытания атомного и термоядерного оружия (1963 г.)	0,16	700000	30000000 (4—8 млн без учета радиоугле-рода)

47

радиационные аварии мы рассмотрим в отдельной главе. Некоторые из них носили глобальный ха-пактер и существенно изменили радиоэкологию планеты. Сравнительные дозы от естественных и антропогенных источников радиации, включая и наиболее крупные аварии на военных и энергетических атомных объектах, даны в табл. 10.

О к о н ч а н и е

Источник облучения	Индивидуал. доза, мЗв/год	Коллектив-ная доза, чел·Зв/год	Ожидаемая коллективная доза, чел·Зв
Авария 1957 г. в Уиндс-кейле (Великобритания)			1300
Авария 1979 г. в Три-майл-Айленде (США)			35—50
Авария 1986 г. на ЧАЭС	0,14 (пер-вый год) по Бела-руси в пер-вый год— 2,2*	400000* (первый год)	1200000* (за 70 лет)

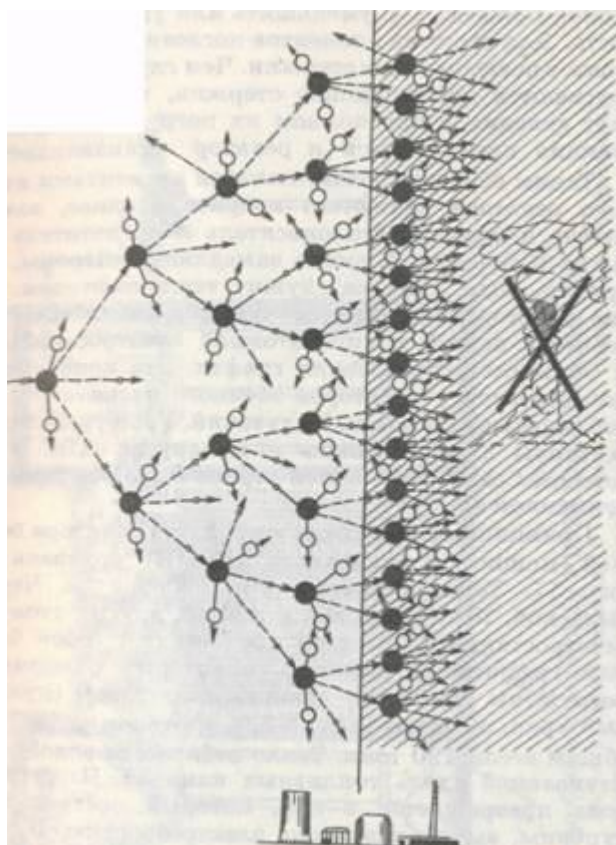
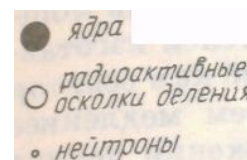
* Нижние оценки без учета доз, полученных переселенцами и участниками ликвидации последствий.

РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ

КАК РАБОТАЕТ АТОМНЫЙ РЕАКТОР?

В атомном реакторе осуществляется цепная реакция деления ядер урана, но в отличие от бомбы, где она приводит к взрыву, в реакторе цепной процесс регулируется и может поддерживаться на определенном заданном уровне (рис. 16).

Природный уран в основном состоит из 2 изотопов: урана-238 и урана-235. Уран-238 делится только на быстрых нейтронах и поскольку четыре пятых нейтронов тратится понапрасну, цепная реакция на этом изотопе идет очень вяло*. В большинстве действующих реакторов используют урановое топливо, обогащенное изотопом 235. Правда, он делится на



* Уже разработаны и эксплуатируются атомные реакторы-бриддеры, в которых уран-238 применяется как основное топливо с цепной реакцией на быстрых нейтронах. В бриддере накапливается плутоний, тоже делящийся материал, так что в данном случае в процессе «выгорания» одновременно производится новое топливо.

нейтронах очень малой энергии, так что нейтроны, освобождающиеся вместе с осколками, необходимо предварительно замедлить, поместив на их пути такое вещество, в котором лишняя энергия теряется.

Важнейшее условие цепной реакции — размножение нейтронов. Регулируя их число с помощью поглощающих нейтроны веществ — бора, кадмия бРанно ДИЯ' можно поддерживать реакцию на выбранном уровне мощности, замедлить

или ускорить цепной процесс, т. е. уменьшить или увеличить мощность. Для этого из элементов-поглотителей изготавливают поглощающие стержни. Чем глубже в реактор опускаются поглощающие стержни, тем медленнее идет деление, а при полном их погружении цепная реакция прекращается и реактор останавливается.

Таким образом, обязательными элементами атомного реактора являются: ядерное топливо, замедлитель нейтронов, теплоноситель и поглотитель избытка нейтронов. Хорошо замедляет нейтроны, на-] пример, вода. Она же служит теплоносителем. Такие реакторы называются водо-водяными (ВВР). В реакторе первой в мире атомной электростанции в г. Обнинске использовали графит. Эта конструкция заимствована у

реакторов военного назначения, нарабатывавших бомбовый плутоний. Уран-графитовые реакторы использовались и на других АЭС в Советском Союзе. Ни в одной стране мира эта схема не применяется.

Принципиальная схема устройства реактора большой мощности канального (РБМК) показана на рис. 17. Такие реакторы установлены на Чернобыльской, Ленинградской и многих других атомных электростанциях. Реактор представляет собой большой графитовый цилиндр, в который равномерно погружены стержни с урановым топливом (природный уран, обогащенный до 2 % изотопом урана-235) общим весом 190 тонн. Тепло отбирается водой, прокачиваемой вдоль топливных каналов. Нагреваясь, вода превращается в пар, который поступает на турбины, вырабатывающие электроэнергию. В некоторых каналах, свободных от урана, помещены регулирующие и поглощающие стержни.

При делении каждого ядра урана-235 выделяется около 200 МэВ энергии. Это в миллионы раз больше, чем при сгорании (окислении) атома углерода!

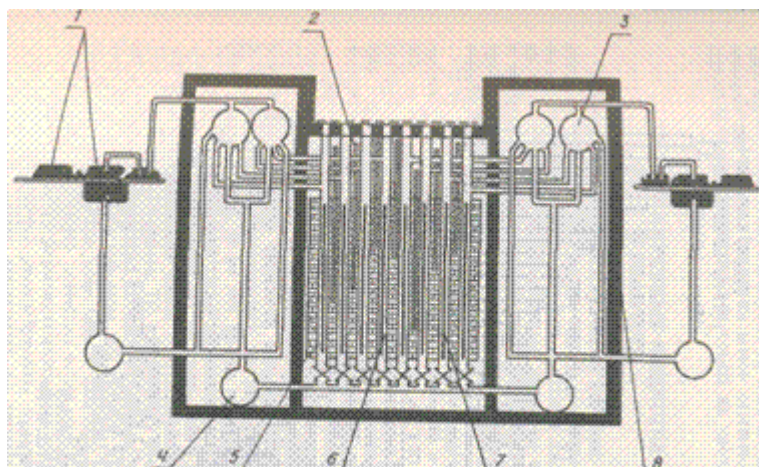


Рис. 17. Устройство энергоблока с реактором РБМК Чернобыльской АЭС: 1 — турбогенератор; 2 — регулирующие стержни; 3 — пар; 4 — вода; 5 — графитовый замедлитель; 6 — активная зона; 7 — урановые топливные элементы; 8 — защитная оболочка из бетона.

Природные ресурсы органического топлива ограничены, а многие страны целиком ввозят его из-за рубежа. Стремление к энергетической независимости стимулировало строительство АЭС. Доля ядерной энергии росла все последние годы, а во Франции, Бельгии и некоторых других странах атомные электростанции даже вытеснили тепловые энергетические

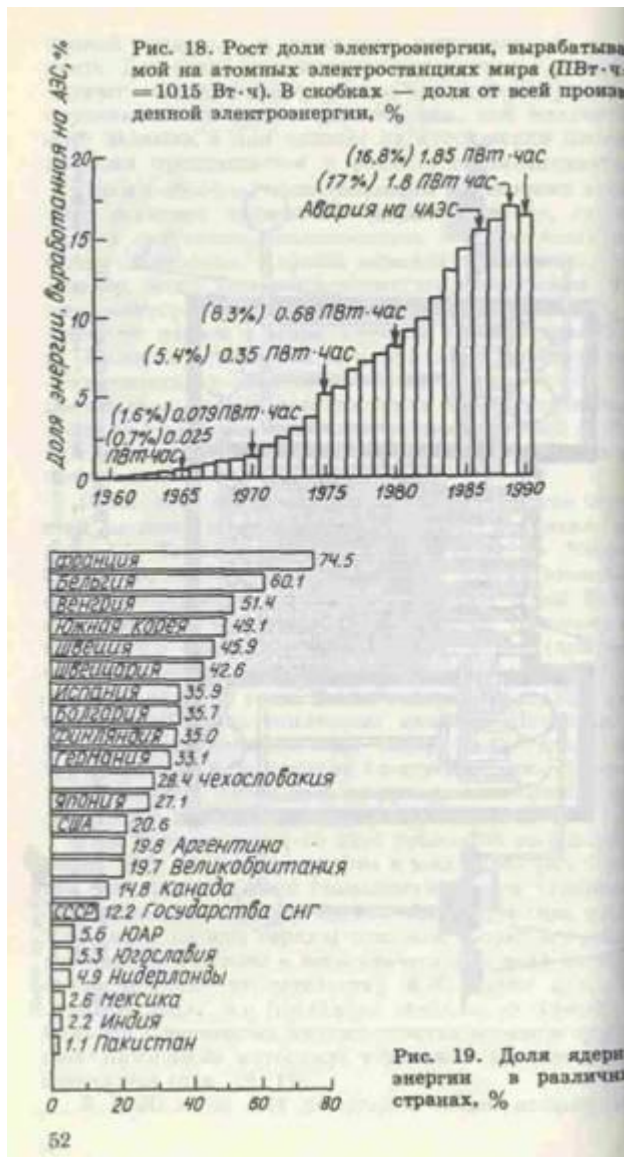
источники (рис. 18, 19).

В 1990 г. на 434 реакторах общей мощностью

335 Гвт выработано 1,9 ПВт-ч электроэнергии, что оставляет около 17 % всей энергии, произведенной в мире. В нашей стране 45 атомных реакторов производят 0,2 ПВт-ч — 12 %. Но после аварии на ЧАЭС некоторые страны пересмотрели свои атомноэнергетические программы, сократив новое строительство, и рассматривали закрытие некоторой их части.

РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА В РЕАКТОРЕ

При нормальной эксплуатации атомные электростанции экологически даже «чище» угольных. Обычно радиационный фон немного повышен лишь вблизи станции. Все радиоактивные вещества остаются в активной зоне, и лишь при разрушении герметизирующих оболочек они распространяются в окружающую среду.



Как видно на рис. 20, из осколков ядерного деления больше всего образуется изотопов с номерами от 80 до 105 (первый пик) и от 130 до 150 (второй пик). Среди них — большинство с коротким периодом полураспада, но есть и относительно долгоживущие — стронций-90, цезий-137 и др.

При взрыве ядерного устройства распределение осколков деления соответствует приведенному на рисунке. Другое дело — в атомном реакторе. В замкнутом пространстве активной зоны непрерывно образующиеся короткоживущие изотопы одновременно и распадаются. В то же время изотопы с большим периодом полураспада накапливаются. И чем дольше «выгорает» ядерное топливо, тем в большей степени радиоактивная смесь обогащается долгоживущими радиоизотопами. По изотопному составу радиоактивных выпадений можно установить их источник. Именно таким образом об аварии на Чернобыльской АЭС стало известно в Швеции, которую Радиоактивное облако достигло через сутки.

Среди множества радиоактивных осколков в актив-

ной и зоне образуются разнообразные изотопы йода, поскольку их массы совпадают со вторым пиком Распределения осколков деления. Йод — очень опасный и весьма активный химический элемент. Если происходит его утечка, он включается во все био-

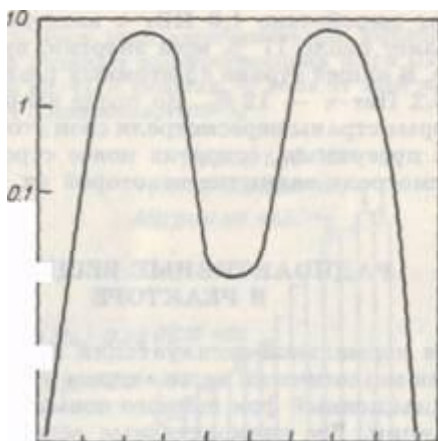


Рис. 20. Распределение осколков деления, образующихся! в реакторе на тепловых нейтронах

сферные процессы. Особую опасность представляет утечка в окружающую среду йода-131 с периодом полураспада 8,05 дня. В начальный период аварии! именно этот радионуклид определяет радиобиологи-]ческую обстановку на пораженной территории.

Другой изотоп йода распадается с образованием! радиоактивного ксенона:

Йод-135 ----- ксенон-135----- цезий-135

Так в реакторе происходит накопление радиоактивных благородных газов, которые при аварии перемещаются и попадают в окружающую среду (ксенон, криптон).

Ксенон-135, как и бор, сильно поглощает нейтроны. Активную зону рассчитывают таким образом чтобы поглощение ксеноном компенсировалось избытком нейтронов в цепном процессе. Но если реактор остановлен, из-за распада йода-135 ксенон продолжает накапливаться. В конце концов его образуется так много, что снова запустить реактор затруднительно: нужно либо дождаться, пока основная масса ксенона-135 распадется (2—3 дня), либо выйти в опасный надкритический режим с большим избытком нейтронов. Одна из ошибок обслуживающего персонала ЧАЭС — попытка вернуть реактор в рабочий режим сразу после резкого снижения мощности, что и привело к взрыву.

Атомный реактор — это также источник нейтронов. При облучении нейтронами атомных ядер возникают различные ядерные реакции. Деление — лишь одна из них. В других случаях избыточный нейтрон вызывает активацию: образование радионуклида. Так после захвата нейтрона из цезия-133 образуется цезий-134. Облучение нейтронами ядер урана-238 (в ядерном топливе они составляют основную массу) образуется уран-239. Новые ядра урана-239 испускают электрон с периодом полураспада 23 минуты, образуя нептуний. Нептуний-239 в свою очередь с периодом полураспада 2 дня превращается в долгоживущий (около 24 тыс. лет) плутоний-239:

23 мин уран-238+нейтрон-----> уран-239----->

2 дня 24000 лет

----->нептуний-239----->плутоний-239----->...

На плутонии цепная реакция деления идет еще эффективнее, чем на уране. Это отличное ядерное топливо и основное сырье для производства атомного и термоядерного оружия. Чем дольше «выгорает» в реакторе ядерное топливо, тем больше образуется плутония. Заметим, что в нейтронном потоке образуются и другие сверхтяжелые элементы конца Периодической системы элементов, в частности америций-241, правда в небольшом количестве.

В активной зоне есть множество металлических конструктивных материалов, циркулируют жидкости и непрерывно образуются газы. Под действием

лучения все они в большей или меньшей степени активируются.

Атомная электростанция, как и любая другая, требует много воды. Вода, циркулирующая через активную зону, становится радиоактивной. Хотя для

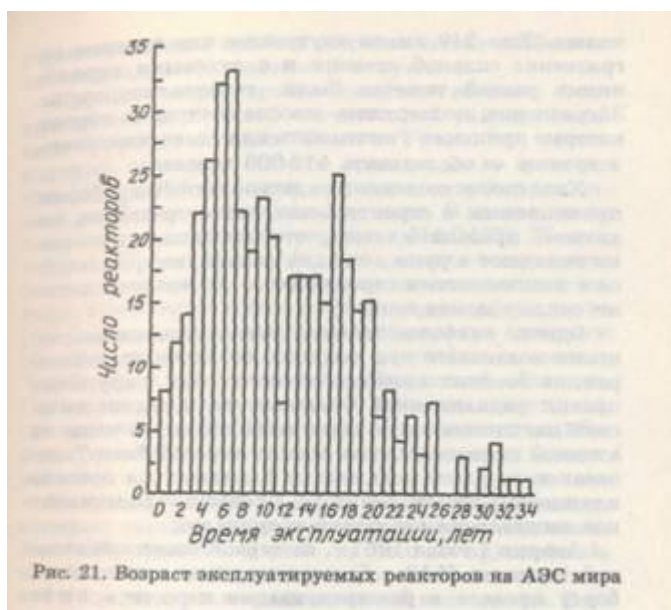
котора применяются особо устойчивые прочные и коррозионноустойчивые материалы, способные выдержать высокие температуры и давления, агрессивная среда понемногу выводит их из строя. Сильно радиоактивные продукты износа тоже попадают в воду. В первых атомных реакторах (военных) отработанная вода просто сливалась в ближайший водоем. На современных АЭС используется двухконтурная система охлаждения, при которой вода, отбирающая тепло активной зоны, циркулирует по замкнутому кругу (первый контур), нагревая резервуары, где образуется рабочий пар из воды, свободно обменивающийся с окружающей средой (второй контур).

В многочисленных паропроводах через разрывы и трещины изливаются радиоактивные жидкости. Еще более вероятен выход радиоактивных газов в атмосферу.

Наконец, отметим еще одну особенность АЭС. В обычной электростанции вышедшие из строя конструкции заменяются во время текущего или капитального ремонта. На АЭС

любая поломка превращается в проблему, так как каждый извлеченный из активной зоны элемент сильно радиоактивен. Возле каждой такой станции обычно сооружается хранилище радиоактивных отходов — «могильник», куда, помещают отработанные топливные элементы и другие активные материалы.

Но самая большая проблема АЭС — «старение» материалов, из которых конструируют активную зону. Материалы со временем разрушаются и через 30—50 лет работы реактор необходимо «хоронить». Пока «захоронение» было произведено лишь в одном случае — на Чернобыльской АЭС. Но уже сегодня Щ критическому «возрастному» рубежу вплотную подошли еще 9 действующих энергетических реакторов. В 2000 г. реакторов со сроком службы больше 30 лет станет 44, в 2005 — 126 (рис. 21). Выведение из строя отработавших атомных энергетических объектов — операция не только дорогостоящая, но и опасная. В настоящее время этой проблемой занимаются ученые многих стран.



КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

Ежегодно в мире происходят десятки аварий, связанных с утерей радиоактивных веществ. Это аварии, связанные с перевозкой радиоактивных веществ, беспечностью, незнанием опасности ионизирующих излучений и правил защиты.

Так, в 1987 г. в Гоянии (Бразилия) частная радиотерапевтическая клиника, переехав на новое место, авила в старом помещении без присмотра цезие-137 пУшку. Двое посторонних, не зная, что собой представляет установка, и полагая, что ее можно использовать как металлолом, извлекли капсулу с цезием зарядом активностью $5,1 \cdot 10^4$ Бк. Их внимание привлекло голубое свечение источника в темноте. Посмотреть на него приходили друзья и знакомые, а некоторые даже брали часть радиоактивного вещества *На память*. В результате четверо жителей получили дозы от 4,6 до 6 Зв и скончались. Еще 249 имели внутреннее или внешнее загрязнение сильной степени и с лучевыми поражениями разной тяжести были госпитализированы. Загрязнению подверглись многие постройки города, которые пришлось уничтожить или дезактивировать, а врачам — обследовать 112 000 человек.

Халатное отношение к радиоизотопным приборам, применяемым в строительстве, геологоразведке, медицине, привели к тому, что изотопные источники попадают в руки детей, на свалки, вмуровываются с компонентами строительных материалов в стены жилых помещений.

Однако наиболее опасные радиоактивные загрязнения возникают при авариях на атомных реакторах, на военных атомных объектах. Так, нарушение правил радиационной безопасности и технологической дисциплины при перегрузке активной зоны на атомной подводной лодке военно-морской базы Тихоокеанского флота недалеко от Владивостока привело к тепловому взрыву реактора. Произошло радиоактивное загрязнение акватории и причалов.

Авария 4 июля 1961 г. на первой советской атомной подлодке К-19 с баллистическими ракетами на борту привела к разгерметизации первого контура реактора и переоблучению экипажа. Десять подводников от лучевой болезни скончались.

Первый случай гибели атомной подлодки зарегистрирован в апреле 1970 г. Вследствие пожара лодка К-8 Северного флота затонула у Бермудских островов в Атлантике. В октябре 1986 г. в 500 км от Бермудских островов затонула атомная подлодка К-219 того же флота вместе с баллистическими ракетами. 7 апреля 1989 г. в Норвежском море погибла еще одна советская атомная лодка «Комсомолец». Известны также 2 случая гибели атомных подводных лодок ВМФ США.

Считать эти трагические происшествия локальными, касающимися только экипажей нет оснований (мы не рассматриваем материальный ущерб). Затонувший атомный реактор содержит огромное количество радиоактивных веществ, и хотя в первое время после гибели судна радиационный фон не изменяется, агрессивная морская среда неизбежно приведет к распространению радиоактивных загрязнений. Для сохранения радиоэкологии северных морей рассматриваемые проекты подъема затонувшей атомной подлодки «Комсомолец» актуальны.

Крупные аварии происходили и на военных атомных объектах. О самой значительной радиационной катастрофе на заводах Южного Урала, где производилось советское атомное оружие, стало известно только в 1988 г., хотя сведения о ней просочились на Запад значительно раньше. В соответствии с докладом советской стороны в МАГАТЭ 27 сентября 1957 г. из-за неполадок в системе охлаждения бетонных емкостей, содержащих высокоактивные отходы, химический взрыв выбросил в атмосферу около Ю17 Бк радиоактивных продуктов деления (главным образом стронций-90), которые рассеялись и осели в Челябинской, Свердловской и Тюменской областях. Сильно загрязнено свыше 16 тыс. км территории, где проживало 300 000 человек. Десять тысяч наиболее пострадавших за несколько лет эвакуированы.

Неизвестно, сколько заключенных и работников атомных заводов, участвовавших в ликвидации последствий, погибли в этой не только крупнейшей, но и первой за историю освоения человечеством цепной реакции деления радиационной катастрофы. Еще и сейчас вдоль «кыштымского следа» существуют оезжизненные пространства с концентрацией активности выше 10 МБк/м², а всего во временных хранилищах и озерах вокруг атомных заводов в Челябинской области сосредоточено почти 5-10 Бк долгоживущих радиоактивных веществ, скопившихся вследствие многочисленных более мелких аварий, утечек, выбросов. Дело в том, что первые военные реакторы в КОТЛЫХ нарабатывался оружейный плутоний были одноконтурными и охлаждавшая их вода сбрасывалась в природные водоемы, до Катастрофы на Южном Урале еще не изучена «о там?» и нельзя назвать ее последствия. Но имен-радиоэкологический получен печальный отечественный опыт

1) Голландия КОЛЛЕКТОР ЧЕЛОВЕКА и Радиобиологического против. Альберта Эйнштейна: Дезактивация, рекомендации по использованию загрязненных территорий, в РИИ технология переработки продуктов питания в ТОМ Числе разбавление «чистых» продуктов радиоактивными.

В октябре того же 1957 г. на другом военном заводе, производящем оружейный плутоний в Великобритании (Уиндскейл, ныне Селлафилд), из-за частичного

расплавления активной зоны реактора в окружающую среду было выброшено 7,5 · 10¹⁴ Бк йода-131, 2,2 · 10¹³ Бк цезия-137 и другие изотопы. Системы дозиметрии, радиометрического контроля образцов воздуха, почвы, воды и пищевых продуктов были задействованы немедленно. С территории около 500 кв. км власти эвакуировали население, запретив использовать воду и молочные продукты местного производства. Поскольку йод-131 довольно быстро распался, эвакуированные, получив компенсацию за ущерб, смогли вернуться в жилища спустя полтора месяца. Коллективная доза от этой аварии оценена в 1300 чел·Зв. В настоящее время в Селла-1 филде, на месте закрытого военного завода, где произошла эта памятная авария, действует всемирноизвестный экскурсионный центр, позволяющий познакомиться с проблемами ядерной энергетики, правилами радиационной безопасности, устройством реактора и использованием ионизирующих излучений.

Авария в Уиндскеиле послужила серьезным уроком. К ликвидации ее последствий подключились тысячи специалистов. Там впервые опробовались и применялись вновь разработанные защитные мероприятия, вошедшие во все учебники по радиационной безопасности.

В 1979 г. произошла авария на АЭС в Три-майл-Айленде (Пенсильвания, США), где частично расплавилась активная зона. Однако надежные защитные оболочки реактора позволили локализовать радиоактивность. В атмосферу произошла утечка ксенона-133. Дозовый ущерб составил всего 16—35 чел·Зв в 50-мильной зоне и примерно столько же за ее пределами. Население вокруг АЭС не пострадало. Тем не менее эта авария заставила пересмотреть принципы надежности и безопасности атомных реакторов. Из-за мощного «зеленого» движения в США электроэнергетическим компаниям пришлось пойти на значительные затраты за счет совершенствования систем контроля и защиты.

Авария, произошедшая в 1986 г. на Чернобыльской АЭС, по своим масштабам беспрецедентна, а по радиоэкологическим последствиям сравнима лишь с южноуральской. Учитывая участвовавшие инциденты на атомных объектах, МАГАТЭ предложило оценивать тяжесть радиационных аварий на энергетических реакторах по 7-балльной шкале (рис. 22, табл. 11).



Продолжение

Балл	Обозначение	Критерии, описание	Примеры
6	Серьезная авария	Выброс продуктов деления, эквивалентный 10^{15} — 10^{16} Бк йода-131. Требуются широкомасштабные мероприятия для предотвращения серьезных последствий для здоровья.	
5	Авария, опасная для прилегающей территории	Выброс продуктов деления, радиологически эквивалентный 10^{14} — 10^{15} Бк йода-131. Требуются местные защитные мероприятия (укрытия и/или эвакуация из пораженной местности). Серьезное повреждение активной зоны реактора (разрушение и/или частичное расплавление).	Уиндсейл, Великобритания, 1957 Тримайленд, США, 1979
4	Авария на объекте	Радияция в прилегающей местности создает индивидуальную дозу в несколько мЗв. Локально требуются защитные меры, контроль (выборочный) местных продуктов питания. Повреждение активной зоны (механическое и/или частичное расплавление). Дозы у работников АЭС могут привести к острой	Сент-Лорен Франция, 1980

62

Продолжение

Балл	Обозначение	Критерии, описание	Примеры
3	Серьезное происшествие	Выброс радиоактивности в окружающую среду превышает допустимый уровень. Кратковременно дозы за пределами объекта достигают десятков мЗв. Защитные меры вне АЭС не требуются. Высокий уровень радиации и/или локальное загрязнение вследствие аварии повреждение вне оборудования или персонала (индивидуальные дозы превышают 50 мЗв). Происшествие, при котором выход из строя систем защиты может привести к аварии, или ситуации, при которой защитные системы неспособны предотвратить аварию.	лучевой болезни (порядка 1 Зв). Гибель атомной подлодки «Комсомолец», 1989 Ванделло, Испания, 1989
2	Происшествия	Техническое происшествие или аномалия, которая не вызвала серьезных последствий, но может потребовать защитных мероприятий в дальнейшем.	

63

Окончание

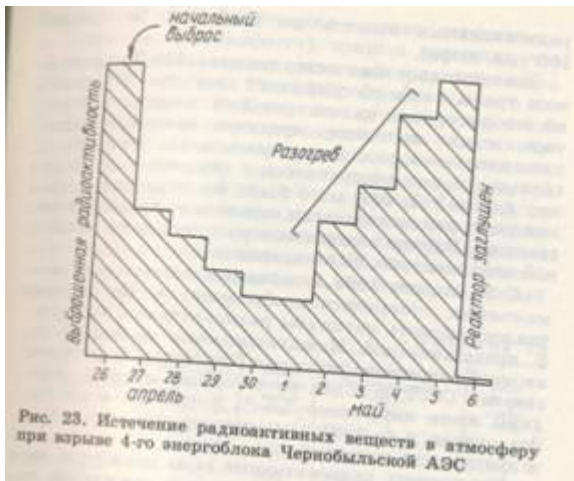
Балл	Обозначение	Критерии, описание	Примеры
7	1 Аномалия	Нарушения нормальной работы реактора, не требующие защитных мер (ошибки операторов, отказ автоматики).	

жающей среды.

61

ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ВЫБРОС

Из-за несовершенства конструкции реактора, ненадежности системы защиты и ошибочных действий персонала во время проведения эксперимента с одним из турбогенераторов при плановой остановке реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС в ночь на 26 апреля 1986 г. реактор оказался неуправляемым. В 1 ч 23 мин два последовательных взрыва разрушили паропроводы высокого давления, сместили тысячетонную стальную крышку, выбросили элементы активной зоны. Доступ воздуха к раскаленному графиту вызвал пожары. Поскольку в данной конструкции защитные оболочки (стальной и бетонный колпаки, обязательные на всех АЭС мира) отсутствуют, радиоактивные вещества распространились в окружающую среду. Взрывом из активной зоны выброшена часть топлива, в атмосферу вылетели радиоактивные газы, а также летучие радионуклиды йода, теллура, цезия. Частицы топлива в основном разбросаны в ближней зоне вокруг ЧАЭС где сосредоточена также основная масса «горячих» частиц относительно крупного размера — диаметре* в десятки микрон. Состав «горячих» частиц близок к радионуклидному составу облученного топлива в них обнаружены радиоизотопы плутония, бария, церия, циркония, ниобия, много рутения и, конечно уран. Активность таких частиц достигает десятков тысяч Бк. «Горячие» частицы чернобыльского происхождения размером 2—3 мкм обнаружены в большом количестве даже в Швеции.



Интенсивность выброса с 26 апреля по 2 мая

Зная исходное количество топлива (190,2 т природного урана, слабо обогатленного изотопом 235), время его выгорания (около трех лет), мощность реактора, можно вычислить среднюю величину накопившихся в нем радиоактивных веществ. Но какие и сколько их распространилось в окружающей среде при взрыве? Лучше всего было бы определить, какая часть радиоактивности осталась в захороненном реакторе. Однако измерения в расплавленной активной зоне,

конечно, были невозможны.

С 27 апреля 1986 г. началась самолетная гамма-съемка, отбирались пробы воздуха. Постепенно удалось оценить масштабы радиоактивного выброса. В представленной Международному агентству по атомной энергии информации Госкомитет по атомной энергии СССР исходил из того, что всего до середины июля выброшено 3,5 % активного вещества. Эта оценка в дальнейшем многократно уточнялась и признана заниженной.

Несомненно, радиоактивные газы полностью вытекли в атмосферу. Неопределенность суммарной величины выброшенного йода-131 очень велика: по специальной информации СССР и МАГАТЭ 270-1015 Ш или 20 % от его активности в топливе; по оценкам международных экспертов — 330-10⁶ Бк; по материалам Первой международной рабочей группы тяжелым авариям и их последствиям выброс йода-131 составил от 20 до 60 % содержания в радиактивной зоне. Из-за короткого периода полураспада этого радионуклида уточнение величины его выброса может быть сделано только после нового анализа экспериментальных измерений, выполненных июля 1986 г.

Особого внимания заслуживает определение подгруппы выброса цезия-137, определяющего радиологическую обстановку загрязненных территорий в настоящее время. По официальным данным, это 13 % от содержания в активной зоне. Эксперты международных данных, проанализировав цезиевые выбросы в Северном полушарии, оценили выброс

70-Ю1' Бк (27 %): из них 42 % на территоШ СССР, 37 % — в странах Западной Европы, 6 % 1 в океане. Экспедиция института атомной энергий! сделав измерения топлива, оставшегося КУрЧкРЫТи'и» («саркофаге»), пришла к выводу, что 3 *У о пределах в окружающей среде оказалось 3а_и26-1015 Бк, или 33+10 % первоначального ко-85+ цезия-137. Если исходить из осторожной и последующих уточнений, то из радиоактив-"примерно миллиард кюри, которая накопилась ояКТОпе к моменту взрыва, с радиоактивной струей ^делилось около 9,95-1018 Бк (250 млн кюри), не читая нескольких тонн ядерного топлива, загрязненного графита и радиоактивных конструкционных материалов вблизи площадки АЭС. Радиоизотопный состав чернобыльского выброса, включающий важней шие радионуклиды, дан в табл. 12.

Таблица 12

Радионуклид	Было всего радиомочности в реакторе, Бк	Выброшенная активность, %	Распространилось в окружающую среду		Период полураспада
			Бк · 10 ¹⁰	г	
Криптон-85	0,0333	100	33,3	0,26	10,72 ч
Ксенон-133	1,7	100	1700	246	5,25 дн.
Иод-131	1,3	50	650	142	8,05 дн.
Теллур-132	0,54	35	190	17	3,26 дн.
Цезий-134	0,153	25	38,2	797	2,06 г
Цезий-137	0,26	30	78	24207	30 л
Стронций-89	2,0	10	200	186	50,5 дн.
Стронций-90	0,228	10	22,8	4560	29,12 г
Цирконий-95	4,4	8	350	440	64 дн.
Молибден-99	4,8	5	240	9,3	2,75 дн.
Рутений-103	1,96	8	157	130	39,3 дн.
Рутений-106	0,86	8	70	564	368 дн.
Барий-140	2,9	15	435	160	12,7 дн.
Церий-141	4,4	6	265	173,5	32,5 дн.
Церий-144	3,92	8	313	2640	284 дн.
Плутоний-238	0,0009	8	0,072	112,5	87,74 г
Плутоний-239	0,0009	8	0,07	30800	24390 л
Плутоний-240	0,0015	8	0,12	14200	6537 л
Плутоний-241	0,1835	8	6,19	16205	14,4 г
Нептуний-239	58,07	8	4600	376,5	2,35 дн.
Кюрий-242	0,031	8	2,48	13,9	162,8 дн.

67

Помимо этого, в атмосферу выброшены тритий радиоуглерод и долгоживущий изотоп йода — йод! 129 (период полураспада соответственно 12,3, 573п лет и 15,7 млн лет), которые включились в биосфер ный обмен, попали в ткани растений и животных Правда, по расчетам в активной зоне накопилось нец. ного этих радионуклидов: радиоуглерода — 0,1 -Ю15 Бк, трития — 1,4-Ю15 Бк, йода — 8-Ю10 Бк. Есдн в момент разрушения реактора нейтронные потока существенно не увеличили количество трития и радаа активного углерода, ущерб живой природе от данных изотопов вряд ли окажется большим.

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В БЕЛАРУСИ ДО И ПОСЛЕ АВАРИИ

В Республике Беларусь до и после аварии н Чернобыльской АЭС уровень загрязнения территории нуклидами был таким: цезием-137 1,5—3,7 кБк/м², стронцием-90 0,74—1,5 кБк/м², плутонием-239, -240 не превышал 0,037—0,059 кБк/м². Причем количество цезия-137 колебалось от 1,2 до 25,5 Бк/кг, и стронция-90 — от 0,7 до 16,3 Бк/кг почвы. Количество стронция-90 было неодинаковым для различных регионов. Больше всего его содержалось в тор-фо-болотных почвах. Для цезия-137 такая закономер-| ность не характерна, так как в отличие от ст ция-90 он не образует органических соедине:

Экспозиционная доза до аварии на ЧАЭС на ритории республики обычно не превышала 10 мкР/ч. По данным геологов, ее величина в ра Мозыря равнялась 2 мкР/ч, в северных реги Беларуси, где расположены глинистые осаде породы, обогащенные ураном,— 12 мкР/ч.

Выброшенные в атмосферу при взрыве на Че] быльской АЭС радиоактивные вещества по со нуклидов соответствовали содержанию в топливе режденного реактора. Различия заключались в высоком содержании в воздухе летучих компо] тов (инертные газы, йод, теллур, цезий). В пер' дни в воздухе были определены более 33 нуклиД°] Наибольшее их

количество поступило с загрязнений потоком воздушных масс. Продолжавшиеся выбр^а радиоактивных веществ из реактора и меняют¹ направления движения воздушных масс привели к появлению в последующие дни повторных повышений концентрации нуклидов в воздухе. По имеющимся данным, наибольшее содержание в воздухе йода-131 зарегистрировано в Березинском заповеднике расположенном в 120 км северо-восточнее Минска — 400 Бк/кГ.

Выпадения нуклидов, продолжавшиеся в течение Я «сецев после катастрофы, вызвали масштабные загрязнения территории — цезием с уровнем 37 кБк/м и более свыше 131

Таблица 13

Страна	Площадь загрязнения цезием-137 при уровне загрязнения, кБк/м ²			
	37—185	185—555	555—1480	>1480
Россия	39280	5450	2130	310
Беларусь	29920	10170	4210	2150
Украина	34000	1990	820	640

Вся площадь загрязнения в России составила 47 170 км², на Украине — 37 450 и в Беларуси — 46 450 км².

Зоны повышенного загрязнения отмечены в районе Калининграда — 14,8 кБк/м² и Белого моря — 3,7 кБк/м². Радиоактивные массы мигрировали по направлению Тула—Пенза—Ульяновск—Свердловск.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Радиоактивное загрязнение распространилось по всему Земному шару. Около 20 коротко- и долго-

тыс. км², а радиоактивному воздействию подверглись более 4,8 млн человек.

Изолиния загрязнения территории проходит на юге - севернее Киева-Ровно, на западе - вое точнее Пинска, на севере и северо-западе - южнее Барановичей-Могилева- Рославля-Брянска-Чернигова, хотя пятна загрязнения наблюдаются и в других регионах (табл. 13).

Вся площадь загрязнения в России составила 47 170 км², на Украине — 37 450 и в Беларуси — 46 450 км².

Зоны повышенного загрязнения отмечены в районе Калининграда — 14,8 кБк/м² и Белого моря — кБк/м².

Радиоактивные массы мигрировали по Управлению Тула—Пенза—Ульяновск—Свердловск.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Радиоактивное загрязнение распространилось по земному шару. Около 20 коротко- и долгоживущих изотопов были обнаружены в нижних ело] ях атмосферы над Парижем. Эти же нуклиды опре. делились в воздухе и дождевых осадках, выпав, ших вечером 3 мая 1986 г. в Японии. Максималь. ные количества их, в особенности йода-121, руте. ния-103, цезия-137, -134, отмечали 5 мая 1986 г Концентрация йода-131 в воздухе при этом достигала 0,8 Бк/м³. Второй пик роста радиоактивности при. ходится на конец мая и объясняется циркуляцией воздушных масс вокруг Земного шара. Многие лету. чие продукты деления были обнаружены также индийскими станциями контроля окружающей среды. Они выпали позже в Арктике и Гренландии.

Таблица 14

Регион	% от активности по территории Земного шара	
	Иод-131	цезий-137
Беларусь	19	11
Северная часть Украины	20	6
Центральная часть России	12	7
Остальная часть европейской территории	14	18
Азиатская часть страны	1	2
СНГ	66	44
Европа (без СНГ)	28	38
Остальной мир	6	18
Всего (ЕВк)	0,63	0,07

В Беларуси нуклиды распространились на пл^ощади 46,6 тыс. км², что составляет 22,4 % ее территории. Причем по цезию-137 с уровнем загр*# нения 37—185 кБк/м² это составляет примерно | общей площади загрязнения СНГ, 185—555 кБк/м² 58 %, 555 — 1460 кБк/м² — 59 %.

В обобщенном виде характеристика выпавших радиоактивных осадков в зависимости от региона представлена в табл. 14. Из данных таблицы видно, что на территории Республики Беларусь выпало примерно 25 % цезия-137 и 29 % йода-131 (рис. 24).

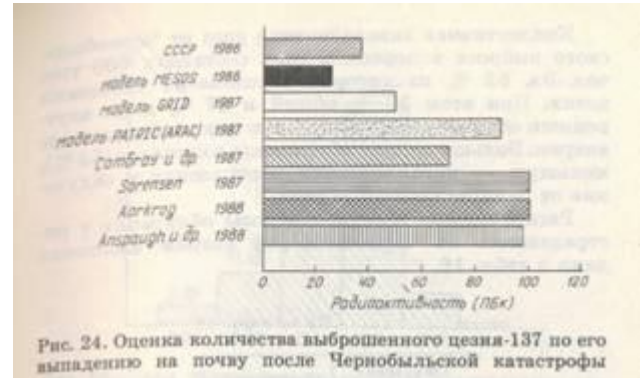


Рис. 24. Оценка количества выброшенного цезия-137 по его выпадению на почву после Чернобыльской катастрофы

Авария на Чернобыльской АЭС не только обострила многие экологические проблемы, но и подорвала основы безопасного проживания на огромных территориях Беларуси, поставило под угрозу здоровье сотен тысяч людей, особенно детей (табл. 15).

Таблица 15

Показатель	Уровень загрязнения цезием-137, кБк/м ²			
	37—185	185—555	555—1480	>1480
Площадь загрязнения, тыс. км:	29,92	10,17	4,21	2,15
% к площади республики	14,4	4,9	2,1	1,01
% к площади загрязнения	29	58	59	69
Проживает населения, тыс. человек	1489,6	281,3	79,1	2,9
Количество населенных пунктов	2006	999	307	58

Воздействию радиации в республике подверглись Населенных пунктов 54 районов с населением 6 МЛН' человек> в том числе 800 тыс. детей.

Коллективная эквивалентная доза от Чернобыль-ского выброса в первые 2 года составила 600 тыс чел.-Зв, 83 % из которой обусловлена

изотопаадц цезия. При этом 30 % общей и 27 % дозы внутреннего облучения сформировано в первый год после аварии. Большую часть обусловило облучение (53 %) меньшую — ингаляционное поступление и облучение от радиоактивного облака.

Распределение ожидаемой дозы облучения у пострадавшего от Чернобыльской аварии населения дано в табл. 16.

Таблица 16

Ожидаемая средняя индивидуальная доза, Зв	Численность населения, тыс. человек
0,05	800
0,1	300
0,2	100
0,5	40
1	10
2	4

Основной вклад в ожидаемую дозу облучения вносило гамма-облучение от выпавших нуклидов (60 %). Внутреннее облучение за счет их поступления с продуктами питания составляет около 38 %. Острая лучевая болезнь развилась у 237

человек, из которых 31 умер. Ликвидаторы получили относительно большие дозы облучения, в особенности в 1986 г. (рис. 25). Средняя эквивалентная доза из них составляет 0,11 Зв, а коллективная — 22 тыс. чел.-Зв. В связи с опасностью жить на загрязненных территориях эвакуированы 135 тыс. человек. Дозовые нагрузки многих эвакуированных мало чем отличаются от доз, полученных ликвидаторами. У 24 тыс. эвакуированных она даже превысила среднюю дозу для ликвидаторов в 4 раза. Для остальных эвакуированных она составила 0,043 Зв, а коллектива достигла 16 тыс. чел.-Зв.



Рис. 25. Дозы облучения, полученные участниками ликвидации последствий аварии на ЧАЭС

Последующее отселение с загрязненных территорий проводится в 3 этапа. К 1991 г. из зоны обязательного отселения выехало уже около 3 тыс. семей в большей части это жители Гомельской области (табл. 17).

Жертвами Чернобыльской катастрофы стала часть населения Беларуси. В республике правовые, социальные, экологические, социальные, проблемы

Демографические- экономические и другие

Этап отселения	Количество отселен.	
	населен. пунктов	жителей
1—1990 г.	112	17000
2—1991—1992 гг.	62	4865
3—1993—1994 гг.	352	96508

Огромные размеры ущерба от аварии заставили Рядом п-г? БелаРУси обратиться с просьбой переклассифицировать УКУ из категории страны-донора в категорию страны-получателя технической помощи ООН на восстановительный период. В резолюции генеральной

Ассамблеи ООН от 21 декабря 1990 г. отмечается, что при оказании помощи необходимо учитывать беспрецедентный характер радиационно-экологического бедствия и чрезвычайную ситуацию, сложившуюся в этих районах в результате долгосрочного воздействия антропогенной радиации на нынешнее и будущее поколения людей.

ВЛИЯНИЕ НА ЭКОСИСТЕМЫ КРОТКОЖИВУЩИХ НУКЛИДОВ

Основными биологически значимыми нуклидами в первые 3 месяца после аварии были коротко-живущие. Наибольшую радиационную опасность представляли радиоактивные изотопы йода: йод-131, йод-132, теллур-132 (переходит в йод-132), йод-133 и йод-135. Именно эти нуклиды йода играли в ранний период аварии значительную роль в формировании дозовых нагрузок на экосистемы. Если учесть еще и тот факт, что более 80 % измерений дозовых нагрузок на щитовидную железу у населения невозможно восстановить из-за плохо проведенных измерений, становятся ясными все трудности оценки влияния короткоживущих нуклидов на живые организмы. Восстановление доз облучения на щитовидную железу показало, что они выше у отселенных до 5 мая 1986 г. жителей Хойникского района, в особенности у детей до 6 лет. В среднем они получили 469 сГр (сангрей — величина в 100 раз меньшая, чем грей), примерно у 1 % этих детей дозы превысили 1000 сГр. У остальных детей и подростков доза облучения щитовидной железы составила 310 сГр, у взрослых — 159 сГр. Из приведенных данных

видно, что у детей дозы облучения щитовидной железой в 3—10 раз выше, чем у взрослых. Причем воздействие йода-131 происходило на фоне низкого содержания стабильного йода в продуктах питания и воде, отмечающегося во многих районах* Беларуси.

Наибольшие загрязнения почвы йодом-131 отмечались в восточных районах Беларуси, на севере Украины и примыкающих районах России. Неоднородность содержания нуклидов йода в воздушных* массах и атмосферных осадках способствовала образованию «пятен» загрязнения. Особенно много «пятен» было на территории между Гомелем и Брянском.

Содержание короткоживущих нуклидов в почве билизирвалось в первой^ декаде мая 1986 г. Наиболее загрязненными оказались 39 районов бывшего СССР, в том числе 14 районов Беларуси. Это прежде всего территории Ветковского, Брагинского, Чериковского, Хойникского, Краснопольского и ряда других районов республики. Уровень загрязнения йодом-131 в этих районах колебался в среднем от 20,5 Мбк/м² в Ветковском районе до 814 кБк/м² в Климовичском. Загрязненность почвы йодом-131 практически исчезла в августе 1986 г.

Общая численность населения, проживающего на загрязненных йодом-131 территориях, составила 1,5 млн человек, в том числе 160 тыс. детей в возрасте до 7 лет.

Постепенный распад короткоживущих нуклидов сопровождался снижением экспозиционной дозы в этих регионах. К середине июня 1986 г. ее величина снизилась в среднем в 20—50 раз. Так, в Чечерске экспозиционная доза уменьшилась с 10 до 0,2 мР/ч, в Гомеле и Славгороде с 2 до 0,05—0,1 мР/ч, в Мозыре и Пинске с 0,5—1 до 0,025—0,8 мР/ч. Тем не менее даже в июне в Минске гамма- и бета-активность воздуха превышали доаварийный уровень в 50—60 раз. Нормализация радиационной обстановки по йоду в городе произошла лишь осенью 1986 г.

КАК ОБРАЗОВАЛИСЬ ПЯТНА РАДИОАКТИВНОСТИ?

В атмосферу попало около 33 % цезия-137, находящегося в реакторе. Это значит, что выброшенным оказалась 74-1015 Бк цезия-137 и 18,5-1015 Бк Цезия-134. Количество же стронция-90 составило 14-1015 Бк. Выпадение нуклидов из облака и выделение их из атмосферы дождевыми осадками над которыми районами страны привели к формированию пятен загрязнения, где подавляющим был цезий-137. Поэтому они получили название «цезиевых пятен». В пределах Беларуси выделяются 4 радиогеографических «цезиевых пятна»."

центральное (западнее и северо-западнее Минска) с уровнем содержания цезия-137 от 37 до 555 кБк/м².

юго-западное (южная часть Припятского Полесья вплоть до Пинска) с уровнем содержания цезия-137 37—185, местами 370—555 кБк/м²;

восточное (север Гомельской и юг Могилевской областей) с уровнем содержания цезия-137 555—1480 кБк/м² и более. В Чудянах Чериковского района — 5402 кБк/м²;

юго-восточное (южные и юго-восточные районы Гомельской области) с уровнем загрязнения цезием-137 свыше 1480 кБк/м².

Как видим, уровень загрязнения неодинаковый как между пятнами, так и по территории. Например, в населенном пункте Колытань Брагинского района величина загрязнения цезием-137 колеблется от 173,9 до 2427,2 кБк/м². Причем рассеяние не влияло на уровень загрязненности.

Иногда удаленные территории загрязнены сильнее, чем ближние. Как это произошло? Во-первых, истечение радиоактивной струи из развала реактора было длительным. Непосредственно взрывом 26 апреля 1986 г. выброшена лишь четверть радиоактивных веществ. Остальные выделялись почти десять суток, пока реактор не был, наконец, заглушен. Ра-дионуклидный состав постоянно менялся.



Рис. 26. Направление перемещения радиоактивного облака в первые дни аварии

В ближней зоне осели тяжелые фрагменты ядерного топлива и большинство «горячих» частиц. Однако за ее пределами произошло существенное фракционирование по размерам выброшенных частиц и их изотопному составу. Во-вторых, истекающие из разрушенного реактора вещества распространялись в соответствии с очень сложными и постоянно

меняющимися метеорологическими условиями. Ветровой перенос в приземной атмосфере и на больших высотах резко отличался. В то же время газы и мелкие аэрозольные частицы выносились струей на высоту в несколько километров. В ночь на 26 апреля 1986 г. на

промплощадке ЧАЭС воздух был почти недвижим. Но на высоте 1200—2000 м устойчивый юго-восточный ветер дул со скоростью 5—10 м/с. К вечеру 27 апреля радиоактивное облако достигло Скандинавии. В последующие два дня оно повернуло на страны Центральной Европы. 29—30 апреля ветер еще раз сменил направление в сторону Балкан (рис. 26). В-третьих, происходило неравномерное очищение атмосферы от радиоактивных изотопов. Самые легкие аэрозольные частицы и газы поднялись очень высоко. Они осаждались медленно, успев несколько раз обогнуть Земной шар, и за несколько месяцев распространились по всему Северному полушарию (см. рис. 15). Самые тяжелые пылевые частицы, частицы дыма осели в ближней зоне, образовав радиоактивные «следы». Частицы средних размеров расположились в приземном воздухе, откуда опустились на земную поверхность.

Дождь эффективно вымывает радионуклиды из атмосферы. Но в ту теплую весну дождей было мало. Там, где они пролились, образовались радиоактивные пятна.

Осаждение радиоактивных частиц можно вызвать искусственно с помощью метеоснарядов или авиации распыляя вещества, собирающие радиоактивность на своей поверхности. Чтобы предотвратить неконтролируемое распространение облака и не допустить загрязнения крупных промышленных центров, такие операции были проведены.

Как менялась радиоэкологическая обстановка в начальный период аварии? Из-за чрезвычайно редкой сети наземных радиометрических пунктов и плохой их готовности авария была зафиксирована службой Госкомгидромета СССР только в 9 часов утра (через 7,5 часов) при проведении штатных наблюдений на метеостанции в Чернобыле. В дальнейшем (на 4-й день после аварии) число пунктов наблюдения было увеличено, включились специально оснащенные вертолеты и самолеты. Контроль за перемещением

радиоактивных масс улучшался, но самая первая информация, к сожалению, была потеряна.

Сразу после аварии наибольшую радиационную опасность представлял йод-131. В обычных условиях в атмосфере его нет, поэтому он оказался хорошим индикатором распространения радиоактивности. Значительную опасность в этот период представляли также йод-132, теллур-132 (переходит в йод-132), йод-133 и йод-135. Несмотря на слабые ветры йод-131 к утру 26 апреля был обнаружен возле Бреста и Витебска.

7 апреля в районе Бреста йода-131 на почву выпало 11,1 кБк/м². Через день его количество выросло в 10 раз. Основной перенос его происходил на запад и северо-запад и достиг Дании и Швеции. В районе от Клайпеды до Бреста в сутки йода-131 выпало свыше 100 кБк/м² в Гомеле, Могилеве и Минске — более 10 кБк/м². На юг переноса радиоактивности в нижних слоях атмосферы не было: в Киеве вплоть до 30 апреля фон повысился незначительно. Зато заброшенные на высоту 5 км легкие аэрозоли перенесены воздушным потоком к Черному морю, попали в зону грозных облаков, и, вымытые ливневыми дождями, образовали локальный очаг загрязнения в районе Одессы—Херсона. 28—29 апреля ветер стал слабее, вынос радиоактивности на большие пространства уменьшился. Но в примыкающей к АЭС северной зоне выпадения игли максимума. В эти сутки в Гомеле выпало <? МБк/м² йода-131. Область высоких уровней вы-

улась от Гомеля на запад до Барановичей, где ТЯдало более 150 кБк/м². В Минске количество - я-131 в аэрозольной форме превышало допустимый уровень в 60 раз. Почти такие же по величине уровни зарегистрированы одновременно в Шве-4 и Финляндии, резко вырос фон в Венгрии. С 30 апреля воздушные потоки перестроились на юг и восток. 3—4 мая южный сектор выноса радиоактивности сузился на пространстве от Черновцов до Симферополя, а местные выпадения уменьшились. В мае радиоактивные продукты распространились далеко за пределы европейской территории страны, и за их перемещением было удобнее следить по множеству измерений суммарной бета-активности выпадений.

Максимальное выпадение суммарной бета-активности — изотопов йода, стронция, теллура-132, бария-140 и др. показано на карте (рис. 27)*. На отдельных территориях выпадения на 4 и более порядка превышали доаварийные уровни. На 5 и более порядков выросли уровни бета-загрязнения не только в ближних зонах Беларуси и Украины, но и в Западной Грузии, где в первых числах мая были ливневые дожди. За сутки 4—5 мая 1986 г. в Батуми выпало около 70 кБк/м² бария-140, 12 кБк/м² рутения-103, около 6 кБк/м² церия-144, около 3 кБк/м² цезия-137 и другие изотопы. В дальнейшем этот воздушный поток устремился к Аральскому морю и далее на восток, где на его пути оказалась горная система Тянь-Шаня и Алтая. Ее преодолели легкие радиоактивные аэрозоли, переносимые верхними слоями атмосферы. Повышенный радиоактивный фон зарегистрирован 1 мая в Красноярске, 3 мая в Хабаровске, во Владивостоке и Японии, 5 мая — в Южно-Сахалинске. В большинстве случаев максимум выпадений совпадал с зонами дождей.

Хотя в начальной стадии аварии наибольшую опасность представляли токсичные короткоживущие изотопы, среди которых важнейшим был йод-131, особо контролировалось распространение чрезвычайно подвижных стронциевых радионуклидов, поскольку



одгоживущий стронций-90 в течение многих КУ остается одним из самых опасных. леТо первые недели после аварии короткоживущего нцИя-89 (период полураспада 50,5 дня) в почве л ло на порядок больше, чем стронция-90. Однако ледствие распада первого уже к 1 ноября 1986 г. вСлйЧества этих изотопов уравнились и в дальнейшем К°оонций-90 в почве стал преобладать. В 1987 г. °оонЦИЙ-89 в почвах уже не обнаруживался. Доля стронция-90 среди продуктов распада урана постепенно растет и ожидается, что через 15—20 лет составит 25 % от общей дозы облучения людей. На карте (рис. 28) приведены данные о поверхностной радиоактивности только долгоживущего изотопа на 15 июня 1986 г. (суммарная активность стронций-89+стронций-90 на эту дату в зоне загрязнения была примерно в 10 раз выше).

При бета-распаде йода-131, как и большинство других радиоактивных изотопов чернобыльского выброса, кроме бета-излучения, испускаются гамма-кванты, регистрировать которые легко даже обычными дозиметрами. Вместе с наземными наблюдениями самолетная гамма-съемка следила за распространением йода-131 и остальных гамма-излучающих радионуклидов на огромной территории. Чрезвычайно высокие экспозиционные дозы в первый месяц после аварии зарегистрированы в сотнях километров от АЭС, а в ближней зоне они были опасными и потребовали срочного переселения жителей (рис. 29).

Из-за неготовности радиометрической сети максимальные выбросы первых дней не зарегистрированы. На рисунке показано, как изменялась экспозиционная доза в некоторых населенных пунктах Беларуси. в Врагине 30 апреля 1986 г. — 48 мР/ч, т. е. примерно в 4000 раз выше естественного фона. По мере Распада короткоживущих радионуклидов и вымывания из атмосферы экспозиционная доза постепенно снижалась, и обозначилась зона радиоэкологического неблагополучия (рис. 29, 30).

К концу 1986 г. доля долгоживущих изотопов Зия и стронция-90 стала преобладающей. Соот-(цезия-137 к цезию-134 в выбросе состав-'•'1. Отношение цезий-137/стронций-90 в про-^ выброса равнялось 4,5:1. Но по мере удаления оно увеличивалось. Это говорит о преимущественном выносе и дальнейшем распространен^ летучего цезия, в то время как стронций-90 в о новом выпал в ближних зонах.

Загрязнение почвы стронцием-90 носит более локальный характер, чем загрязнение цезием-137. Пятна с уровнем загрязнения стронцием-90 выше 111 кБк/м² находятся главным образом в зоне отселения. Тем не менее уровень загрязнения стронцием-90 в 4 населенных пунктах Гомельской области превышает 111 кБк/м², в 23 населенных колеблется от 74 до 111 кБк/м², в 331 населенном пункте 18,5—74 кБк/м². На почве стронций-90 Распределился довольно равномерно. Перераспределение его происходило в основном под влиянием поверхностной и внутрипочвенной влаги. все-Го нуклида накопилось в почвах болот или Участках территории. На водоразделах содержание стРонция-90 в почвах меньше.



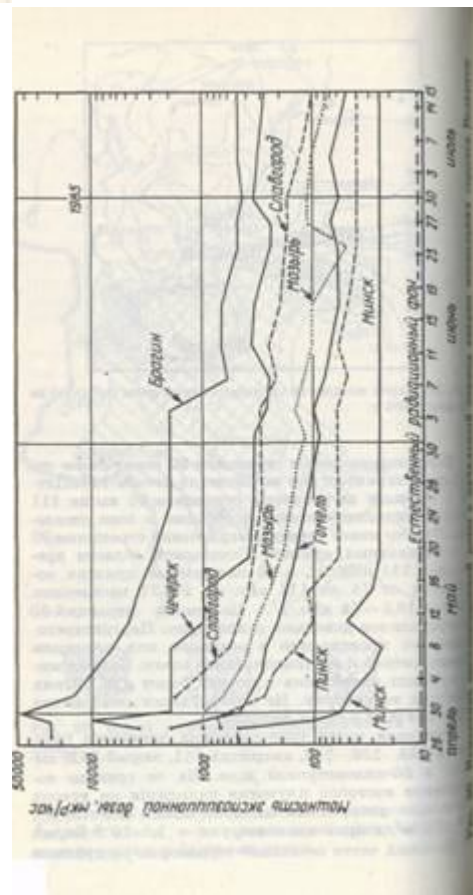
пунктах

Больше низких

Основная масса трансура

новых элементов (плутоний-238, -239, -240, америций-241, кюрий-242) вы-д Ла в 30-километровой зоне. На ее границе со-Обе ание изотопов плутония находится на уровне предельно допустимых концентраций: в почве — ц кБк/м², в приземном воздухе — 1Д-10-3 Бк/м³. °льшей части остальной территории

республики



За Отдельные участки загрязнения почвы трансура новыми элементами до 0,37-3,33 кБк/м² обнаружены в Брагинском, Наровлянском, Хой-

никском и Ветковском районах. На южной окраине Брагина содержание плутония достигает 8,51 кБк/м. Такое состояние загрязненности сохранится продолжительное время в связи с длительным полураспадом трансураниевых элементов. Например, у плутония-239 он составляет 2,44X 10⁴ лет.

При оценке содержания плутония в почвах необходимо учитывать, что он образует устойчивые мелкодисперсные аэрозоли, поступающие в организм через органы дыхания. Расчеты показывают, что эффективная эквивалентная доза облучения населения за счет изотопов плутония находится в пределах 11—60 мкЗв/г. У механизаторов сельского хозяйства ее величина возрастает до 86—459 мкЗв/г. Много это или мало? Исследования показали, что эффективная эквивалентная доза от стронция и плутония не превышает 10 % суммарной дозы, получаемой человеком, хотя их содержание в организме превышает в 2,5—5 раз доаварийный уровень.

Трансураниевые обладают высокой токсичностью, большим периодом полураспада (десятилетиями) и слабой изменчивостью. В природной среде их стабильные аналоги. Полагают, что в дозую нагрузку будет вносить плутоний-241 (период полураспада 433 года), образующийся из плутония-241 с периодом полураспада 14 лет. И только через 73 года, когда будет достигнуто равновесие содержания этого нуклида, начнем постепенное снижение их активности.

Значительное количество трансураниевых элементов входит в состав так называемых топливных или «горячих» частиц. Эти частицы являются альфа-, бета- и гамма-излучателями. Образовались они при пожаре на атомной станции в результате выноса мелкодробленого топлива вместе с графитовой пылью, продуктами горения графита. В образовании «горячих» частиц принимали участие топливо, продукты деления и нейтронной активации, оплавленные конструкционные материалы, а также различные продукты, содержащиеся в сброшенных на реактор материалах и образовавшиеся из продуктов горения: оплавленные силикатные, карбонатные, свинцовые, доломитовые соединения бора, битумные и другие частицы, включающие в свой состав продукты деления ядерного топлива. Состав одних частиц близок к их составу в топливе. В них изотопы стронция, цезия, плутония, бария, циркония, ниобия и др. Другие, так называемые «рутениевые» частицы, в первые месяцы после аварии включали в свой состав большое количество рутения-103, а в дальнейшем — рутения-106. Доля «рутениевых частиц» в ближних выпадениях относительно небольшая.

Второй тип топливного выброса характеризуется более мелкими размерами — диаметром в несколько микрон. За прошедшее время произошли значительные изменения первоначального их состава. Они содержат, как правило, железо, цирконий, силикатные соединения, а также кобальт-60. Иногда в них находят «рутениевые» частицы.

Активность топливных частиц колеблется от десятков до тысяч беккерелей. Выявляют эти частицы не только на территории АЭС, на землях Беларуси но и в других странах. В Швеции, например, обнаружены «рутениевые» частицы и частицы, состоящие из бария и лантана. Количество цезия в почвах возрастает по мере удаления от ЧАЭС. Радиусы распространения этих частиц в почвах Беларуси колеблются от 5 до 1000 мкм. Они же обладают и наибольшей удельной радиоактивностью. Концентрация их в приземном слое воздуха определяется количеством, составом и миграционными способностями частиц в почве. Большую опасность представляют при попадании в воздух в результате ветрового переноса и при пожарах. Максимальный уровень в воздухе отмечали в мае 1986 г. В некоторых случаях с вдыхаемым воздухом «горячие» частицы попадают в легкие, могут заглатываться и попадать в желудочно-кишечный тракт, а также попадать в кровь.

Болгарскими учеными подсчитано, что в течение «часового дня на открытом воздухе» легкие человека могут попасть 50 «горячих» частиц. Если учесть, что даже одна «горячая»

частица размером в 2 мкм и активностью 260 Бк (активность «горячих» частиц колеблется от 50 до 3-ЮЗ Бк), попадая в легкие, создает облучение клеток с мощностью дозы $9 \cdot 10^3$ Гр/г, на расстоянии 10 мкм от частицы — 60 Гр/г, а на расстоянии 50 мкм — до 1,5 Гр/г, то от 50 частиц оно во столько же раз больше. Риск возникновения рака у таких людей составляет 0,1 — 1 %.

ВИДЫ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИИ

Радиоактивные выпадения в ближней от Чернобыльской АЭС зоне представлены в основном мельчайшими частицами реакторного топлива. Они отличаются малой растворимостью и способностью постепенно разрушаться с освобождением нуклидов из топливной матрицы. Эти процессы вызывают увеличение количества водорастворимых и обменных форм стронция-90 в почвах в ближней зоне аварии. К 1988 — 1989 гг. доля обменного стронция-90 на 40—80 %. Полагали, что в 1990—1991 гг. стронций-90 и цезий-137 полностью выйдут на поверхность топливных частиц и поступят

04^' Этот период был наиболее опасным, почки изотопы легко поступали в пищевые цепи

0** тмП загрязнение характерен для северных областей Юго-восточного и восточного пятен. Здесь нуклиды, сконденсировавшиеся в виде атмосферной пыли и влажные радиоактивные выбросы были перенесены ветром на значительные расстояния и в почву в виде атмосферных осадков, содержат, так называемые «активные» частицы конденсационного происхождения. Они связаны с мелкими частицами почвы и состоят главным образом из церия-144, рутения-106 и цезия-134 и -137. Активные частицы распространены на всей территории Гомельской и Могилевской областей. Количество их уменьшается с увеличением расстояния до места аварии и может колебаться в широких пределах — от 103 до 105 аа м2. Значительное количество активных частиц содержится в воздухе. Намного больше их в юго-восточных областях республики, чем в северо-западных. Опасность заключается в поступлении активных частиц в организм человека.

В переходных зонах загрязнение почвы может определяться радиоактивными частицами обоих типов. Преобладание того или иного типа загрязнения в зависимости от расстояния до ЧАЭС определяет формы нахождения радионуклидов, их подвижность, вертикальное и горизонтальное перемещение, способность к ветровому выносу, накоплению в растительности, переходу в почвенную влагу и грунтовые воды, проникновение в растения.

Рассмотрим поведение нуклидов, находящихся в различных компонентах биосферы.

ПОВЕДЕНИЕ НУКЛИДОВ В ПОЧВЕ

Большая часть нуклидов, выпавших на почву, в настоящее время находится в верхних ее слоях. Глубина их перемещения зависит от типа почвы. В песчаных почвах они находятся в 5-сантиметровом слое, в торфо-болотных почвах — на глубинах 30—45 см и глубже. Однако глубина перемещения нуклидов в однородных почвах также неодинакова. Выяснено, например, что в глинистых и песчаных-подзолистых почвах лучшей подвижностью обладают стронций-90 и меньшей — цезий. В илистых торфо-болотных почвах — соответственно цезий-137 и стронций-90. Такие различия принято брать за способность почвы фиксировать на своих типах отдельные нуклиды.

Гумусовый слой почвы служит для нуклидов своеобразным барьером, который может связывать от образующихся форм у цезия-137 в этих почвах намного меньше, чем у стронция-90. Причем подвижностью и высокой химической активностью обладает относительно небольшая часть хлоридов

растворимых в воде соединений радионуклидов-Р° ОНИ легко проникают в глубь почвы, всасываются растениями и могут попадать в грунтовые воды в результате деятельного контакта с почвой. Свободные нуклиды стронция переходят в труднорастворимые состояния.

Подвижность нуклидов в почве зависит также от расстояния до Чернобыльской АЭС. В ближней к разрушенному реактору зоне выпало много мельчайших частиц реакторного топлива, характеризующихся малой растворимостью. Эти нуклиды обладают небольшой подвижностью, хотя и подвергаются постепенному освобождению. В отдельных районах есть больше растворимых и легко обменивающихся форм нуклидов. Например, на расстоянии 40 км от энергоблока доля последних не превышает 35%, а на расстоянии 200—250 км она уже превышает 90%. Таковую закономерность связывают с выпадением на значительном расстоянии от разрушенной атомной станции хорошо растворимых частиц нуклидов.

За истекший после аварии на Чернобыльской АЭС период количество подвижных форм цезия-137 практически не изменялось, а стронция-90 увеличилось. Такое повышение можно объяснить самопроизвольным разрушением активных частиц. В зависимости от типа почвы этот процесс может продолжаться от одного до нескольких лет. За прошедшие три года после аварии количество растворимых и обменных форм нуклидов возросло в среднем до 40—80%. В результате этого увеличилось в количестве стронция-90, активно участвующего в обменном цикле. Оказывается, что легко обмениваемые нуклиды И цезия-137 проникает в глубь почвы даже связанной стронция-90. Он обнаруживается на значительной глубине почвенного слоя.

Наряду с перемещением нуклидов в глубь почвы миграция их так называемая их горизонтальная с помощью перемещение нуклидов происходит со стоками поверхностных вод, паводковыми и дождевыми потоками. Существенную роль в горизонтальном перемещении нуклидов играет хозяйственная деятельность человека и перемещение животных. Все эти факторы приводят к постепенному самоочищению одних участков почвы и загрязнению других.

Самоочищение почвы за счет перемещения и естественного распада нуклидов происходит медленно. Ежегодное снижение содержания их в верхнем 5-сантиметровом слое почвы составляет примерно 5—10%, а в нижележащих слоях оно уменьшается на 1—2%. В результате к 1990 г. величина экспозиционной дозы во многих загрязненных районах снизилась примерно на 10—40%. Расчеты показывают, что время, за которое почва может стать чище, чем загрязнение цезием-137 в два раза (период полувыведения нуклидов), может колебаться в зависимости от типа почвы от 7,5 до 14 лет (по мнению белорусских ученых, эта величина для почв Беларуси выше и составляет от 17 до 23 лет). Самоочищение почв после Кыштымской аварии от загрязнения стронцием-90 было примерно таким же. Период полувыведения его составлял в среднем 10 лет.

НУКЛИДЫ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Значительное количество нуклидов после аварии на ЧАЭС попало в поверхностные воды. Причем максимальная концентрация стронция-90 в крупных реках наблюдалась не в 1986 г., а в 1987 г. из-за перемещения стронция-90 по системе притоков рек взаимодействия его с донными отложениями притоков. В этих притоках, а также в малых реках, протекающих через зону загрязнения, наибольшее количество стронция-90 было в 1986 г. Содержание стронция-90 в речных водах до аварии составляло 15 Бк/м³. После аварии на ЧАЭС концентрация нуклида в воде Припяти в районе Чернобыля 3 мая 1986 превышала эту величину более чем в 1000 раз, уже к середине мая количество стронция-90 в снизилось в 4 раза, а к октябрю уменьшилось в 20 раз. Концентрация йода-131

достигла максимальной величины 3 мая 1986 г. Содержание цезия – 137 100 раз превышало допустимую его концентрацию.

Уже в мае 1986 г. отмечался значительный рост в этой воде района аварии концентрации йода, бария и стронция. Причем если йод, как и стронций-90 находился в речной воде в растворенном состоянии, то теллур, барий, молибден, рутений, церий, неодим, ниобий, нептуний, а также цезий были связаны преимущественно со взвесями. Максимальная концентрация йода-131 была в 30 раз выше, а стронция-90 и в 30—120 раз больше допустимой концентрации его в питьевой воде. К сентябрю стронций-90 стал основным изотопом, загрязняющим поверхность воды. К этому времени йод-131 распался, а остальные изотопы перешли в донные отложения. Суммарная активность воды в реках загрязненных территорий в конце апреля — начале мая 1986 г. составляла 4—8 кБк/л. Активность короткоживущих нуклидов в десятки раз превосходила активность долгоживущих изотопов цезия. По мере распада первых и депонирования с частицами в донные отложения вторая активность воды к июню 1986 г. снизилась в сотни раз. Радиоактивность воды стала определяться долгоживущими нуклидами — цезием, стронцием.

В реках Ипать, Беседа и Сож максимальная концентрация цезия наблюдалась в период весеннего половодья 1987 г. (2—6 Бк/л). Во время половодья 1988 г. эти цифры были ниже, чем в 1987 г. В 1988—1989 гг. наибольшие концентрации цезия-137 отмечались в р. Ипать (0,16—0,07 Бк/л). Содержание стронция-90 в этих реках было в 100 раз выше предельно допустимого уровня.

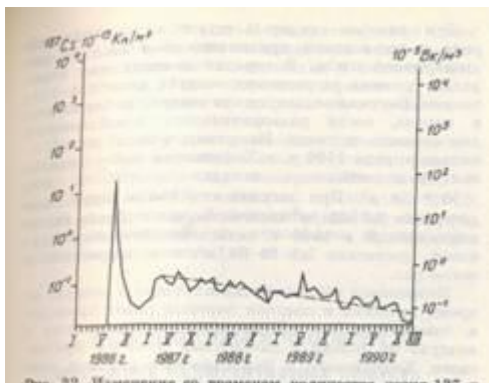
В последующие годы основным источником поступления нуклидов в реки был смыв их по естественным стокам с загрязненных территорий. В грунтовых водах они могут попасть в результате фильтрации атмосферных осадков или речных подкормок перемещением подвергаются в основном разнородные формы нуклидов. Интенсивное их накопление наблюдается в донных отложениях. Одностронциевые илестые осадки обогащаются водными металлами за счет его сорбции. С паводковыми водами происходит перераспределение нуклидов: нелегкорастворимых нуклидов, перераспределение илестых частиц, вынос их на почву последующее их заглобление.

Можно полагать, что содержание нуклидов подземных водах в ближайшие годы существенно не изменится, хотя в отдельных случаях могут возникать локальные повышения концентрации изотопов в поверхностных водах и водах мелиоративных систем. Источником радиоактивного загрязнения водных систем и рыбы являются донные отложения, что необходимо учитывать в хозяйственной деятельности. Особенно значительному облучению водные организмы подверглись в первый период после аварии. Водоросли, моллюски и рыбы от источников внешнего облучения (донные отложения, вода и др.) и от инкорпорированных нуклидов получили в десятки-сотни, а иногда и в тысячи раз больше облучения, чем это было ранее. Особенно большими были дозы облучения придонных организмов (в 100—1400 раз больше естественного фона). Максимальные дозы облучения водных организмов приходились на май — июнь 1986 г. В последующие два года происходило снижение дозы облучения у таких рыб, как карась, лещ, плотва и др. У хищных видов (щука, окунь, судак и др.) заметного снижения дозы внутреннего облучения не наблюдали. Тем не менее дозы облучения водных организмов относятся в основном к малым дозам, для которых не установлено повреждающих радиобиологических эффектов.

Приведенные выше данные имеют большое значение для оценки возможного поступления нуклидов с рыбой в организм человека. По имеющимся данным, жители прибрежных населенных пунктов в 1986 г. за счет ловли рыбы получили стронция и цезия почти в 5 раз, а йода-131 в 37 раз больше уровня регламентированного СНИПом.

ВОЗДУШНЫЙ ПЕРЕНОС РАДИОНУКЛИДОВ

Увеличение концентрации цезия-137 и стронция-90 в 1986 г. по сравнению с 1985 г. составив соответственно 1000 и 24 раза. Причем цезий-137 в этот период находился в основном в мелкодисперсном состоянии, что способствовало переносу на большие расстояния. Например, в Минске 28—29 апреля 1986 г. количество цезия в воздухе превысило допустимый уровень для АЭС более чем в 5 раз. Этот высокий уровень сохранился до 2 мая. В последующем до конца 1990 г. период полууменьшения концентрации цезия-137 в воздухе ближней зоны составил 9,3 месяца.



В мае 1986 г. после аварии на ЧАЭС бета-активность в приземном воздухе увеличилась в 10 раз, уровень ее достиг значений, отмечавшихся в 1963 г., когда проводились испытания ядерного оружия, выходящих за пределы — в воздухе она снизилась, превышая все же естественный фон почти в 2 раза. ЛИЗ динамики радиоактивности приземного воздуха в Гомеле, Минске, Бресте и Могилеве по сравнению с периодом в первые месяцы после аварии коли-

в м нуклидов в нем уменьшалась в 5—9 раз год, тогда как начиная с 1987 г. — в 2—3 раза в период постепенного снижения радиоактивности Чернобыльского региона несмотря на сезонные повышения концентрации нуклидов в воздухе (рис. 32).

Эти данные свидетельствуют о значительной роли в загрязнении приземного слоя воздуха радиоактивной пыли. В городах и селах она определяет уровень загрязнения воздуха цезием и стронцием. Высокая запыленность воздуха наблюдалась в апреле, когда разворачивалась хозяйственная деятельность человека. Например, в конце марта — начале апреля 1990 г. в Хойникском районе удельная радиоактивность воздуха достигала 4×10^{-3} Бк/м³. При загрязнении почвы плутонием до уровня 3,7 кБк/м² количество его в облаке пыли поднимаемой в 1988 г. сельскохозяйственной техникой, достигало 1,1-10 Бк/м³, т. е. возросло в сотни раз.

Повышение концентрации плутония в воздухе во время весенних и осенних полевых работ приводит к повышению его среднесуточного содержания в воздухе не только в населенных пунктах Брагинского, Хойникского и Наровлянского районов, прилегающих к зоне отселения, но и на более значительных расстояниях от них. Эти повышения возможны при южных ветрах в радиусе до 100 км от ЧАЭС. Вклад в увеличение уровня трансураниевых элементов в воздухе вносит в осенне-зимний период также и печное отопление. В перспективе ожидается понижение количества плутония в атмосферном воздухе в связи с его постепенным заглублением в почву и уходом из поверхностных пылящих почвенных слоев.

Распространение нуклидов на значительные расстояния происходит также во время пыльных бурь. Особенно сильная пыльная буря началась 17 — 20 апреля 1987 г., когда поверхность почвы подсохла, но растительный покров еще не сформировался. Циклон над значительной частью Европейской территории страны сопровождался ветрами в Прибалтике, Беларуси, Украине, Центральной части России, Северном Кавказе и Нижнем Поволжье. В загрязненных районах 17 апреля скорость ветра достигала 20 м/с, а 18—19 апреля — 25 м/с. Основной вынос радиоактивных масс происходил из загрязненной зоны на юго-восток и восток с поворотом на север. При этом концентрация в воздухе изотопов цезия по сравнению с предыдущими днями возросла в 80 раз, рутения-106 — в 95, стронция-90 — в 50 раз. В результате этого даже после аварии за пределами зоны

загряз-через ДИОактИвность возрастала в ряде случаев яеНп^-380 Раз- Р°ль ветрового переноса в повы-в и радиоактивности воздуха увеличивается с

север оЯду с ветровым переносом существенное поение радиоактивности воздуха может происхо-вЪШ во время лесных пожаров. Так, пожар в ^ИТие апреля 1989 г. лесного массива в окрест-К°стях п. Довляды Хойникского района сопрово-Н°ался выпадением из атмосферы аэрозольных частиц, на расстоянии 14—40 км.

РАДИОИЗОТОПЫ И БИОСФЕРА

ПОВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДЕ

Мы уже говорили, что изотопы химического элемента, стабильные они или радиоактивные, в природе ведут себя одинаково. Из радионуклидов чернобыльского выброса не все в равной степени биологически опасны. Одни выпали поблизости от АЭС (фрагменты ядерного топлива, графита, конструкционных материалов, большинство тяжелых «горячих» частиц), другие быстро распались, третьи, к счастью, ведут себя инертно и не включаются в круговорот веществ (изотопы инертных газов ксенона и криптона). И те, которые быстро распались, и те, которые ведут себя инертно, были опасными в первые недели после аварии и в основном определяли дозу внешнего облучения, за исключением йода. В настоящее время доза форми-И Уется долгоживущими цезием и стронцием, частично РУтением-106 и церием-144, а на юге Гомель-области — изотопами трансурановых элемен-тов и радонов.

Цезий, и стронций химически очень активны. °М пР°Чегсах цезий подобен калию. После Изо " Как он выпал на поверхность земли, про-1 его включение в биологические объекты:



Рис. 33. Поведение радиоактивных веществ в биосфере

накопление в травах и злаках, куда он поступает из почвы (рис. 33). ттри радиоактивном распаде оба изотопа цезия (-137 и -134) испускают у-кван-ты, т. е. на загрязненной местности они — главный источник внешнего облучения.

Стронций по химическим свойствам близок к кальцию. Большая часть радиоактивного стронция-90 остается в верхнем 5-сантиметровом слое почвы, но в песках он проникает до 45 см. Активно накапливает его

торф. Стронций даже более подвижен, чем цезий, хорошо растворяется в воде, попадая в водоемы.

НУКЛИДЫ И РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР

В растительные организмы радионуклиды пой дают во время атмосферных осадков, при ФоТ синтезе (углерод и тритий участвуют в образов! нии углеводов, белков и других компонентов Ра< тительной ткани) и из почвы. По времени Чернобыльская авария совпала с разгаром сель-11 бот вегетацией и ростом трав. Выпавшие Х°Злнды' осели на листьях деревьев. Й^Кг>йчас, когда атмосфера почти очищена, радио-«ные вещества мигрируют в растения, в аКТ н0]у1 через корневую систему. Из почвы по-°СНбляются лишь те изотопы, которые растворяются ТР<воде: стронций, йод-131, барий-140, цезий-137 в 134, церий-144. Чтобы уменьшить поступление И пасте'ния стронция-90, почву кальцинируют и тем В

мым уменьшают радиоактивность в растительности. В почвы, загрязненные цезием, в разумных пределах вносят калийные удобрения.

Накопление радиоизотопов растениями зависит и от типа почвы, и от ее водного режима. Меньше накапливают радиоактивные элементы растения, произрастающие больше на песчаных и подзолистых почвах. При этом экспериментально установлено, что осколочные продукты цезия и стронция в Белорусском Полесье аномально подвижны и при одинаковой загрязненности почв в растениях этой зоны их оказывается обычно в 3—5 раз больше, чем в других географических районах.

Скорость поступления нуклидов в растения зависит от плотности загрязнения почвы и форм подвижности нуклидов. На перепаханных полях они усваиваются быстрее, на непаханных — медленнее. На переувлажненных угодьях почти четвертую часть рутения-106 и цезия-137 находили в корнях, около 2/3 — в прикорневой почве и лишь небольшую долю в почве, где не было корневой системы. На песчаной, свободной от корней почве содержится больше цезия-137, чем на переувлажненной. Накопление стронция-90 в растениях не зависит от вида почвы, а лимитируется формой нахождения в ней нуклида. Стронций-90 ступает в организм в основном с картофелем и овощами. Существует также выраженная зависимость между количеством обменного кальция в почве и содержанием стронция-90 в растениях: Чем больше в почве обменного кальция, тем меньше

нуклида поступает в растения. Число растений активно всасывают микроэлементы, в том числе радиоактивные вещества, лишайники, мхи, грибы, бобовые, злаки, так называемые растения-концентраторы. Из дикорастущих ягод тем самым обладают клюква, малина, черника, земляника, голубика, крушина. Правда их «загрязненность» зависит от уровня радиоактивности почвы. В лесу он всегда выше. В то же время выращенные на приусадебном участке ягоды обычно пригодны в пищу. Из огородных растений повышенное содержание стронция и цезия накапливается в укропе, шпинате, петрушке, лекарственных растениях. Но не все органы растения «загрязняются» одинаково. Более всего радиоактивных веществ накапливают семена.

По количеству цезия-137 от меньшего к большему растения можно расположить в ряд: пшеница < ячмень < горох < гречка < овес < фасоль < картофель < тофель < морковь < свекла < бобы. Салат и ботва многих растений накапливают в 5—50 раз больше нуклидов, чем зерно и корнеплоды. Большое количество накапливают огурцы, морковь, томаты, небольшое — лук, капуста, свекла. Накапливают нуклиды тимopheевка, тысячелистник, клевер. Устойчиво чистые корма луговых трав можно получить, если уровень загрязнения по цезию-137 не превышает 555 кБк/м². В то же время клевер, пригодный для кормления, получают при плотности загрязнения изотопами цезия до 925 кБк/м², злаковые травы — до 1480 кБк/м². Необходимо при этом помнить, что загрязнение, превышающее в 2—3 раза корневой путь поступления, происходит в период уборки урожая. Поэтому следует использовать следующие приемы:

— на загрязненных территориях необходимо использовать только прямое комбайнирование зерновых культур, уборку проводить с максимально высоким срезом (15 см);

— уборку многолетних трав и травостоев лугов и пастбищ на сено следует проводить без свала на почву, а просушку травы осуществлять на специальных площадях, лучше принудительным сеноуборочным комбайном.

Естественное самоочищение лугов от нуклидов колеблется от 5 до 15%. Считается, что проведение разумных агротехнических мероприятий может снизить коэффициенты перехода нуклидов в растения в 1,3—16,2 раза и более, особенно на минеральных

торфяных почвах. Этому способствуют следующие мероприятия: ДУ[^] — более глубокая (на 5 см больше обычной)

епахка загрязненных пахотных угодий и пере-пеР а с полным оборотом пласта, что способствует с)

м° еНИЮ в 3—4 раза экспозиционной д< зы; тпесткование почв, имеющих кислую г>f

известкование почв, имеющих кислую реакцию, уменьшает переход нуклидов из почвы в растения; * — еЖегодное внесение на загрязненных пахот-

х угодьях повышенного количества удобрений, Главным образом фосфорно-калийных, что повышает урожайность, улучшает минеральное питание растений и снижает поступление нуклидов в растения;

— перепашка и удобрение естественных лугов

и пастбищ, что уменьшает содержание нуклидов в корнях и снижает загрязнение скота при пастбищном содержании.

Проведение в первые годы перечисленных мероприятий позволило снизить загрязнение нуклидами растениеводческой продукции в 1,5—2 раза, хотя планировалось в 3—4 раза.

Активными накопителями нуклидов оказались такие древесные породы, как ива, береза, сосна и ель. Например, в годичных кольцах березы содержание стронция-90 в среднем в 7 раз выше, чем до аварии. Много нуклидов накапливается в коре и опаде листьев. Можно ожидать, что увеличение их количества в древесине будет продолжаться следующие 10—12 лет.

В результате выпадения радиоактивных частиц и аэрозолей на леса на почве сконцентрировалось почти 3/4 общего количества нуклидов, однако за рошедшие годы произошло самоочищение почв. «егодное снижение количества нуклидов в верх-лоп-п антиметРовом слое почвы в лесных массивах *><?игает 30-40 %.

6 загрязнены леса Наровлянского, Хой-го п°Г0) Брагинского, Добрушского, Ветковско-раЙ0^етлогоРского, Чечерского и Чериковского В лесах Брестской, Гомельской, Могилев-и Минской областей выделены зоны, в которых запрещается сбор ягод, грибов и заготов лекарственного сырья.

Таблица 18

Тип растительности	Незначи- тельные эф- фекты	Промежу- точные эф- фекты	Тяжелые эф- фекты, га боль
Хвойный лес	1—10	10—20	>20
Лиственный лес	1—100	50—350	>100
Кустарники	10—50	50—200	>200
Травянистый лесной под- рост	200—400	400—600	>600
Луговые растения	80—100	100—1000	>1000
Мхи, лишайники	100—1000	500—5000	>2000

Радиационное поражение растений выражает? в необычной форме или внешнем виде: тизме, уродстве, снижении урожайности, о способности к размножению, гибели. Острые | тальные дозы высших растений

колеблются от ii до 1000 Гр (табл. 18).

Особо чувствительны к облучению сосновые леса. Не выдержали большой дозы (80—100 Гр) и погибли сосновые деревья на 400 га в окрестностях ЧАЭС. Доза облучения в 10 раз меньшая убила только некоторые деревья, особенно в возрасте 10—12 лет и вызвала повреждения почт] всего молодого подроста. После облучения сосну дозой 3—4 Гр развились морфологические изменения. Лиственные породы деревьев (береза, осин; дуб, ива, тополь и др.) таким изменениям не

по? верглись. Это подчеркивает большую радиационную их устойчивость, обусловленную малым по сравнению с сосной размером клеточных ядер. В экспериментально облученных популяциях растений (экспозиционная доза 5—10 мР/час) появляются предшественники с измененным кариотипом, выявляются абберрации хромосом на клеточном уровне. В то же время простые растения (мхи, лишайники) выдерживают довольно высокие дозы облучения

Угнетение роста обычно наблюдается на уровне 50—60 % летальной дозы для растений, цветения 40—50 %, неспособность к образованию семян 25-35 % этой дозы. В сильно загрязненных районах наблюдались такие аномалии, как карликовый рост, наличие утолщений листьев, появившихся до облучения, стенокардия. Старшие сосны утверждают. У сосен укорачивается длина вегетационных радиационных эффекты в цветках могут индуцировать появление дополнительных бутонов, стимулы к более высоким дозам благоприятнее для вегетации, чем цветению, и на месте цветков могут появляться видоизмененные листья.

ВЛИЯНИЕ НУКЛИДОВ НА ЖИВОТНЫХ

В организм животного нуклиды попадают с пищей. Но накапливаются они не одинаково не только разными видами животных, птиц, насекомых, но и различными их органами. Например, йод накапливается в щитовидной железе млекопитающих и человека, стронций — в скелете. Больше накапливает стронция и цезия говядина, меньше свинина. Менее всего накапливают радионуклиды жиры.

Попадая в организм животных, различные радиоактивные вещества задерживаются в нем разное время: и несколько дней, и годы. Главный путь их выведения — с переработанной пищей и жидкостями через выделительные органы. Один из этих органов — молочная железа. С молоком коров выводится около 1 % йода, стронция и цезия, поступивших с суточным рационом. Это очень большая величина, тем более, что молоко относится к основным продуктам питания человека. Характерно, что у мелких млекопитающих, у которых физиологические процессы протекают быстрее (козы, овцы), при равной загрязненности пастбищ молоко более радиоактивно.

Действие радиации на животный мир изучено недостаточно. Известно, что очень высокие дозы приводят к гибели млекопитающих, меньшие — к заболеваниям, генетическим изменениям, половым расстройствам, неспособности к размножению. Установлено, что йод-131 в начале аварии привела к патологическим изменениям щитовидной железы у коров, оставшихся в 30-метровой зоне, снижению массы тела. В первые 1—1,5 года после аварии удои в 2—3 раза и начали восстанавливаться спустя 2 года. В течение одного года после аварии у «вотных выросли активность ц-АМФ и осмотическая резистентность тромбоцитов, что указывало на», изменение состояния клеточных мембран. Изменения происходили на фоне снижения показателей деятельности щитовидной железы. Понижалась устойчивость животных к заболеваниям (иммунологические изменения). Отмечались повреждения (микротромбы и изменения строения внутренних органов мышечной, обитающих на загрязненных территориях в эритроцитах возрастало количество микроядер. Особенно чувствительными к действию радиации оказались обменные процессы. В костном мозге бурых лягушек возросло количество хромосомных нарушений. Возросла численность и изменилось пространственное распределение зверей и птиц, живущих в зоне эвакуации населения. Объясняется это снятием беспокойства и созданием условий заповедника для диких животных.

Основными источниками поступления радиоактивности в организм человека являются мясомолочные продукты. Еще одна пищевая цепочка — обитатели водоемов. В озерах и реках тоже существуют организмы-концентраторы, жадно поглощающие радиоактивные вещества. Радионуклиды обычно связаны с аэрозольными и пылевыми частицами,

которые в воде оседают довольно быстро, и вся радиоактивность скапливается в придонных илах. Поэтому некоторые водоросли, ракообразные! моллюски, придонные животные и растения загрязняются в сильной степени. У рыб происходит 1 копчение радионуклидов в печени и других < ганах. Особенно сильно в икре.

РАДИОАКТИВНОСТЬ В ЧЕЛОВЕЧЕСКОМ ОРГАНИЗМЕ

Попадание радиоактивных веществ внутрь с ганизма человека происходит с вдыхаемым духом, питьевой водой, продуктами растительно и животного происхождения, т. е. по пищевым путями. Назовем лишь самые главные пищевые пути (они могут быть очень сложными):

растение (овощи, салаты, фрукты и т. д.) — человек;

растение — животное — молоко — человек;

растение — животное — мясо — человек;

водоросли — рыба — человек.

Закономерности поведения радионуклидов, по-

щих в человеческий организм, примерно такие же как в организмах высших животных. Разные выдества по-разному накапливаются и выводятся из органов, среди которых тоже есть своеобразные депо — концентраторы.

Вклады отдельных радиоизотопов в общую радиоактивность человеческого тела и создаваемые ими дозы, средние для США, которые можно рассматривать как типичные до аварии в Чернобыле, представлены в табл. 19. 82 % всей дозы обусловлено естественным фоном, остальное — радиоактивностью термоядерных взрывов, распростелившихся глобально.

Радионуклид	Активность, Бк/кг веса	Доза, мЗв/год
Тритий (природный)	25,9	0,00001
Тритий (антропогенный)	1000	0,0006
Радиоуглерод	2960	0,01
Калий-40	4070	0,169
Рубидий-87	1073	0,006
Стронций-90 (антропогенный)	48	0,004
Цезий-137 (антропогенный)	104	0,003
Свинец-210 (ряд природного урана)	22	0,09
Радий-226	3	0,02
Радий-228 (ряд природного тория-232)	2	0,03
Естественный уран	3	0,02
	9310	0,353

После аварии в Чернобыле содержание радц активности у жителей пострадавших республи резко изменилось. Только по цезию, регистрирую мому счетчиками излучений человека (СИЧ), у ^ телей Беларуси активность нередко достигает 104—107 Бк/кг веса. В начальный период аварИи в окружающей среде имелось огромное количество летучих и биохимически активных радиоизотопов йода и теллура. Иод легко присоединяется к любым белкам, попадая в организм с вдыхаемым возду. хом и пищей (молоком, огородной зеленью и др.)

Из легких и желудочно-кишечного тракта с кровью он переносится по всем органам и тканям. Но уже через несколько часов значительная его часть (40— 45 %) оказывается в щитовидной железе, где идет образование гормонов, контролирующих рост и дифференцировку тканей, обмен веществ, состояние нервной системы и осуществляются многие другие важнейшие функции. В природе йода немного, и в щитовидной железе не предусмотрен «ограничитель» на этот элемент: она захватывает то, что имеется. С радиоактивной струей выделилось около десятка радиоизотопов йода. Самого долгоживущего из них — йода-129 — выброшено слишком мало, чтобы его нужно было

учитывать, большинство других распались в первые часы. Иод-131 с периодом полураспада 8,05 дня явился источником опасности не только в близлежащих республиках, но и во многих странах Центральной Европы. Период йодной опасности продолжался около 2 месяцев. Облучение получили многие тысячи людей.

Реальную опасность представлял и теллур-132. При распаде этот изотоп образует радиоактивный йод-132, который попадает в щитовидную железу.

Чтобы уменьшить опасность йодного облучения, надо до отказа «набить» железу сравнительно безвредным стабильным йодом. Из-за быстрого депонирования йода эта процедура через 6 часов после появления радиоактивности в воздухе эффективна всего на 50 %, а через сутки практически бесполезна.

Йодная профилактика проводилась в Польше, Австрии и ряде других стран сразу после поступления информации об аварии. В зоне, примыкающей к Чернобылю, она не проводилась или проведена лишь на 6 — 10-е сутки, что явилось причиной облучения и развившихся в дальнейшем многих патологий щитовидной железы.

ПЭ Облучение железы в дозе больше 50 Зв у взрослых может вызвать опухоли через 20—25 лет, у детей — через 10 лет после воздействия радиации.

В настоящее время в зонах загрязнения уже заметен устойчивый рост патологий и раковых заболеваний щитовидной железы у детей.

Из организма йод выводится главным образом через почки, причем три четверти — в среднем за двое суток. В настоящее время йод-131 полностью распался, так что определяемый им вклад в облучение — это доза первых месяцев аварии.

Как и кальций, его высокотоксичный радиоактивный близнец стронций-90 поступает через кишечную стенку и избирательно накапливается в костной ткани, разрушая опорно-двигательный аппарат, поражает костный мозг — регулятор системы кроветворения.

Стронций-90 выпал в основном на юге Гомельской области. В биосферу его попало меньше, чем цезиевых изотопов, но он очень медленно выводится из организма.

Общее содержание стронция-90 в организме при длительном поступлении с пищей постоянно растет, и его вклад в облучение становится все более весомым. Напомним, что в первый год свой вклад в дозу внес короткоживущий стронций-89 (период полураспада — 50,5 дня), которого выброшено значительно больше, чем стронция-90. Беспокойство вызывает отсутствие радиометрического контроля этого изотопа, не позволяющего прогнозировать ожидаемые от него последствия.

Вследствие очень большого выброса длительного полураспада и высокой биохимической активности радиоактивный цезий является основным дозирующим изотопом в настоящее время, у-кванты цезия-137 и -134 формируют дозу и облучения человека. Внутреннее облучение и также электронами при бета-распаде обусловлено поступлением цезия с пищей (в загрязненных зонах и с вдыхаемой пылью). В организме человека цезий быстро проникает в кровь и равномерно распределяется по всем органам и тканям. Большинство этой радиоактивности попадает в мышцы. Выводится цезий через почки и желудочно-кишечный тракт в соотношении 4:1, при этом половина поступившей радиоактивности у взрослых выводится за 80—170 дней (у детей вдвое быстрее). Если бы цезиевые изотопы проникли в организм однократно в начальный момент аварии, уже тогда можно было бы говорить об очищении от этих радионуклидов. Но они поступают с пищевыми продуктами постоянно, и их воздействие зависит от баланса поступления и выведения.

Влияние изотопов плутония и урана изучено еще недостаточно, но известно, что преимущественно они накапливаются в скелете. Опасно их попадание в легкие.

Таким образом, рассматривая внутреннее облучение организма и степень его опасности, необходимо учитывать:

путь поступления радиоактивного вещества (. вдыхаемым воздухом, через желудочно-кишечный тракт или непосредственно в кровь через кожу, царапины и порезы);

распределение радиоактивности в теле;

полное количество радиоактивности в каждом теле;

продолжительность и интенсивность поступления;

время выведения и период полураспада;

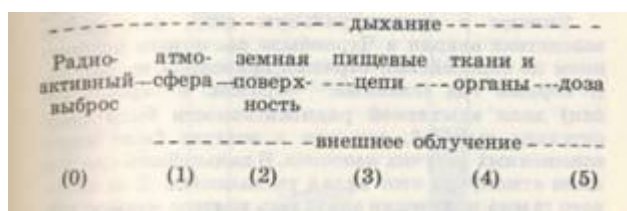
вид излучения и его энергию;

массу облучаемой ткани, которая зависит от проникающей способности излучений и локализация радионуклидов, тканевые коэффициенты и т. д.

Поскольку речь идет не об одном, а о нескольких разных одновременно поступающих изотопах, есть большие трудности в подсчете дозы.

ОЦЕНКА ДОЗ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Если человек оказался на пути радиоактивного облака и не спрятался в укрытии, он облучил всеми излучениями взвешенных в воздухе радионуклидов, а также попавших внутрь с дыханием. Этот вклад в дозу был определяющим для дозы за две недели аварии.



в постоянном проживании на загрязненной местности полученная доза обусловлена как внешним облучением (от выпавших на поверхность земли гамма-излучениями), так и внутренним облучением (от вдыхаемого воздуха, а также от пищи).

организм с воздухом, а также с водой.

расчет индивидуальной дозы делается исходя из схемы:

На каждом этапе долю радиоизотопов, включившихся в дальнейшее преобразование, или величину удельной дозы на каждый беккерель активности, описывают соответствующим коэффициентом перехода (КП). Например, КП₄ (взаимосвязь блоков 3 и 4 схемы) — эквивалентная доза, создаваемая данным изотопом, на каждый беккерель поступившей в организм активности с пищей, а КП₅ — эффективная доза внешнего облучения на единицу поверхностной концентрации радиоактивности.

Коэффициенты перехода получают экспериментально для каждого вида радионуклидов, почвы и производимых на данной местности пищевых продуктов. Они отличаются в разных географических регионах иногда очень сильно. Суммарные индивидуальные дозы, очевидно, тоже могут значительно колебаться не только в зависимости от количества выпавшей радиоактивности, но и от изотопного состава выпадения и особенностей рациона питания. Значения коэффициентов КП₄ для цезия-137 равны:

1. Эффективная экспозиционная дозы — 0,0002 мкР/час на Рн, м (примерно 7 мкР/час, или 0,5 пикоампер/кг ОзУха на 1 Ки/км²); для эффективной дозы от внешнего облучения 0,001 мкЗв/год на 1 Бк/м² (0,35 мЗв/год на 1 Ки/Кма

Еще один полезный производный коэффициент — переход от мощности экспозиционной дозы, измеренной рентгенометром, к эффективной дозе:

каждый мкР/ч при постоянной экспозиции соя дает дозу 0,05 мЗв/год.

Что касается коэффициентов КП[^], КПз4, относящихся к дозе внутреннего облучения от загрязненных продуктов питания, то они еще сильнее зависят от типа почв, растительности, рациона питания

Вклады в индивидуальную дозу, полученную вследствие аварии в Чернобыле расчетным усреднением по европейским странам, приведены на рис. 34 В первый год (главным образом, в первый месяц) доля вдыхаемой радиоактивности была относительно высокой, так как в воздухе было много взвешенных летучих изотопов. В дальнейшем с очищением атмосферы этот вклад уменьшился. Доза внешнего гамма-излучения оказалась в пять раз меньше той, что обусловлена внутренним поступлением радионуклидов с пищей и водой.

Благодаря энергичным мерам, ограничившим торговлю загрязненными продуктами питания, в странах Европы удалось уравнивать дозы внутреннего и внешнего облучения уже через несколько месяцев после аварии, при меньшем абсолютном значении.

Если воспользоваться приведенными выше коэффициентами перехода, можно подсчитать дозу внешнего облучения, которую получает житель загрязненной местности.

Таблица 20

Поверхностная загрязненность		Мощность эквивалентной дозы, мкР/ч	Эффективная эквивалентная доза, мЗв/год
Кк/км ²	кБк/м ²		
5	185	35	1,75
15	555	105	5,25
30	1110	210	10,5
40	1480	280	14,0
60	2220	420	21,0
100	3700	700	35,0

Зависимость эффективной дозы внешнего облучения от уровня загрязненности цезием-137 показана на в табл. 20.

Доза внутреннего облучения зависит от того какие продукты используются для питания. Если в какой-то местности пользоваться

среднеевропейскими коэффициентами перехода и средними нормами питания (молоко — 332 кг, хлеб и крупы — 133, листовые овощи 337, корнеплоды и фрукты — 118, мясо — 63 кг в год), то доза внутреннего поступления цезия-137 составит для местности с поверхностным загрязнением 185 кБк/м² — 3,35 мЗв/год; с загрязнением 1480 кБк/м² — 26,5 мЗв/год, т. е. намного больше внешнего облучения.

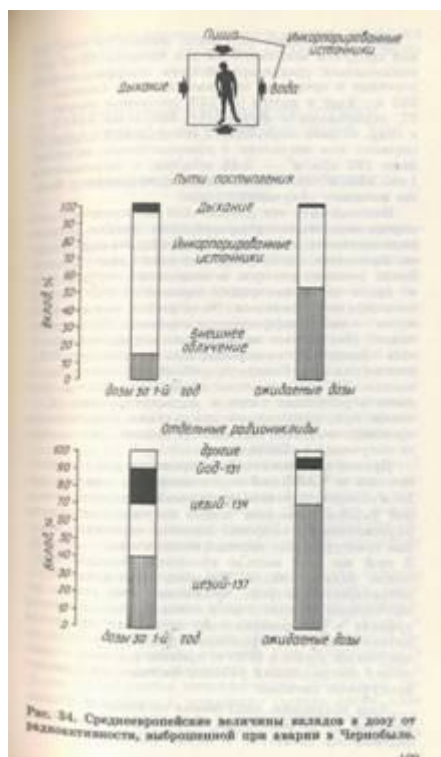


Рис. 34. Среднеевропейские вкладные вклады в дозу от радиоактивности, выброшенной при аварии в Чернобыле.

Использовать эти данные для непосредственного определения индивидуальной дозы исходя из карт радиоактивной загрязненности было бы опрострачиво. Во-первых, опубликованные карты сильно усреднены, реально участки в нескольких метрах друг от друга по концентрации выпавшего цезия могут многократно отличаться. Во-вторых, в каждой местности — свои коэффициенты перехода. Экспериментально установлено на основании изучения глобальных выпадений от термоядерных взрывов, что КЦ, для легких почв Беларуси, особенно в Полесье, очень высоки. По этой причине содержание радиоактивности в растениях выше и доля внутреннего облучения при использовании продуктами собственного производства может намного превышать дозу внешнего облучения у-квантами.

Другая особенность формирования доз в преобладающих к ЧАЭС районах состоит в характере радионуклидного состава выпадений. В страны Западной Европы вынесены только летучие компоненты радиоактивного выброса: изотопы

стронция, тяжелые трансураниевые изотопы выпали в ближней зоне. В этой же зоне, выпало абсолютно большее количество радионуклидов. Наконец, отсутствие радиометрического контроля, продолжавшееся сельскохозяйственное производство в пятнах радиоактивности привели к распространению «грязных» продуктов питания по всей территории республики и за «пределами». Лишь в 1989 г. принято решение о снабжении пострадавших районов чистыми привозным* продуктами питания.

Доза облучения, получаемая населением, проз* вающим на загрязненных территориях, зависит содержания цезия-137 в почве как основного и зующего нуклида. Принято считать, что вклад 3° в общую дозу облучения составляет не менее

МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

О том, что ионизирующая радиация при «неуважительном» обращении с ней становится грозным врагом, стало известно сразу же после открытия явления радиоактивности и рентгеновских лучей. Даже в условиях мирного времени человечество заплатило достаточно дорогую цену за это открытие. За прошедшие после открытия годы лучевая болезнь унесла не одну сотню человеческих жизней. Несравнимо страшнее военное использование атома. Об этом свидетельствуют бомбардировки японских мирных городов Хиросимы и Нагасаки.

Какие же эффекты могут развиваться в организме человека под влиянием ионизирующей радиации и каковы последствия для населения катастрофы на Чернобыльской АЭС?

Прежде всего читателю необходимо представить себе в целом формы ответственной реакции человека на действие ионизирующей радиации в широком диапазоне доз воздействия. Понять это можно, ознакомившись с классификацией радиационных эффектов, проявляющихся в облученном организме (рис. 35).

Поясняя эту схему, следует сказать, что тяжесть и частота так называемых нестохастических изменений зависит от дозы облучения. После однократного общего облучения в дозе 1,0 Зв и более в °рганизме развиваются признаки острой лучевой бо-езни разной степени тяжести. При хроническом в ечение ряда лет облучении в дозе 0,5 Зв в год и °лее наблюдаются специфические проявления лу-ввого воздействия: изменение состава крови, сни-ение иммунитета и т. д. При интенсивности хро-ческого воздействия больше 0,1 Зв в год через несколько лет у отдельных людей могут появиться признаки снижения сопротивляемости организма инфекции, изменения деятельности сердечно-сосуд»11 той системы и др. Все эти изменения относят нестохастическим эффектам, тяжесть их проявлени11 усиливается у чувствительных к воздействию г диации лиц. У них клинические проявления) болевания развиваются при более низкой дозе обду- чения, чем у менее чувствительных.

После аварии на АЭС нестохастические эффек. ты развиваются в любом органе или ткани. При общем облучении человека в относительно высоких дозах появляются тошнота, рвота и понос. При более высоких дозах облучения гибель клеток костного мозга может явиться причиной смерти. Летальным исходом заканчивается и вдыхание больших количеств радиоактивных нуклидов. Воздействие больших доз облучения на желудочно-кишечный тракт и щитовидную железу также заканчивается смертельным исходом. При небольших дозах отмечается лишь ухудшение деятельности этих органов, а также нарушения оплодотворения, повреждения кожи, появляются катаракты.

При внешнем облучении в достаточно высоких дозах развивающегося плода в чреве матери наблюдаются врожденные уродства, умственная отсталость, задержка роста, смертельный исход. В то же время риск, обусловленный заглатыванием радиоiodа, возникает только тогда, когда щитовидная железа у плода достаточно развита, чтобы

Таблица 21

Доза, (Зв)	Орган, ткань	Эффект
0,1	плод	врожденные уродства
0,5	все тело	рвота
1	все тело	ранняя смерть
3	гонады	стерильность
3	кожа	выпадение волосяного покрова, эритема

112

накапливать йод.

Установлены уровни доз, ниже которых нестохастические эффекты в нормальных популяциях не встречаются (табл. 21). За исключением плода тяжелые заболевания и ранняя смертность обусловлены высокой дозой, соответствующей аварийным ситуациям.

Доза, (Зв)	Орган, ткань	Эффект	Окончание
5	Хрусталик глаза	Катаракта	
5	Легкое	Пневмония	
10	Легкое	Ранняя смертность	
10	Щитовидная железа	Гипотиреоз	

Для иных, названных стохастическими, изменений характерно отсутствие зависимости от дозы облучения. С увеличением ее величины повышается лишь частота возникновения нарушений.

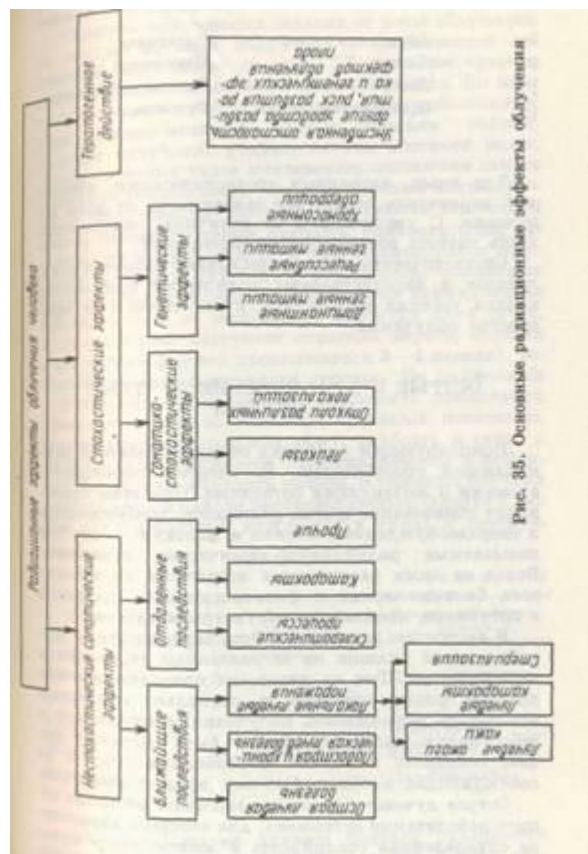


Рис. 35. Основные радиационные эффекты облучения

ОСТРЫЕ И ХРОНИЧЕСКИЕ ЛУЧЕВЫЕ ПОРАЖЕНИЯ

Ионизирующая радиация обладает высокой проникающей способностью. Ее энергия поглощается атомами и молекулами организма. При этом происходит образование ионов, радикалов, возбужденных и сверхвозбужденных атомов и молекул — это так называемые радиационно-химические изменения. Вслед за ними развиваются вторичные нарушения всех биохимических и физиологических процессов в организме, появляются структурные сдвиги.

В настоящее время опасность возникновения острой лучевой болезни на загрязненных территориях маловероятна. Тем не менее мы приводим в очень краткой форме описание ее, поскольку полностью исключить возможность облучения, приводящего *

заболеванию, нельзя. Она может быть вызвана у людей, попавших в сильно загрязненную зону и ее соблюдающих необходимых мер предосторожности'

Острое лучевое поражение вызывает развитие острого заболевания организма, для которого характерна определенная стадийность и многообразие проявлений. В типичных случаях в течение лучевой болезни

выделяют 4 периода: период общей первичной болезни, скрытый период, период разгара болезни, восстановления.

Характер заболевания зависит от дозы облучения, мощности, вида излучения и особенностей организма. Как видно из табл. 22, наиболее существенным фактором является доза облучения. По мере ее увеличения происходит утяжеление заболевания. При костно-мозговой форме болезни ионизирующее излучение убивает клетки костного мозга, лимфатических узлов и селезенки, лишая тем самым организм возможности обновлять зрелые клетки крови. У облученного человека появляются тошнота и рвота, головокружение, слабость, головная боль, вялость, сонливость. Часто в этот период люди ощущают жажду и сухость во рту. Иногда возникают боли в области сердца и живота. Этот период может продолжаться от нескольких часов до 3—4 суток. В дальнейшем наступает скрытый период болезни (при легких формах продолжается 3—4 недели), который сменяется периодом разгара. Он начинается с ухудшения самочувствия больного: появляются кровотечения из-за нехватки кровяных пластинок, безучастность к окружающему, слабость в связи с малокровием, снижается сопротивляемость к инфекции. Начинают выпадать волосы. В тяжелых случаях к концу второй недели наступает смерть. Однако в любом случае больной нуждается в уходе и лечении.

Таблица 22

Доза облучения, Зв	Тяжесть заболевания	Клинические формы болезни
1—2,5	1—легкая	
2,5—4	2—средняя	Костно-мозговая
4—6	3—тяжелая	
6—10		Переходная
10—80	4—крайне тяжелая	Кишечная
Более 80		Церебральная

Кишечная форма лучевой болезни развивается после облучения в дозе 10 Зв и выше. В этом случае наступают признаки нарушения деятельности кишечника.

115

Кишечная форма лучевой болезни развивается после облучения в дозе 10 Зв и выше. В этом случае наступают признаки нарушения деятельности кишечника. У пораженных развивается воспаление слизистой желудка, толстого и тонкого кишечника и патологический процесс начинается уже в первые часы после облучения. Клинически он проявляется многократной неукротимой рвотой, болями в животе, поносом, выраженной

головной болью. Температура тела повышается до 38—39° С, развивается покраснение кожи, желтушность склер, понижается артериальное давление, возрастает число сердечных сокращений. Больные обычно погибают в конце первой — начале второй недели.

Доза общего облучения, равная 80—100 Зв, приводит к смерти в первые 3 суток. У таких людей появляется неукротимая рвота, понос, возможно резкое падение артериального давления, в дальнейшем наступают затемнение сознания, потеря ориентации, судороги и, наконец, нарушение дыхания. Такая форма лучевой болезни называется церебральной. Однако непосредственной причиной смерти является не поражение центральной нервной системы, а увеличение содержания жидкости в головном мозгу вследствие ее выхода из кровеносных сосудов и повышение внутричерепного давления.

Длительное облучение организма малыми дозами приводит к развитию хронической лучевой болезни. Она развивается при суммарных дозах 0,7—1,0 Зв и мощности излучения 1—5 мЗв за одни сутки. Облучение может быть общим либо местным. Описаны многочисленные случаи лучевой болезни при внешнем и внутреннем облучении. Другой

вариант заболевания может быть вызван радионуклидами, избирательно распределившимися по органам и тканям, а также местным внешним облучением.

Условно выделяют три степени заболевания: легкая, средняя и тяжелая хроническая лучевая болезнь. Признаки ее, в отличие от острого поражения, растянуты по времени. Они связаны с повреждением радионуклидами отдельных органов и тканей и не так четко проявляются, как при острой болезни. В основе развития лучевой болезни лежат следующие явления:

перенос энергии;

радиолиз воды и образование свободных радикалов;

структурные изменения нуклеиновых кислот, белков, жиров и углеводов; изменение энергетических процессов в клетках; нарушение обмена нуклеиновых кислот, белков, жиров и углеводов;

возникновение дефектов либо образование морфологических изменений в клетках, завершающиеся их гибелью.

До степени выраженности морфологических изменений под влиянием внешнего облучения внутренние органы можно расположить в такой последовательности:

органы кроветворения (костный мозг, селезенка, лимфатические железы); половые железы;

слизистые оболочки, слюнные, потовые и сальные железы, волосяные сосочки, эпидермис; желудочно-кишечный тракт; печень;

органы дыхания;

железы внутренней секреции (надпочечники, гипофиз, щитовидная железа, островки поджелудочной железы, паращитовидная железа); органы выделения; мышечная и соединительная ткань; костная и хрящевая ткань; нервная ткань.

Повреждение этих органов нельзя рассматривать только как результат непосредственного воздействия радиации на них. Существенную роль в этих изменениях могут играть вторичные изменения в организме, вызванные ионизирующим излучением: токсемия, нарушения иммунных реакций, нервной и гормональной регуляции.

К локальным лучевым повреждениям относятся лучевые ожоги кожи, помутнение хрусталика (лучевая катаракта), выпадение волос (эпиляция), стерилизация и другие.

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Эффективная эквивалентная доза — объективно мый подходящий показатель опасности радиационного воздействия. Но даже одна и та же индивидуальная доза в каждом конкретном случае по-разному переносится: крепкий здоровый человек способен перенести довольно высокую лучевую нагрузку, в то время как ослабленный организм, в котором восстановительные процессы идут плохо, может заболеть. Тем не менее вероятность (риск) наступления неблагоприятных последствий для здоровья облученных всегда выше, причем он растет увеличением полученной дозы. Факторы риска представляют собой усредненные величины для всех возрастных групп населения без учета пола, они основаны на предположении о линейной зависимости доза-эффект (беспороговая кривая) и относятся только к видам рака, вызывающим смерть. Эти факторы для определенных органов зависят от возраста, пола и, следовательно, приводят к завышению или занижению уровня риска. В связи с тем, что они не учитывают несмертельные виды рака — рак щитовидной железы, кожи, они могут занижать оценку суммарного риска рака. В связи с этим коэффициенты риска рассматриваются как приблизительные величины. Установление величины риска — важнейшая задача радиобиологии (табл. 23).

Таблица 23

Вид риска	Величина риска
Рак и сердечно-сосудистые заболевания	10^2
Курение (20 сигарет в день)	
Бронхит, грипп	10^4
Убийства	
Угольные шахты	
Автокатастрофы (население)	
Аварии на ж.-д. транспорте (профессионалы)	
Лейкемия, туберкулез	
Авиакатастрофы (профессионалы)	
Альпинизм	

18

Окончание

Вид риска	Величина риска
Естественная радиация	10^5
Сжигание органического топлива (население)	10^4
Аварии на ж. д. (население)	
Наводнения	
Торнадо	
Землетрясение	
Варьсы сосудов давления	10^2
Прорыв дамбы	
Поражение молнией	
Высотные полеты (радиация)	10^3
Радиация (население вблизи АЭС)	
Радиация от АЭС (население в целом)	10^3
Цветной телевизор (радиация)	
Космическая радиация	10^{10}
Падение метеорита	10^{11}

Радиобиологи предпочитают иметь дело с надежно установленными фактами. Хорошо изучены острые лучевые поражения. Они проявляются быстро, так что их связь с переоблучением не вызывает сомнений. Гораздо труднее выявить последствия при облучении малыми дозами. Но даже если эти эффекты выявлены, нужно еще доказать, что они вызваны радиацией, а не другими причинами. Дело в том, что как таковых радиационных заболеваний не существует. Можно говорить лишь о том, что излучения стимулируют увеличение количества некоторых из распространенных болезней. Мы уже говорили о высокой уязвимости красного костного мозга. Он вырабатывает лейкоциты, недостаток которых ослабляет иммунную защиту организма может привести к общему ослаблению органа и повышенной восприимчивости к любым инфекциям. Оценить риск возникновения заболевания можно наблюдая большой контингент людей (табл. 24). Минимальные размеры популяции для оценок влияния различных доз облучения на развитие болезни представлены в табл. 24.

Таблица 24

Доза, полученная от рождения до 34 лет, Зв	Количество человеко-лет (возраст 35—44 г.)
0,05	$6 \cdot 10^5$
0,10	$1,6 \cdot 10^6$
0,15	$7,5 \cdot 10^5$
0,20	$5,0 \cdot 10^5$
0,50	10^5
1,00	$3,0 \cdot 10^4$
2,00	10^4

Трудность диагностики пострadiационных нарушений можно объяснить тем, что действие малых доз проникающей радиации на человека менее всего изучено. Остается неясным прежде всего, что принимать за малые дозы. А. М. Кузин считает, что это дозы облучения ниже 0,1 Зв, другие исследователи относят к ним дозы ниже 0,04—0,05 Зв/год, третьи считают, что малые дозы колеблются от 10^{-4} Зв для рентгеновских и гамма-лучей до 10—2 Зв для нейтронов и 1 Зв для альфа-облучений. Реальным же

биологическим порогом действия ионизирующего излучения является доза $0,25—0,3$ Зв. Данные, полученные в опытах на животных, показывают, что облучение их дозой 0,01 Зв уже приводит к повышению в крови содержания лейкоцитов. Увеличение этой дозы в 5 раз снижает число лимфоцитов и угнетает функцию кроветворных органов. Одновременно с этим в ядрах клеток появляются хромосомные aberrации. Они могут являться не только в кроветворных, но и в других клетках организма человека и подопытных животных.

Количество некоторых видов хромосомных aberrаций зависит как от дозы облучения, так и от его периода (так называемой мощности дозы). Частота повреждений удваивается при дозах, близких к 0,1—1,0 Зв. Единичные поврежденные клетки способны размножиться и даже

дать начало раз-1(11 jq злокачественной опухоли, что возможно на фо-вйТподавленной иммунной системы. Именно такое 116 яство генетического аппарата клеток отвечать на ^йлучение позволило разработать цитогенетический етод дозиметрии. Этот метод дает возможность об-"яружить облучение организма, начиная с 0,05 Зв. Наличие хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови выявляется даже после рентгеновского облучения больных людей. Использование рентгеновских лучей для лечения некоторых болезней человека оказывает еще более выраженное мутагенное воздействие — приводит к образованию стабильных хромосомных aberrаций. Поскольку эти изменения сохраняются длительно, они могут быть причиной возникновения различных отдаленных нарушений. К таким отдаленным последствиям можно отнести прежде всего иммунологические сдвиги, ведущие к снижению сопротивляемости организма и появлению различных заболеваний. Снижение большинства иммунологических показателей, в том числе и способности сыворотки крови уничтожать бактерии, можно обнаружить после облучения животных дозами 0,15—0,25 Зв. При этом угнетается образование Т- и В-лимфоцитов, моноцитов и стволовых клеток, активизируется функция клеток-супрессоров. В этих клетках накапливаются пострадиационные генетические нарушения, которые приводят к развитию функциональной неполноценности иммунной системы. Поврежденные радиацией иммунные клетки теряют способность взаимодействию, а Т-лимфоциты — к перемещению в лимфоузлы. В лимфоцитах селезенки изме-яется строение ядер, цитоплазмы и других кле-чных структур (митохондрий), нарушаются функ-°Нальные свойства мембран эритроцитов, снижает-Чв ^Р°вень их электрического потенциала, увели-ве ется поток калия из клетки. Особенно существ-3bI Ное влияние облучения в дозе 0,5—1,0 Зв ока-5^ на эндокринную систему млекопитающих: ^ организма теряют чувствительность к воздействию гормонов. Этот эффект зависит от облучения и сохраняется длительно. 3f<

Чувствительными к облучению являются та клетки печени и сердца. В них тормозятся ^ менные процессы, протекающие с участием ка °^ рода, происходит разрастание соединительной тка^ лимфоцитарная инфильтрация, застой крови в со!" дах и др. В печени, сердце, эндокринных желеЗаУ появляются мелкоочаговые некротические изме * ния, увеличивается проницаемость клеточных мем^ ран, повреждается хроматин метохондрий.

Настораживают также данные о существенных на рушениях после облучения в структурах головного мозга. Они свидетельствуют о дискоординации взаи-моотношений в центрах регуляции вегетативных функций организма, особенно гипоталамо-гипофизарной системы.

От радиации может пострадать зрение. Это выражается в появлении катаракт (как правило, не ера зу, а через несколько лет), которые ухудшают зрение, а иногда ведут к слепоте.

Крайне чувствительны к облучению делящиеся клетки. По этой причине воздействие радиации на развивающийся плод или на растущий детский ор ганизм особенно опасно. Влияние облучения на плод может привести к рождению неполноценного ребен ка, причем самый неблагоприятный период — 8-15-я неделя беременности, когда происходит закладка органов будущего человека. По этой же причине не рекомендуют проводить рентгеновское обследование молодым женщинам, особенно органов брюш ной полости и таза начиная с 10-го дня после менструации. Это так называемое «правило десяти дней», поскольку спустя этот срок нельзя с уверенностью утверждать, что нет беременности. В том случае если доза, полученная эмбрионом в течение первых 6 не дель после зачатия, превышает дозу 0,1 Гр, следУй рекомендовать прерывание беременности. ,

Из отдаленных беспороговых, стохастических ЭФ фектов надежнее всего установлена связь раДиа., й с появлением рака, генетических повреждении сокращением продолжительности жизни.

В США длительное время находятся под набл дением почти 930 тыс. человек, получивших с1С<!/1]. нибудь значительные (выше 1 Зв) дозы: жители *хиросимЫ и Нагасаки, военные наблюдатели испы-Р°тельных полигонов, шахтеры урановых рудников, таселение вокруг ядерных полигонов, пациенты ра-йотерапевтических клиник, врачи-радиологи, моря-^ атомных подлодок, работники атомных электро-К андий. Это позволило количественно оценить риск С «изолированных радиацией заболеваний. С Номинальные коэффициенты вероятности для стохастических эффектов даны в табл. 25.

Оказалось, что на первом месте в группе раковых



Таблица 25

Биологический эффект	Облученная популяция	Коэффициент вероятности (10^{-2} Зв^{-1})
Летальный рак	Профессионалы	4,0
	Все население	5,0
Серьезные наследственные эффекты	Профессионалы	0,6
	Все население	1,0

заболеваний, вызванных облучением, стоят лейкозы, пик которых в зависимости от возраста приходится на 5—7 лет, а иногда и позже после воздействия дозы (рис. 36). Позднее может возникнуть рак молочной и щитовидной желез, легких и других органов. Длительное наблюдение жертв атомной бомбардировки японских городов показало, что риск радиационного рака со смертельным исходом колеблется от 4,5 до 7,1% на каждый зиверт дозы. Если принять эту величину, то число дополнительных смертельных исходов от раковых заболеваний вследствие аварии в Чернобыле, рассчитанное по Формуле, составит:

(риск) X (коллективная доза) = (0,045—0,071)X(1200 000 чел.·Зв) = 54000—85200 Человек (около половины из них в загрязненных Районах Республики Беларусь).

Пока нельзя уверенно сказать, насколько пра-в°мерен такой простой расчет. Как видно из рис. 37, еличина риска достоверно установлена для доз выше >& Зв, а коллективная доза включает и людей, °лучивших меньшие дозы, для которых риск опре-Лен экстраполяцией (продлением экспериментальной зависимости). В любом случае выявить такое случаев не так просто, ибо по статистике 20% всех людей, в конце концов, умиеи от рака.

Риск генетических повреждении в первых двух лениях (врожденные уродства, умственная не-110 ноценность), по-видимому, несколько ниже — око-11 40% от Риска рака, хотя надежность этой оценки л елика. Этот вид радиационных последствий в основном изучался на животных с меньшей продол-жительностью жизни и более частой сменой поко-ений. История радиобиологии еще не настолько длительна, чтобы с уверенностью дать цифровую оценку данного явления для человека. Еще труднее определить отрицательное влияние радиации на общую продолжительность жизни, хотя сам факт такого влияния установлен. Считается, что, если бы вся доза естественного облучения, накопленная за 70 лет, подействовала на человека сразу, это бы уменьшило продолжительность жизни примерно на 2 месяца. По мнению большинства радиобиологов, сокращение продолжительности человеческой жизни происходит в

Таблица 26

Причина	Сокращение продолжительности жизни (сут.)
Холодная жизнь мужчин	3500
Курение сигарет (мужчины)	2250
Болезни сердца	2100
Незамужняя жизнь женщины	1600
Превышение веса на 30 %	1300
Работа в угольных шахтах	1100
Злокачественные опухоли	980
Превышение веса на 20 %	900
Низкий образовательный уровень (ниже 8 классов)	850
Курение сигарет (женщины)	800

195

Причина	Окончание
	Сокращение продолжительности жизни, (сут)
Несчастные случаи с огнестрельным оружием	11
Естественная радиация	8
Медицинская рентгеновская диагностика	6
Отравляющие газы	7
Потребление кофе	6
Применение противозачаточных средств	5
Несчастные случаи на велосипедах	5
Природные катастрофы	3,5
Потребление жидкости	2
Аварии на АЭС (по данным Антиядерного общества обеспокоенных ученых)	2
Аварии на АЭС (по данным Комиссии по ядерному регулированию США)	0,2
Радиационное воздействие ядерной энергетики	0,2

пределах 0,2—2,0 дня на каждый миллизверт. Оценочные расчеты сокращения продолжительности жизни в США вследствие различных причин даны в табл. 26.

Причина	Сокращение продолжительности жизни (сут)
Низкий социальный экономический уровень	700
Паралич	520
Проживание в «неудачном» районе страны	500
Служба в армии во Вьетнаме	400
Курение сигарет	330
Опасная работа	300
Курение трубки	220
Потребление с пищей более 100 излишних калорий в день	210
Автомобильные аварии	207
Пневмония/грипп	141
Потребление алкоголя (среднее для США)	130
Несчастные случаи дома	95
Самоубийство	95
Диабет	95
Убийство	90
Неправильное употребление лекарств, обладающих наркотическими свойствами	90
Несчастные случаи на работе	74
Употребление снотворного	41
Работа с источниками радиации	40
Падения	39
Несчастные случаи с пешеходами	37
Несчастные случаи на самой «безопасной» работе	30
Пожары	27
Производство энергии	24
Потребление наркотиков (в среднем по США)	18
Отравление ядами	17
Удушение	13

126

С увеличением дозы облучения всегда растет и риск радиационных последствий. Такие же результаты получаются у генетиков: чем больше доза, тем больше мутаций (изменений) происходит в жизненно важных молекулах, причем их удвоение наблюдается в диапазоне от 0,1 до 1 Зв. Ожидается от "" До 347 случаев появления серьезных наследственных аномалий на миллион новорожденных потомков при дозе 10 мЗв. Генетические эффекты от °действия ионизирующих излучений даже при крат-°временном воздействии не исчерпываются в первом °ложении, а сказываются в течение многих поколений.

1982 г. для оценки генетического ущерба пред-ни*ено использовать показатели неполноценной жизни Ре^ывание в больницах и т. д.) и сокраще-Ге е пР°Должительности жизни. При дозе в 350 мЗв jj етический ущерб в первом поколении на 1 млн. °Рожденных составит 39 — 247 тыс. лет неполноценной жизни и 46—358 тыс. лет сокращения про должительности жизни. Из-за статистического раз броса в области очень малых доз результаты становятся ненадежными.

По указанным причинам можно лишь гадать, как в действительности изменяется доза-эффект. Несколько таких зависимостей по разным гипотезам показано на рис. 38. Одни ученые считают, что при облучении малыми дозами радиационные эффекты почти не возникают (рис. 38, кривая б), т. е. организм имеет некоторый запас устойчивости к

колебаниям фона. Другие полагают, что существует порог действия (рис. 38, кривая в), ниже которого радиация на живой объект не влияет, хотя это эксперт ментально не подтверждено. Третьи придерживаются гипотезы об аномально неблагоприятном действии малых доз (рис. 38, кривая г). Полученные ими результаты до сих пор отвергались как юридически неверные, но теперь к ним снова привлечено внимание. Однако подавляющее большинство ученых придерживается концепции беспорогового действия и не видит причины, по которой ход зависимости доза-эффект при малых дозах должен отклоняться от хорошо подтвержденного известного! диапазона, как это показано на рис. 38, кривая. Если радиобиологическая наука пока не может однозначно ответить на вопрос, как действует такое облучение малой дозой, то еще меньше влияния хронического (длительного) облучения — ведь наряду с повреждениями в облученном идут и восстановительные процессы. Достаточно ли защитных сил, чтобы противостоять по-настоящему, иногда очень существенно, радиационному фону?



Рис. 38. Модели радиационных изменений в организме человека при воздействии малых доз облучения

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Помимо рассмотренных ранее последствий облучения, существенной проблемой для здоровья населения может стать значительное психологическое воздействие. В отличие от ранее описанных факторов, влияющих на здоровье, уровень беспокойства, вызванного возможным

облучением, не связан с уровнем воздействия. Психологический стресс может возникать при низком или даже незначительном уровне излучения. Психологические эффекты могут быть обусловлены недостаточной и часто противоречивой информацией об аварии и неспособностью человека ощутить ионизирующее излучение с помощью органов чувств. Это вполне понятно — человек тревожится за свою жизнь и здоровье. Такой тревоге пытаются приклеить ярлык «радиофобия», что в дословном переводе означает расстройство психического здоровья, появление навязчивого страха радиации. Подобного нельзя допустить, так как это может нанести большой ущерб не только здоровью отдельного человека, но и значительно снизить и без того не всегда энергичные меры по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Для того чтобы диагноз «радиофобия» не подменялся ярлыком, необходима упорная, кропотливая, целенаправленная работа по оценке состояния здоровья населения пострадавших районов с учетом реальных доз, полученных каждым человеком, полнота и достоверная информация о радиационной обстановке в каждом населенном пункте, терпеливое разъяснение характера влияния радиационного фактора на здоровье населения.

ВЛИЯНИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ НА ЗДОРОВЬЕ

Выделить радиационную составляющую влияния на человеческий организм чрезвычайно трудно в ряду причин. Продолжавшееся в течение четырех лет производство сельскохозяйственной продукции в пятнах радиоактивных выпадений и отсутствие радиометрического контроля привели к распространению загрязненных продуктов питания по всей республике и способствовали увеличению коллективной дозы за счет внутреннего облучения. Это обстоятельство позволяет провести анализ, поскольку нельзя найти контрольную группу, чтобы быть уверенным, что включенные в нее люди подверглись влиянию осколочных продуктов чернобыльского выброса. На состояние здоровья,

несомненно, оказала влияние нестабильность социально-экономической ситуации в стране, по времени совпавшая с аварией.

Медицинская статистика в СССР была закрытой, особенно по смертности и раковым заболеваниям. Министерство здравоохранения Беларуси в 1991 г. впервые обобщило данные медицинской статистики по республике, в том числе результаты обследования населения в наиболее пострадавших Гомельской и Могилевской областях (Казиков В. С, Матюхин В. А.).

Ухудшение состояния здоровья населения в Беларуси отмечается по всем видам заболеваний, что свидетельствует о неуклонном многолетнем пониженном качестве жизни, питания, критическом состоянии здравоохранения. Прирост населения в 1976, 1985 и 1990 гг. характеризуется значительным его снижением:

Гомельская область: 7,5, 6,9 и 3,0 на 1000 ч

ловек;

Могилевская область: 5,8, 4,8 и 1,6 на 1000 ч

ловек.

Твердо установленным следует считать рост токсикологии щитовидной железы как следствие радиоiodной интоксикации в первые недели аварии. "

ой железы — 1

йодной интоксикации

ко растет число раков щитовидной железы 1986 — 2 случая 19

ко растет число раков щитовидной железы того заболевания: 1986 г. — 2 случая, 1987 г. — 2, 1988 г. — 3, 1989 г. — 6, 1990 г. — 31, 1991 г. * (10 мес.) — 57 случаев. За 5 лет, предшествующих аварии, наблюдалось 7 случаев (за 10 лет -

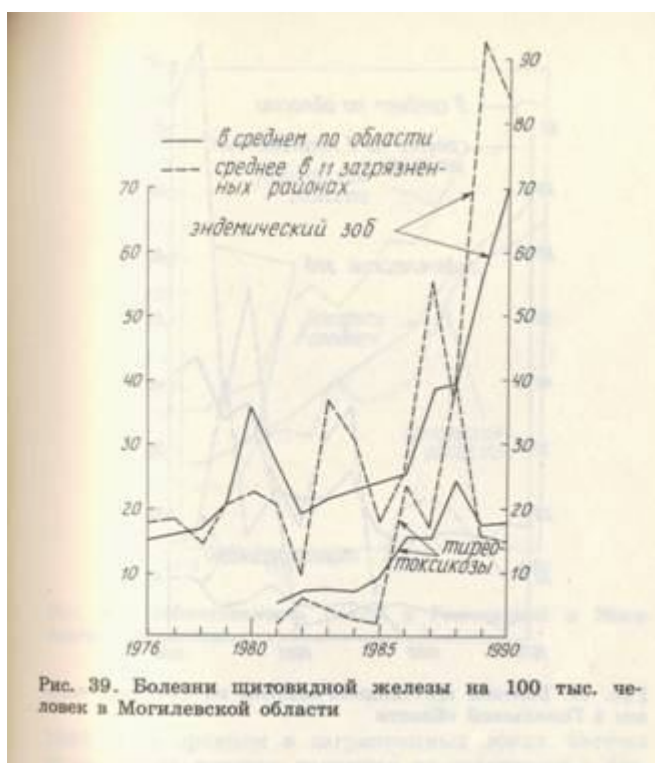


Рис. 39. Болезни щитовидной железы на 100 тыс. человек в Могилевской области

Изменения некоторых других патологий щитовидной железы соответственно в Гомельской и Могилевской областях показаны на рис. 39 и 40. Особенно очевиден рост этих патологий в пострадавших Районах.

Из радиационных стохастических эффектов в первую очередь прогнозируются дополнительные случаи Рака (в первые годы после облучения — рак кро-етворных органов и тканей) и генетические последствия.

а фоне неуклонного роста раковых заболеваний радиационно стимулированный рак в настоящее время выявить невозможно (рис. 41). Однако просматривается тенденция:

рак лимфатической и носной систем в Гомельской и Могилевской областях растет быстрее и в последние годы превышает среднереспубликанские показатели. Для того, чтобы это утверждать с определенностью, необходимо продление временных рядов.

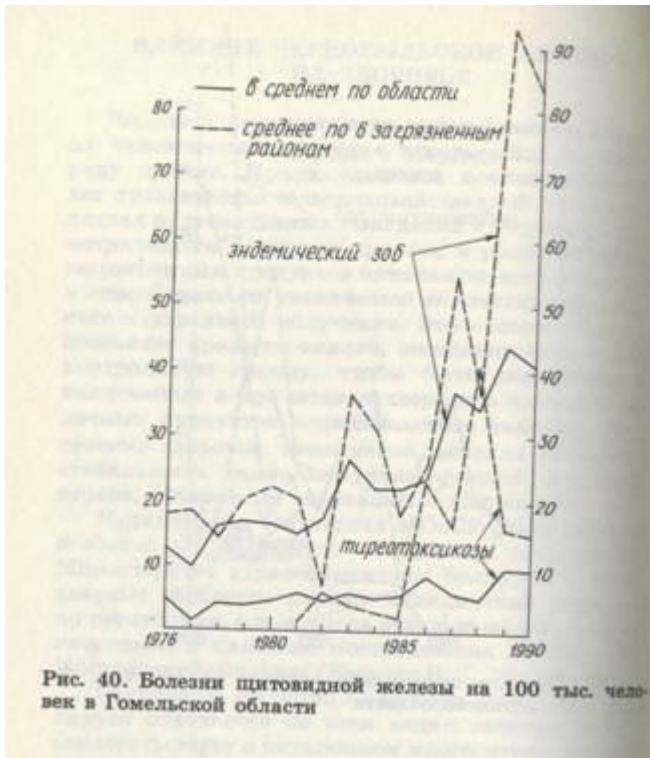


Рис. 40. Болезни щитовидной железы на 100 тыс. человек в Гомельской области

Динамика частоты рождения детей с врожденными пороками развития показала, что в 1987 132

1989 г. в среднем в загрязненных зонах частота врожденных пороков развития по сравнению с до-варийным периодом возросла. Однако такая же тенденция наблюдается и в целом по республике. Не Установлено прямой зависимости между частотой врожденных пороков развития и поглощенными дозами радиации. Предполагается, что в формировании врожденной патологии принимают участие многие факторы внешней среды. Выделение из этого комплекса доли радиационного воздействия пока не представляется возможным.

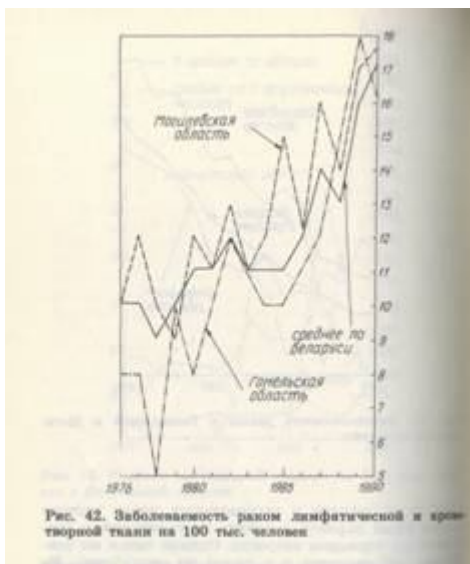


Рис. 42. Заболеваемость раком лимфатической и кроветворной ткани на 100 тыс. человек

на рис. 43, в роятно, только более внимательным обследованием! детей в зонах радиоактивного загрязнения объ(нить нельзя. Остеоартрозы и солевые атропатии, В(и другие патологии костной системы, выросшие пострадавших районах, частично можно объясни

1976

Данные об остром лейкозе у детей и хроническом лимфолейкозе в пострадавших областях приведены на рис. 42. Они не очень надежны, так как* дети с данным заболеванием часто уезжают на я чение в крупные лечебные центры. Пик этого в да рака прогнозируется позже. Тем не менее $p < 0.05$ наблюдается, особенно в районах с выиадением Р8' диоактивных веществ.

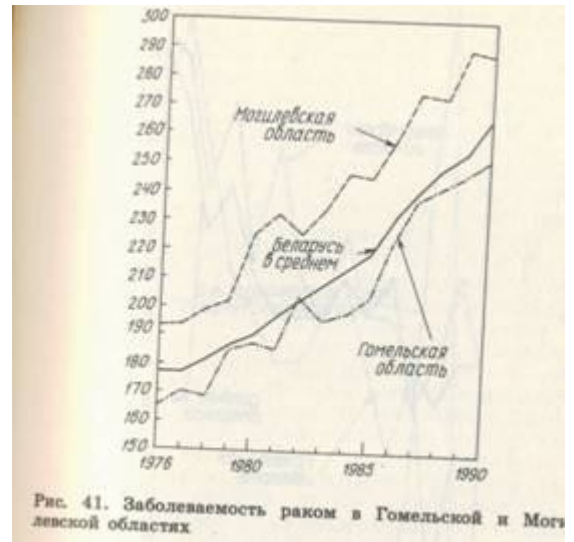


Рис. 41. Заболеваемость раком в Гомельской и Могилевской областях

С 1986 по 1990 г. в загрязненных районах уменьилось число здоровых детей и увеличилось с признаками различных заболеваний. Так, отмечается тенденция к повышению патологии со стороны верхних* Дыхательных путей. Чаще предъявляются жалобы на боли в области живота, выше процент детей с заболеваниями желудочно-кишечного тракта (хронические гастриты), нарушением деятельности поджелудочной железы.

Причину роста некоторых патологий в пострадавших районах действием радиации еще надо до' казать. Как известно, анемии возникают при нарушении кроветворения из-за недостатка некоторых витаминов, железа, токсическом поражении костного мозга и др. Однако зависимость

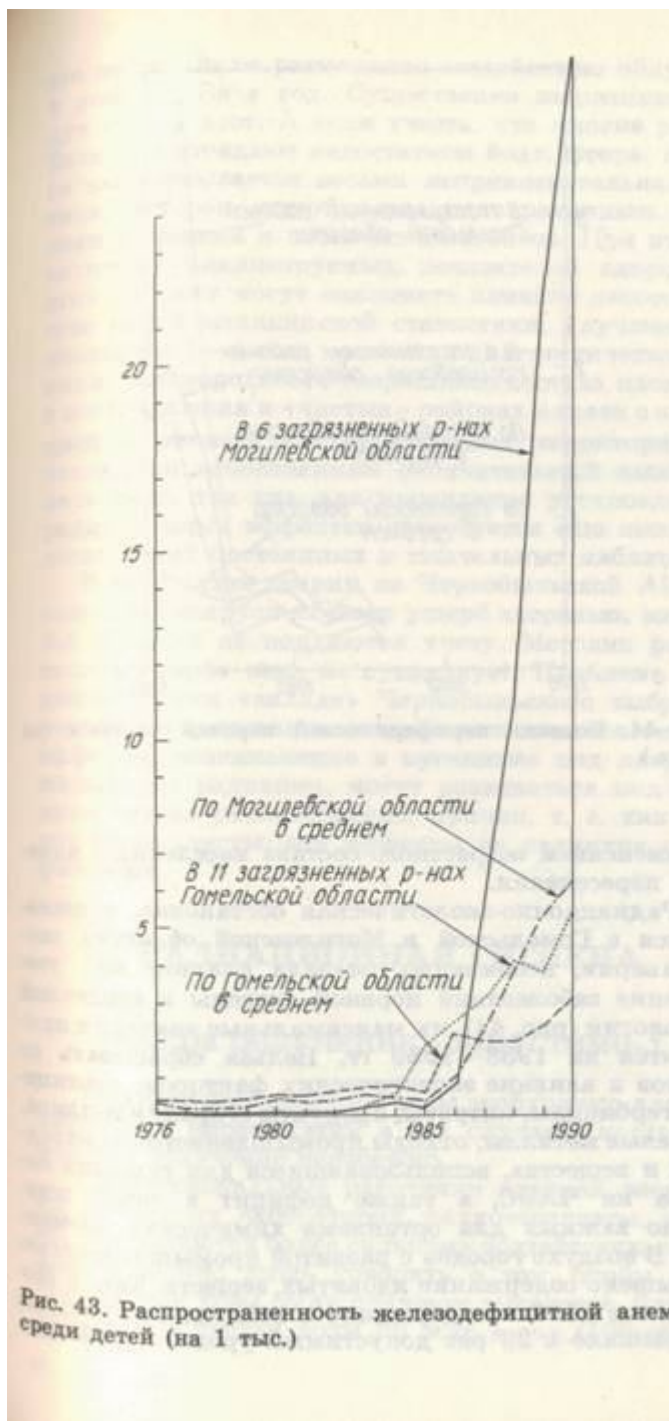


Рис. 43. Распространенность железодефицитной анемией среди детей (на 1 тыс.)

135



Рис. 44. Болезни периферической нервной системы (на 1 тыс.)

и изменением возрастного состава населения с началом переселения.

Радиационно-экологическая обстановка, сложившаяся в Гомельской и Могилевской областях после аварии, несомненно, оказала влияние на увеличение заболеваний нервной системы и сердечной патологии (рис. 44), их максимальные значения приходятся на 1988—1989 гг. Нельзя сбрасывать со счетов и влияние экологических факторов: пестициды, гербициды, нитраты, продукты сгорания топлива, тяжелые металлы, отходы промышленного производства и вещества,

использовавшиеся для тушения пожара на ЧАЭС, а также дефицит в почве яси³» ненно важных для организма химических элементов. В воздухе городов с развитой промышленностью» повышено содержание ядовитых веществ. Так, в Могилеве в 1986 г. содержание в воздухе бензопирена превышало в 29 раз допустимый уровень. Действие на организм равноценно воздействию облучения С дозе 0,1 Зв в год. Существенно загрязняют воз-Вух сера и азот. А если учесть, что многие районы Т5еларУси страдают недостатком йода, фтора, селена, о вырисовывается весьма непривлекательная картина, которая усугубляется одновременным действием радиации и химических агентов. При этом на величину анализируемых показателей здоровья в этих районах могут оказывать влияние несовершенство самой медицинской статистики, улучшение за последние 3—4 года состояния диагностической техники, неоднородность возрастного состава населения в пострадавших и «чистых» районах в связи с эвакуацией и оттоком из загрязненных территорий. По некоторым заболеваниям окончательный вывод делать рано, так как для

проявления установленных радиационных эффектов потребуется еще несколько десятилетий постоянных и тщательных наблюдений. В результате аварии на Чернобыльской АЭС населению Беларуси нанесен ущерб здоровью, масштабы которого не поддаются учету. Методик расчета такого ущерба пока не существует. Проблема правдивой оценки «вклада» Чернобыльского выброса в изменение здоровья населения осложняется тем, что эффекты, возникающие в организме под влиянием малых доз радиации, могут развиваться под влиянием самых разнообразных причин, т. е. как говорят специалисты, эти эффекты не являются специфичными.

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

КАКОЕ ОБЛУЧЕНИЕ «ДОПУСТИМО»?

Установление пределов дозы необходимо для планирования мероприятий в тех случаях, когда над-Фоновое облучение неизбежно.

Профессиональные работники ядерной энергетики, изотопных лабораторий, радиотерапевты, конечно, подвергаются более сильному воздействию радиации, и можно лишь говорить о том, чтобы получаемые ими дозы были слишком высокими. Для них Установлен предел дозы 20 мЗв в год (100 мЗв за 5 лет с тем, чтобы доза не превысила 50 мЗв в бой из этих пяти лет). Если предел превысся, необходимо вмешательство контролирующих органов: отстранение от работы, усиление мер защиты — вплоть до закрытия вредного производства. В обычных условиях на население воздействует лишь радиационный фон местности. Проанализировав радиобиологические данные и заново переоцени последствия атомной бомбардировки японских городов, Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) пришла к выводу, что дополнительное облучение для населения сверх естественного фона дозой 1 мЗв/год опасно и недопустимо.

Почему же для разных категорий людей установлены различные дозовые пределы? Разве их организмы отличаются радиочувствительностью? Дело, конечно, не в этом: профессионалы — взрослые, трудоспособные люди, которые проходят особо жесткий медицинский контроль, находятся под постоянным наблюдением, хорошо знают правила работы с радиоактивными веществами, представляют опасность излучений и обладают всеми специальными средствами защиты. К тому же для них предусмотрены льготы, призванные уменьшить последствия переоблучения. Население же включает в себя людей всех возрастов, в том числе особо чувствительных к радиации — детей, беременных женщин, больных, которым жить при повышенном радиационном фоне противопоказано.

Авария в Чернобыле затронула сотни тысяч людей, значительная часть которых подверглась воздействию доз намного больших, чем это допустимо даже для профессионалов. При этом, как правило, отсутствовали элементарные меры защиты, не проводилась йодная профилактика, не было полноценное дозиметрическое и радиометрическое контроля. Люди отселялись лишь в случае прямой угрозы острому лучевому поражению: при уровне экспозиционной дозы выше 5 мР/час. Территория с величиной Д₀₃ 3—5 мР/час была названа «зоной жесткого контроля». На ней вводились ограничения на употребление местных продуктов питания и контроль за состоянием здоровья, хотя делалось это зачастую формально. Из этой зоны временно (до осени) были отселены только дети и беременные женщины.

Для планирования чрезвычайных мер правительственная комиссия по ликвидации последствий аварии установила для населения временные нормативы; в первый год 100 мЗв, в последующие до 1 января 1990 г. — 30 и 25 мЗв. Исходя из этих пределов дозы, с учетом рациона питания были рассчитаны временные допустимые уровни (ВДУ) концентрации радиоактивности в пищевых продуктах. Бели человек за год употребит в

течение года продукты, отвечающие ВДУ (сколько и каких — это учитывает усредненный сложившийся рацион), он как раз получит предельную на этот год дозу. В приводимой ниже табл. 27 даны также республиканские контрольные уровни (РКУ), действующие в Беларуси с 1990 г. и примерно соответствующие пределу дозы 1 мЗв по изотопам цезия и

Таблица 27

Наименование продукта	1986 г.	1988 г.	1990-1992 (РКУ-90)
Для цезия-137, -134			
Вода питьевая	370	18,5	18,5
Молоко	370	370	185
Молоко сухое	1850	1850	740
Сметана, творог, сыр	3700	370	185
Масло сливочное, молоко сгущенное и концентрированное	7400	1100	370
Мясо (свинина, баранина), птица, рыба, яйца, мясные и рыбные продукты	3700	1850	592
Мясо говяжье, продукты из говядины	3700	2960	592
Жиры растительные и животные, маргарин	7400	370	185
Картофель, овощи, столовая зелень, садовые фрукты и овощи	3700	740	592 185
Хлеб, хлебобродуцкты, крупа, мука, сахар		370	370
Консервы овощные и фруктовые, соки, варенье, мед		740	185
Детское питание		1850	37

139

В связи с этими нормативами проясним вопрос, вызывающий много недоразумений: какие продукты считать «чистыми», какие — недопустимо загрязненными радиоактивными веществами? Агропромышленные ведомства называют «чистой» продукцию, в которой не превышены ВДУ. С этой точки зрения показательна табл. 28, в которой указано, сколько закуплено Госагропромом Беларуси сельхозпродуктов с содержанием цезия-137 выше допустимого уровня (ВДУ)*.

* Из-за недостаточности сети радиометрического контроля данные за 1986—1987 гг. мало

Окончание

Наименование продукта	1986 г.	1988 г.	1990-1992 (РКУ-90)
Сухофрукты, сушеные грибы и дикорастущие ягоды		11100	3700
Свежие дикорастущие ягоды и грибы			185
Лекарственные растения и чай			1850
Прочие продукты питания и пищевые добавки			592
Для стронция-90			
Вода питьевая			0,37
Молоко натуральное и молокопродукты			3,7
Молоко сухое			18,5
Молоко сгущенное			3,7
Мясо, мясные и рыбные продукты, жиры, маргарин			18,5
Детское питание всех видов в готовом для употребления виде			1,85
Хлеб, хлебобродуцкты, крупа, мука, сахар			1,85

достоверны.

Загрязненными продуктами разбавлялись мясо и молоко до ВДУ, после чего они уже в качестве «чистых» реализовывались через торговую сеть.

Заметим, что в природе радиоизотопы цезия и стронция отсутствуют, так что «чистыми» в отношении этих радионуклидов являются продукты, в которых их нет вовсе. До аварии в Чернобыле, таким образом, нормировать радиоактивную загрязненность цезием не было никакой необходимости и соответствующих ВДУ не было ни в стране, ни за рубежом.

Для контроля сельхозпродукции, в том числе и экспортируемой, в большинстве стран Европы в 1986 г. также были введены ВДУ. Не соответствующие им продукты питания, как правило, уничтожались с компенсацией производителю. Энергичными мерами обстановку удалось нормализовать в течение первого года, и ВДУ были отменены.

На территории, где образовались обширные пятна радиоактивного загрязнения, исключить распространение загрязненных продуктов питания по-прежнему невозможно.

Однако постоянно пересматривать временные допустимые уровни — значит продолжать чрезвычайные аварийные меры. Требовалось сформулировать постоянные принципы политики в отношении населения, проживающего в условиях сложившейся радиозоологической обстановки.

Таблица 28

Год	Мясо, тыс. т	Молоко, тыс. т
1986	21,1	580,8
1987	6,9	388,6
1988	1,45	238,9
1989	0,6	91,4
1990	0,7	8,7
1991 (10 мес.)	0,0288 (0,03 %)	27,4 (0,74 %)

В 1988 г. Институт биофизики Министерства здравоохранения СССР (головной в области радиационной безопасности) разработал концепцию безопасного "Роживания" — «350 мЗв (35 бэр) за жизнь», устанавливающую предел дозы, при превышении которого необходимо вмешательство со стороны государственных органов (в частности, отселение). Однако закрытость, с

которой внедрялась эта концепция срочное переиздание учебников и нормативных документов, радикально менявших прежние представления о радиобиологическом воздействии ионизирующих излучений, поток тревожных сообщений «пострадавших зон, где по рекомендациям автора концепции проводились ликвидационные мероприятия, породили недоверие и настоящий социальный взрыв в республиках.

Десятки научных коллективов Беларуси, к которым присоединились известные в стране ученые провели всестороннюю экспертизу предложенной «концепции» и нашли ее неудовлетворительной.] чем же состояли принципиальные разногласия?

«Концепция» допускает, что за 70 лет жизни сверх облучения естественным радиоактивным фоном и при медицинских процедурах человек может получить еще 350 мЗв или в среднем по 5 мЗв ежегодно. На существенную государственную помощь он может рассчитывать лишь при превышении этого предела дозы. Заметим, что Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) считает опасной для населения годовую дозу 1 мЗв.

Главное возражение вызывает, однако, даже не сама величина дозового предела. Конечно, его лучше бы понизить до 70 мЗв, как это принято в зарубежных странах и как рекомендуют компетентные международные организации. Но как практически проконтролировать, что и эта доза не превышена, ведь ее расчет зависит от качества исходной радиометрической информации?

Как, например, можно применить приведенные выше ВДУ, если приборов, регистрирующих активность гамма-излучающих радионуклидов, все еще недостаточно (в 1986 г. на всей территории Беларуси их было несколько штук), а радиометров стронция и плутония не было совсем? Попавшие в организм изотопы цезия можно измерить также с помощью счетчиков импульсов человека (СИЧ), однако эти* сложных приборов еще меньше. Еще труднее будет контролировать соответствие загрязненности i, вых продуктов в будущем, ведь ВДУ снизятся ' следовательно, требования к чувствительности радиДй полученных населением в первый год после ава-^о не учтена роль короткоживущих изотопов, в ^м числе и йода-131. Расчеты ожидаемой за 70 послеметров возрастут.

ЦИХ лет тоже сильно упрощены. В концепции безопасного проживания утверждается, что в переелении из пострадавших районов вообще нет неодолимости, нужно лишь завозить туда «чистые» продукты и выполнять определенные рекомендации. Эффективная доза, безусловно, наиболее полно отражает объективную опасность воздействия радиации на человеческий организм. Пусть это будет 350 мЗв за жизнь, тем более, что на этом настаивает Министерство здравоохранения. Однако рассчитывать на выполнение правил радиационной безопасности жителями пострадавших зон (и детьми тоже!), которыми

должны владеть профессионалы, безответственно. Не менее утопично полагаться на привозное продовольственное снабжение, как безнравственно требовать от сельских жителей отказа от продукции личного подворья. Естественный уклад жизни не может регулироваться никакими ведомственными ограничениями.

Так какие же дозы получит население загрязненных зон? Если с вычислениями плохо справились специалисты Института биофизики, неужели соблюдение дозового предела проследят врачи и медсестры сельских больниц? Провозгласив предел дозы и нормативы загрязнения, Минздрав СССР сложил с себя ответственность, предоставив самому населению заботиться о своем здоровье нереалистическими способами.

Главная цель предложенной ведомством концепции безопасного проживания состояла в том, чтобы удешевить государственные затраты на преодоление последствий аварии. Подавляющее число радиобиологов разделяют точку зрения о беспороговом воздействии ионизирующей радиации, любая, даже самая малая доза нежелательна. Существует радиационный фон Земли, который в результате антропогенной деятельности повсеместно повышен. Увеличивают индивидуальную дозу медицинские процедуры. Все это приводит к росту неблагоприятия. В сложившихся условиях с этим приходится бороться, принимая меры к снижению дозы ужесточением требований к технологиям и совершенствованию методов врачебной помощи.

Концепция «350 мЗв» произвольно вводит значение «безопасного» порога, молчаливо допуская «статистически незначительное» в свете большого количества возможных жертв и ущерб здоровью. Ее можно назвать концепцией «допустимой жертвы». Она логична для страны, где человеческая жизнь ценилась очень низко. Неудивительно, что доведенные расчеты были отвергнуты. Альтернатива-позиция, о которой мы расскажем ниже, должна исходить из прав человека на свободу выбора. Ущерб нанесенный ведомствами, должен быть компенсирован каждому пострадавшему в полной мере.

РАДИОМЕТРЫ И ДОЗИМЕТРЫ

Как же контролируют в настоящее время радиоактивную загрязненность продуктов питания?

В ядернофизических приборах имеются особые устройства (детекторы), в которых энергия ионизирующего излучения преобразуется в электрический сигнал. По величине сигнала можно судить об энергии поглощенной в детекторе частицы (т. е. о «сорт» распадающихся изотопов), а по их числу — о количестве актов распада. Так, α -частицы, имеющие очень малую энергию, создают при ионизации очень небольшой заряд, и их сигналы невелики. В то же время высокоэнергетичные электроны стронция и сопутствующего ему иттрия вызывают в детекторе большие электрические сигналы.

Существует несколько типов детекторов излучения. В ионизационном счетчике (они тоже бывают разными) поглощающим веществом служит газ в пространстве между двумя электродами. Устройство и принцип работы этого прибора показан на рис. 45. Простейший ионизационный счетчик представляет собой трубку, на внутренние стенки которой нанесен слой проводящего металла, например меди. Его присоединяют к отрицательному полюсу батареи (чаще всего просто заземляют). Таким образом получается отрицательный электрод. В центре трубки натянута нить — анод. На нее подают положительный потенциал. Под действием электрического поля ионы, которые образуются при взаимодействии попадающих в трубку частиц с наполняющим газом, в зависимости от заряда устремляются к соответствующим электродам: положительно заряженные — к катоду, отрицательные (электроны) — к аноду. Эти заряды формируют электрический сигнал — один на каждую взаимодействовавшую частицу.

Примерно так же регистрируют излучения в полупроводниковом детекторе, но в этом случае поглощение происходит не в газе, а в полупроводниковых материалах.



Рис. 45. Принцип работы ионизационного счетчика

Проникающее излучение — γ -кванты» разменивая свою энергию с образованием электронов, в газе редко производят ионизации. Обычно при этом ионов так мало, что зарегистрировать это излучение ионизационным прибором трудно. В этом

случае применяют большие и очень плотные детекторы — специальные полупроводниковые или сцинтилляционные. В сцинтилляторах прохождение гамма-квантов вызывает световые вспышки, которые усиливаются и преобразуются в электрические импульсы фотоэлектронным умножителем.

Для каждого вида излучений подбирается наиболее подходящий детектор. При этом важное значение имеет форма и величина измеряемого образца. Если в нем содержится цезий-137, испускающий γ -кванты, особых требований к образцу не предъявляется, так как кванты легко проникают во вне из любой его точки. Но α -частицы стронция-90 поглощаются одним-двумя миллиметрами вещества, так что из всего объема измеряемого объекта «работает» лишь тонкий поверхностный слой, как это показано на рис. 46. α -частицы плутония вообще не могут преодолеть более нескольких микрон, и в этом случае требуется очень тонкий срез либо необходима специальная предварительная радиохимическая обработка образца (сжигание, растворение, нанесение на подложку). Впрочем регистрация стронция тоже производится после соответствующих радиохимических процедур.

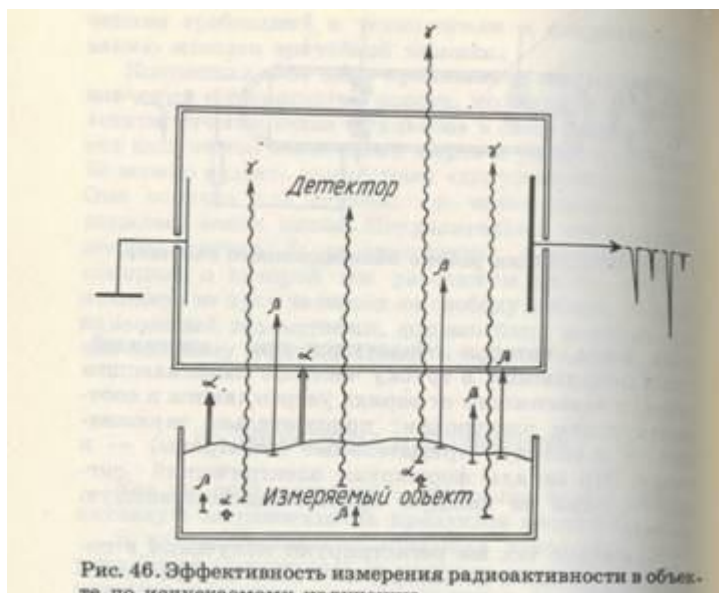


Рис. 46. Эффективность измерения радиоактивности в объекте по испускаемому излучению

Из-за малых пробегов частиц стенки детектора тоже должны быть очень тонкими, чтобы излучение могло попасть в детектирующее вещество и вызвать появление электрического импульса.

Активность определяют по излучению, которое сопровождается радиоактивным распадом: α -, β -частицы и (или) γ -кванты. Самый удобный случай, как выяснили, последний. Однако из радионуклидов черномобильского выброса, которые в настоящее время представляют

наибольшую радиобиологическую опасность, γ -кванты испускают при распаде только изотопы цезия. Их легче регистрировать, и именно цезий регистрируется в образцах почвы, воды, продуктов таяния, для которых установлены нормы содержания радиоактивности (ВДУ).

Приборы, с помощью которых производится проверка на радиоактивность в Бк/кг или Бк/л измеряемого вещества по сопутствующему излучению, называются радиометрами.

При измерении содержания цезия используют полупроводниковый или сцинтилляционный детекторы. Стронций-90 и плутониевые радионуклиды измеряют после предварительной радиохимической обработки образца радиометрами, в которых применяются безокошечные детекторы, т. е. такие, в которых детектирующее вещество не имеет поглощающих стенок.

В гамма-радиометре детектор вместе с измеряемым объектом помещают в «домик» из свинца, стали или комбинации металлов для защиты от космического излучения и излучений природных изотопов (детектор регистрирует любые кванты, не «разбираясь», откуда они пришли). Важно, чтобы это постороннее излучение — радиоактивный фон — было малым, по сравнению с регистрируемым, иначе падает чувствительность прибора. Таким образом, радиометр — довольно сложный и тяжелый прибор. Чем меньшую активность нужно измерить, тем выше требования к чувствительности радиометра, качеству его детектора и защиты.

Существуют также большие радиометры для измерения радиоактивности, накопившейся в человеческом теле. Они называются счетчиками излучений человека (СИЧ) и имеют много детекторов, «просматривающих» тело со всех сторон. Из сказанного выше ясно, что с помощью СИЧ можно измерить содержание гамма-излучающих радионуклидов. Это хороший прибор для определения накопленного Цезия, но они совершенно не годятся для измерения бета- или альфа-излучающих изотопов. Правда, за рубежом известны несколько специальных установок, позволяющих оценить прижизненное содержание Стронция-90 и даже плутония в органах человека по Вторичным проникающим излучениям.

Дозиметры — приборы, тоже измеряющие иони-

ирующее излучение. В отличие от радиометров ими измеряют не активность, а поглощенную энергию ионизирующего излучения, т. е. дозу и предельную — экспозиционную. Поскольку экспозиционная доза определена для воздуха, в качестве единицы такого дозиметра (рентгенометра) можно использовать воздушную ионизационную меру, в которой собирается заряд от ионизации $U \cdot k$ за некоторый промежуток времени. При этом показания дозиметра на табло отмечают мощность экспозиционной дозы в виде тока или $\mu R/s$, $\mu R/h$ и т. д. Для того чтобы измерить поглощенную дозу в органической ткани, нужны тканеэквивалентные (подобные тканям человеческого тела) детекторы, например пластмассовые сцинтилляторы. Если применить другие детекторы (ионизационный счетчик, термолюминесцентный или фотолюминесцентный дозиметр, фотографическую пленку), дозиметр необходимо предварительно прокалибровать, причем для каждого вида излучения получают свои поправочные коэффициенты. Таким образом, для того, чтобы измерить поглощенную дозу в тканях, необходимо знать, какое излучение (γ -кванты или частицы и какой именно энергии) действует, иначе неизбежны большие ошибки. Вдобавок, данные дозиметры нужно непосредственно разместить в том органе человеческого тела, для которого определяется доза. По этим причинам экспериментально очень трудно измерить поглощенную дозу, особенно для смешанного излучения, в котором одновременно присутствуют α -, β -частицы и γ -кванты стронция, цезия и плутония.

Мы уже говорили о том, что эффективную дозу (а именно она самый объективный показатель влияния ионизирующих излучений на организм человека) измерить с помощью приборов нельзя. Правда, для этого существуют биологические методы (метод хромосомных aberrаций по концентрации радикалов в зубной эмали и др.). Но обычно эффективную дозу рассчитывают исходя из распределения в органах и тканях поглощенной дозы.

Совершенно естественно, что каждый житель пострадавших от аварии в Чернобыле республик, да* если он живет в «чистом» районе, хочет знать уровень радиоактивности в

своем доме и степеН! возможного загрязнения радионуклидами продУкТ° питания. Многие поэтому стремятся приобрести индивидуальные дозиметры, надеясь с их помощью ^"иить эти проблемы. Насколько такие надежды Р6 аВданы? В любых моделях дозиметров детекто-°и служит один или несколько ионизационных счет-Р°в0В. Отличия состоят лишь в схеме обработки 4 ктрических сигналов, табло, элементах питания, Э,обстве в эксплуатации, тщательности методики либровки, т. е. в том, что не затрагивает «серд-е» прибора — детектор. Если применен счетчик с ,оНкими стенками, дозиметр способен зарегистрировать не только проникающее у-излучение, но и некоторое число (З-частиц (а-излучение в счетчике вообще не регистрируется). Вопрос в том, что это за «частицы? Если вспомнить об особых требованиях к поглощению р-излучения в веществе измеряемого объекта, то те, кто надеется измерить с помощью карманных дозиметров радиоактивную загрязненность продуктов питания, поступают опрометчиво. Дозиметры предназначены для измерения экспозиционной дозы в воздухе и только в воздухе. Их полезно иметь в загрязненной зоне для того, чтобы контролировать уровень гамма-фона и избегать сильно загрязненных цезием пятен. В «чистой» зоне дозиметр всегда покажет сложившийся уровень радиационного фона, практически неизменный. Если этот уровень по показаниям на табло сильно увеличился, скорее всего прибор просто вышел из строя. Мы хотим сказать, что жителю «чистого» населенного пункта дозиметр не нужен, как бесполезны часы, всегда показывающие одно и то же время. Обладатели индивидуальных дозиметров думают, что если поднести прибор к грибам или петрушке, он «что-то покажет». Да, иногда покажет, но что? Если мы хотим контролировать радиоактивную загрязненность продуктов питания, надо знать, что в них содержится весьма мало изотопов. Определить это содержание — довольно сложная задача, требующая высокочувствительных детекторов, анализа, измерения объема и веса, а иногда и специаль- Ной подготовки проб в соответствии с принятой ме-т°дикой. Лучше всего это делать на предназначен-Ных для этой цели радиометрах в пунктах про-ВеРки пищевых продуктов, не полагаясь на карманные дозиметры и неквалифицированную рекламу пРоизводителей.

КАК УМЕНЬШИТЬ РАДИАЦИОННУЮ ОПАСНОСТЬ?

Специально разработанной диеты на случай диоактивного загрязнения окружающей среды ра нуклидами нет. Все разговоры о радиозащитном т ствии алкоголя или сухого вина типа «Каберн1 лишены всяких научных оснований. Не эффектив* и так называемые радиопротекторы, которые помог ют только при внешнем облучении и только в том случае, если принимаются до момента радиацион ного воздействия. Имеются общие рекомендации, ко торые сводятся к тому, чтобы питание было реГу. лярным, полноценным, достаточным по калорийное ти, составу белков, углеводов, витаминов и минеральных веществ.

Снизить величину полученной дозы — значит уменьшить вклады внешнего и внутреннего облучения. Внешнему гамма-облучению человек подвергается только на загрязненной местности. В то же время внутреннее поступление радионуклидов возможно как в местах выпадения радиоактивных веществ (при питании продуктами собственного производства), так и в «чистых» зонах, куда загрязненная сельскохозяйственная продукция попадает через торговую сеть. Что же может уменьшить радиационные эффекты в организме человека? Одним из основных факторов является полноценная витаминизированная пища (табл. 29).

Полезным является приготовление каш из неочищенных зерен проса, риса, гречки, овса и ячменя. Они богаты витаминами группы В, витамином Е, кальцием и др. Хлеб и лепешки из муки, ржи и кукурузы грубого помола дают энергию, повышают жизненный

Продолжение		
Витамины, минеральные вещества	Продукты	Полезные свойства
Фолиевая кислота	Зелень, овощи	Способствует образованию эритроцитов
Витамины В ₆	Зерновые, зелень, капуста, морковь	Повышает кроветворение и иммунитет
Витамины В ₁₂	Соя, продукты животного происхождения	Способствует образованию эритроцитов, помогает работе нервной системы
Витамины С	Овощи, зелень	Активирует процессы кроветворения, обладает антиоксидантическим действием, укрепляет надпочечники, повышает иммунитет, выводит из организма свободные радикалы
Витамины Е	Зерновые, зелень, растительное масло	Помогает избавиться от свободных радикалов, укрепляет сердце и улучшает кровообращение
Кальций	Зерновые, бобовые, зелень	Укрепляет кости, блокирует поглощение стронция-90
Железо	То же	Способствует образованию эритроцитов, блокирует поглощение плутония
Селен	Зерновые	Помогает избавиться от свободных радикалов
Калий	Овощи, бобовые	Блокирует поглощение цезия-137
Сера	Капуста, петрушка, водяной кресс	Повышает сопротивляемость клеток организма к действию радиации, помогает восстанавливаться

151

тонус, способствуют кроветворению. Необходимым является регулярное употребление в пищу свежей зелени. Если ее и варить, то надо стараться делать это непродолжительное время под паром. Овощи и зелень помогают организму поддерживать необходимый баланс витаминов и минеральных веществ, способствуют борьбе с микроорганизмами, защищают от радиации клетки организма, поддерживают работу вилочковой железы и усиливают иммунитет. Сера и клетчатка, находящиеся в овощах, связывают токсические вещества и радионуклиды, помогают их выделению из организма. Зеленые овощи повышают кроветворение, а содержащиеся в них соли кальция и калия выводят из организма стронций-90 и цезий-137. Известно, что овощи снижают риск заболеть раком. Особенно полезны в этом плане капуста всех сортов, репчатый лук и петрушка. Помимо способности снизить риск заболеть раком э овощи обладают радиозащитными свойствами. Трудно переоценить употребление человеком морских овощей, рыбы и других морских продуктов, которые содержат в больших количествах йод, так необходимый для щитовидной железы, регулирующей обмен веществ.

В рационе должны присутствовать: молоко и молочные продукты (1 л молока содержит 1,0—1,2 кальция, который способствует выделению стронция-90, калийлюбивые и чистые от радионуклидов овощи — фасоль, горох, картофель, щавель, то- крупа овсяная и пшенная, капуста, редька, смородина и др., продукты, содержащие фосфор — яйца, крупа гречневая, овсяная, перловая, пшеница, фасоль, хлеб ржаной и др. Из лекарственных препаратов с целью насыщения организма кальцием и литием, как ионных антагонистов стронция, рекомендуется использовать кальция хлорид, кальция глюконат, кальция лактат, а также лития карбонат, лития хлорид и лития

оксибутират.

Все, чем питается человек, на радиометрическом пункте проверить невозможно, поэтому важно знать закономерности поведения радиоактивных веществ. Основными поставщиками радиоактивности в человеческий организм являются мясо-молочные продукты. Особенно загрязнено козье и овечье молоко, но снизить загрязненность может его технологическая переработка. Из цельного молока переходит в сливки стронция-90 только 5 % (это самый «чистый» молочный продукт), в творог — 30, в сыры — 45 %, цезия-137 в масло — 1,5 %, в сметану — 9, в сыр — 10, в творог — 21 %.

Изменение содержания радионуклидов в продуктах питания в зависимости от технической и кулинарной обработки показано в табл. 30.

Таблица 30

Исходный продукт	Готовое блюдо, продукт	Изменение содержания радионуклида по сравнению с исходным	
		цезий-137	стронций-90
Молоко	Творог	Ниже в 4—6 раз	Ниже в 3—7 раз
	Сыр	10 раз	2 раза
	Масло	50 раз	100 раз
	Сливки	4—14 раз	20 раз
Сливки	Масло	6 раз	6 раз
Говядина свежая	Говядина отварная	2 раза	2,5 раза

Ил. Зак. 1170. 153

Относительно меньше цезия и стронция в свинине; мясо коров «загрязняется» сильнее. Обычно повышена радиоактивность внутренних органов животных, в частности печени, почек, выполняющих роль фильтра перерабатываемых веществ. В костях накапливаются стронций и плутоний; стронций и цезий распределяются примерно равномерно. Обязательно нужно проверить мясо диких животных и птиц, а от охоты в пятнах радиоактивных выпадений вообще следует отказаться.

Окончание

Исходный продукт	Готовое блюдо, продукт	Изменение содержания радионуклида по сравнению с исходным	
		цезий-137	стронций-90
	Бульон	До 50% от содержания в говядине	До 40% от содержания в говядине
Рыба очищенная	Рыба отварная	Ниже в 10 раз	Ниже в 2 раза
	Рыба жареная	1,7 раза	Практически не меняется
	Уха (бульон)	До 90% от содержания в рыбе	До 2—3% от содержания в рыбе
Картофель	Картофель отварной	Ниже в 1,7 раза	Ниже в 2 раза
Зерно (ячмень, гречиха, рожь, пшеница)	Хлеб, крупа	Ниже в 1,2—2,5 раза	Ниже в 1,5—3 раза

У рыбы сильнее загрязняются внутренние органы, в то время как мясо пригодно в пищу. Повышенную концентрацию радиоактивности имеют моллюски, ракообразные и вообще придонные животные и закрепленные к дну водоросли. Очень сильно радиоактивные вещества накапливает икра.

Радиоактивность растений зависит от загрязненности почвы. Но не все растения накапливают изотопы одинаково. Растения-концентраторы — гриб (моховики, маслята, горкушки в большей степени, белые, строчки, подосиновики, подберезовики, лисички, подзеленки — в меньшей), бобовые, злаки, ягоди (клюква, малина, черника, земляника). Ароматическая зелень: укроп, петрушка, шпинат и др. накапливают стронций и цезий. Правда, удельный вес этих растений в рационе питания невелик, так что вклад в суммарную радиоактивность, поступающую в организм, не слишком значителен. Самые концентраторы — растения с высоким содержанием биологически активных веществ: лекарственные травы, чай. Хотя чай и не выращивается в средней полосе, даже той доли чернобыльских выпадений, которая достигла южных районов, оказалось достаточно, чтобы «загрязнить» плантации.

С другой стороны, мало радионуклидов накапливают картофель, фрукты, хотя надо помнить, что радиоактивные вещества интенсивно накапливаются в семечках, косточках и вообще в органах, связанных с размножением и потребляющих больше минеральных соединений.

Составляя рацион питания, нужно придерживаться некоторых простых правил кулинарной обработки. При чистке предварительно промытых овощей с кожурой удаляется около половины радиоактивности (с капусты снимают три верхних листа).

Сотрудники Института морфологии и экологии животных имени А. Н. Северцева разработали способы очистки в домашних условиях мяса, рыбы, грибов и овощей от радионуклидов. Эти способы обработки могут многим пригодиться. Кратко опишем их.

Мясо разрезается на кусочки, которые кладут в эмалированную или стеклянную посуду с водным раствором поваренной соли (две столовые ложки на литр воды и 1 чайная ложка 70 % уксусной эссенции). Соотношение мяса и раствора 1:2. Через три часа трижды меняют раствор, периодически его взбалтывая. Если мясо нарезать более мелкими кусочками, как это делают для приготовления бефстроганов, оно будет готово для дальнейшей кулинарной обработки через 6—9 часов. Добавить к нему лук, перец и лавровый лист и продолжать готовить.

Из мяса готовят солонину. Уже через месяц до 30 % нуклидов переходит в раствор. Выведение из него цезия проводят обычной холодной водой. Для этого солонину нарезают кусочками по 20—30 г и трижды с интервалом три часа промывают во-Дой. Обработанное таким образом мясо можно употреблять для приготовления колбас и дальнейшей кулинарной обработки.

Рыбу потрошат, удаляют голову, плавники, снимают кожу, нарезают на кусочки по 50—100 г (мелкую можно не разрезать) и помещают в раствор поваренной соли (30 г на 1 л воды) в соотношении* рыбы к воде 1:1. Трижды меняют раствор каждые 1,5 часа. Более частая смена раствора ускоряет очистку. Такая рыба пригодна для любой кулинарной обработки.

Грибы очищают от грязи, промывают холодной водой и режут на кусочки, укладывают в эмалированную кастрюлю, заливают раствором поваренной соли, ставят на огонь и кипятят 10 минут. Раствор сливают, грибы промывают холодной водой и кипятят 20 минут. После этого процедуру повторяют и снова кипятят 20 мин. После последней промывки грибов холодной водой количество радионуклидов в них снижается в 100—1000 раз. Подготовленные таким образом грибы можно жарить, солить, мариновать и даже сушить.

Картофель освобождают от нуклидов вымачиванием в течение 3—4 часов в слегка подсоленной по вкусу холодной воде (вымывается до 40 % нуклидов). При варке до готовности устраняется более 60 % нуклидов. Во время варки свеклы, щавеля, грибов в воду переходит от 50 до 85 % цезия-137, поэтому ее надо сливать. При варке мяса в бульон переходит около 50% радиоактивных веществ, поэтому бульоны и отвары загрязненных продуктов питания в пищу использовать нельзя. Будет полезно за время варки несколько раз поменять воду.

Бульоны и отвары можно употреблять, но только вторичные, т. е. приготовленные следующим образом. Мясо или рыбу в течение 2—3 часов зачищают в холодной воде. Затем воду сливают и заливают свежую воду, которую, доведя до кипения сливают. После этого снова заливают водой и варят до готовности. Такой бульон можно употреблять в пищу.

Очищают от нуклидов в 1,5—2 раза засолка и маринование овощей, фруктов, грибов. Но при этом нельзя использовать сам рассол или маринад.

Доза внутреннего облучения зависит от нахождения радиоактивных веществ в организме.

Стронций и плутоний избирательно накапливаются в скелете особенно у детей, практически в течение всей жизни. Изотопы цезия распределяются примерно равномерно по всем мягким тканям. Выводится этот элемент через почки и желудочно-кишечный тракт. У взрослых половина цезиевых радионуклидов выводится за 80—170 суток, у детей быстрее. Ускорить этот процесс можно, усилив мочеотделение с помощью мочегонных средств. Очищение организма от радиоактивности идет успешнее, если регулярно пить овощные и фруктовые соки, особенно мякотные, употреблять ягоды и фрукты, содержащие пектиновые вещества. Это яблоки, лимоны, мандарины, кожура апельсинов, слива, персики, абрикосы, крыжовник, клюква, черника, смородина, груша, вишня, черешня, дыня, арбуз. Содержатся пектины и в зефире, пастиле и мармеладе. Большую роль для

здоровья человека выполняют флаваноиды, витамины группы В, С, Е, А, Р, каротиноиды и др., которые содержатся в таких ягодах, как шиповник, облепиха, черная смородина, черноплодная рябина, клюква. И пектины, и флавоноиды, и витамины способствуют выведению нуклидов из организма, положительно влияют на иммунную систему, улучшают обмен веществ и деятельность кровеносных сосудов. Противорадиационными свойствами обладают чай, особенно зеленый, настой и мази календулы, препараты элеутерококка, женьшеня, лимонника китайского, левзеи, радиолы розовой, которые снимают усталость, активируют иммунитет, повышают сопротивляемость организма, улучшают обмен веществ, способствуя быстрому выделению из организма радионуклидов.

И вообще все, кто проживают на загрязненных землях и прилегающих к ним территориях, должны соблюдать профилактические меры: вести здоровый образ жизни, употреблять сбалансированное, богатое витаминами питание, включая овощи, фрукты и ягоды, соки, цитрусовые, поливитамины и витаминные напитки.

Рецепты витаминных напитков противорадиационной направленности. Напиток «Рябиновый». 5 столовых ложек плодов сухой или свежей яркой рябины залить 1 л кипяченой воды, прокипятить в течение 10 минут, настаивать 2 часа, пить по 1/2 стакана с 1 чайной ложкой меда.

Комбинированный общеукрепляющий чай. Плоды шиповника — 3 чайные ложки, плоды облепихи — 3 чайные ложки, трава золототысячника — 3 чайные ложки, корень одуванчика — 2 чайные ложки, корень солодки — 1 чайная ложка. Весь набор залить 1 л воды, кипятить 10 минут, настаивать 1 час. Пить по 1/3 стакана в день с 1—2 чайными ложками меда.

Напиток из овса с яблоками. Овес и сушеные яблоки промыть, залить холодной водой, довести до кипения и поставить на 3 часа в теплое место. Отвар процедить и пить по 1/2 стакана 2 раза в день теплым. На 1,5 л воды — 1 стакан овса, 1 стакан яблок.

Отвар из шиповника. Шиповник — 5 столовых ложек, мед — 3—4 чайные ложки, 1 л воды. Кипятить 10—15 минут, настаивать 2—3 часа. Для улучшения вкуса можно добавить мед или сахар.

ЧТО НАДО ПОМНИТЬ, ПРОЖИВАЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

На загрязненной местности надо сократить по возможности пребывание на открытом воздухе: стены жилища снижают гамма-фон.

Предпринимая туристические походы, необходимо сверить свой маршрут с картами радиационного загрязнения. В загрязненном лесу нельзя разжигать костры, так как это — потенциальная опасность пожара. При пожаре радиоактивные вещества попадают в воздух и ветром могут переноситься на большие расстояния.

Переносчиком радионуклидов является пыль, которой особенно много во время сельскохозяйственных работ. Чтобы уменьшить возможность попадания ее в организм, надо по возможности чаще увлажнять землю возле дома и на приусадебном участке. Работая в огороде, лучше надеть респиратор или защитить себя сложенной в несколько слоев марлей, натянутой на нос и рот.

Уменьшить поступление радионуклидов в дом частой чисткой ковров и мягкой мебели, стиркой одежды. Особого ухода требует обувь. При покупке обуви ее нужно снимать и мыть. Часте обычного требуется устраивать стирки, особенно повседневной рабочей одежды. Возвратившись с улицы, мыть руки и ноги с мылом, полоскать рот, а еще лучше — принять душ.

Систематически проводить влажную уборку, применяя моющие средства, например стиральные порошки. Это позволяет намного снизить радиационный фон в помещении. При этом тряпки следует хранить в специально отведенном месте и почаще менять.

При пользовании дровами надо помнить, что ветки, особенно хвоя, заготовленная в загрязненном радионуклидами лесу, являются разносчиками радионуклидов. В печах, где сжигают загрязненные дрова, всегда скапливается много радиоактивной золы и сажи — это один из главных источников радиоактивного облучения в доме. Попадая при топке печи в воздух, радионуклиды оседают на огороды, заражая все вокруг.

Загрязняет землю вокруг построек стекаемая с крыш во время дождя вода. Поэтому необходимо периодически убирать эту землю под сточной трубой на глубину 20—30 см, перенося ее в яму подальше от дома.

Эти рекомендации, конечно, создают неудобства, снижают качество жизни. Однако их соблюдение — вынужденная необходимость, позволяющая намного уменьшить риск неблагоприятных радиационных последствий.

ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

ЗАХОРОНЕНИЕ РЕАКТОРА

Важнейшая проблема ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС — безопасное захоронение ядерного топлива, оставшегося в развалинах после взрыва. В ноябре 1986 г. завершилось строительство специального сооружения, повсеместно называемого «саркофагом», а в технической литературе и среди специалистов — «Укр». Высокий радиационный фон не позволил «укрытие» герметичным. Площадь щелей в кровле и стенах составляет 1000 м². Эти отверстия, технологические люки в кровле, вентиляционные трубы являются каналами, по которым радиоактивная пыль и газы могут попадать в окружающую среду, так как выбросы наблюдались в 1987—1988 гг.

Экспериментальные наблюдения свидетельствуют что в целом «укрытие» выполняет защитную функцию. Вместе с тем состояние разрушенного реактора продолжает вызывать тревогу. Поднятая взрывом 1000-тонная стальная крышка находится в почти вертикальном неустойчивом положении. При ее обрушении массы скопившейся радиоактивной пыли неизбежно приведут к новому выбросу. Пока остается также неизвестным поведение затвердевшего расплава урана, конструкционных материалов реактора, бетона и массы сброшенных в обвал активной зоны материалов, взаимодействие тяжелой проседающей конструкции с подземными водами. Есть опасения неконтролируемой цепной реакции оставшегося урана, которая может привести к взрыву.

По оценкам проектировщиков, объект «укрытие» простоит 20—30 лет. Однако требуется закрепление крышки, долговременное захоронение топливной массы и герметизация. Уже прорабатываются варианты создания объекта «укрытие-2», рассчитанного на сотни лет, имеются зарубежные проекты. В настоящее время объявлен конкурс проектов на захоронение реактора. В этом конкурсе принимают участие и белорусские ученые. Правда, осуществление этих проектов потребует огромных средств.

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ

В любой радиационной аварии, затрагивающей жителей, различают три временные фазы: ранняя, промежуточная и поздняя. Они почти наверняка перекрываются, но определяют последовательность чрезвычайных защитных мер.

Ранняя фаза начинается еще до возникновения аварии (постоянно действующая на опасном объекте система радиационной безопасности и контроля) * Id

лд в течение большей части радиоактивного выброса. Можно считать, что ранняя фаза аварии на Чернобыльской АЭС продолжалась до 5 мая 1986 г., реактор был заглушен.

Промежуточная фаза охватывает период, который обычно начинается с первых часов после начала выброса и может длиться несколько дней. В это время проводятся измерения радиоактивного загрязнения территории, пищевых продуктов, определяется масштаб аварии. Полученные данные используют для оценки доз и принятия решений об осуществлении дополнительных или продолжении начатых защитных мер.

Поздняя (восстановительная) фаза — возвращение к нормальным условиям жизни — продолжается от нескольких недель до нескольких лет в зависимости от масштаба аварии.

В ранней фазе (см. табл. 31) необходимо незамедлительно информировать население угрожаемых районов о происшествии и правилах поведения, провести йодную профилактику, направить в укрытие или эвакуировать жителей вдоль следа радиоактивного облака, а пострадавшим оказать медицинскую помощь. Рекомендовать защитные приспособления (респираторы, марлевые повязки), на время укрыться в доме, плотно закрыв окна и двери.

В промежуточной фазе, которая во многом перекрывается с поздней, оценка ожидаемой дозы позволяет сделать заключение о необходимости отселения людей из опасных зон и прекращении в этих зонах всякой хозяйственной деятельности. Одновременно налаживают массовый радиометрический контроль продуктов питания, не допуская распространения радиоактивности через торговую сеть, вводя временные допустимые уровни (ВДУ) загрязнения.

Такая схема, отработанная еще в 1957 г. во время аварии на английском военном плутониевом заводе в Уиндскейле, успешно применялась в Три-майл-Айленде (США) в 1979 г. Некоторые ее элементы использованы и при ликвидации последствий аварии в Чернобыле. К сожалению, многие важнейшие и обязательные меры приняты не были. Сознательно не информировано население, в результате чего ущерб здоровью, нанесенный в начальный период, неоправданно велик.

Отселение г. Припять и Чернобыля сделано через сутки, когда уровень экспозиционной дозы стал угрожать жизни людей. Отселение жителей из населенных пунктов, где экспозиционная доза превышала 20 мР/ч, началось в первых числах мая. Первоначально из 25 деревень были эвакуированы только дети до 15 лет и беременные женщины. Лишь 4—5 мая эвакуировано население из 30-километровой зоны вокруг АЭС. Примерно в это же время частично сделана йодная профилактика.

Недооценив катастрофический характер аварии, правительственная комиссия, по рекомендации заинтересованных ведомств, приняла решение о мероприятиях, характерных для поздней стадии. Спустя 1,5 месяца началась компания по частичной реэвакуации пострадавших. Сельскохозяйственная деятельность во многих случаях продолжалась даже в 30-километровой зоне вахтовым методом.

Принимая решение о возвращении жителей и восстановлении хозяйственной деятельности, обычно исходят из целесообразности затрат на дезактивацию. Дожди частично смывают радиоактивность, но специальные меры очистки (водой с коагулирующими химическими добавками, пенящимися растворами) более эффективны. Асфальтируются дороги и площадки, уничтожаются загрязненные строения.

Смываемая радиоактивность не уничтожается, она лишь перемещается в почву и водные резервуары. Искусственное заглубление радионуклидов перепашиванием обычно дает лишь кратковременный эффект: капиллярные силы и растительный корневой насос постепенно снова выносят их на поверхность.

Самые эффективные способы дезактивации — уничтожение растительности, срезание верхнего загрязненного слоя почвы и засыпка толстым слоем чистого песка. Так поступают, если радиоактивное пятно невелико и образовалось, например, в поселке, жителей которого переселять нецелесообразно. Однако сделать это на очень большой площади практически невозможно из-за высокой стоимости мероприятия.

Опыт дезактивации многих поселков после начала аварии на Чернобыльской АЭС показал ее низкую, эффективность и экономическую нецелесообразность. Только в Беларуси на это затрачено 576 млн. советских рублей, а радиоактивную загрязненно

Таблица 31

Фаза аварии	Ранняя										
	Промежуточная					Поздняя					
Защитные мероприятия	Индивидуальная защита, использование респираторов, медицинская помощь	Иодная профилактика	Укрытие или эвакуация	Укрытие или эвакуация	Оценка масштаба загрязнения, полученных и ожидаемых доз	Отселение	Радиометрический контроль пищевых продуктов и исключение распространения радиоактивности	Дезактивация территории и возвращение эвакуированных жителей	Мероприятия по оздоровлению	Мероприятия по оздоровлению	Мероприятия по оздоровлению
Главные вклады в дозу	— внешнее воздействие при прохождении радиоактивной облака — внешнее облучение от загрязнения кожи и одежды — внешнее облучение взвешенных в воздухе радиоактивных аэрозолей — внешнее облучение от выпавшей радиоактивности — внутреннее облучение при вдыхании аэрозолей, употреблении воды и пищи					— внешнее облучение от выпавшей радиоактивности территории — внутреннее облучение при употреблении загрязненных пищевых продуктов					

существенно снизить не удалось. Напрасно получили * ли большие дозы облучения проводившие дезактивацию военнослужащие. Вдобавок, скопления удаленной почвы образовали огромные могильники, из которых радиоактивные вещества ветром, осадками подземными водами продолжают распространять^ загрязняя все новые площади.

Из-за некомпетентности и по политическим мотивам чрезвычайно большие средства потрачены также на строительство поселков для переселенцев в загрязненных районах: в Наровле, в Лельчицком Брагинском, Ельском и Чериковском районах, построено почти 4 млн. м жилой площади. Стоило ли это делать? Очевидно в меньших размерах — да. В то же время, если бы только половина этого жилья была построена на чистых территориях, в нормальных условиях смогло бы жить более 100 тыс. человек. Это помогло бы снять у них стресс и волнения за свое здоровье и здоровье детей. Эти люди могли бы производить и «чистую» сельскохозяйственную продукцию, и принять участие в развитии народного хозяйства республики.

ВДУ, введенные уже в 1986 г., должны были защитить население от радиации. Но дозовые пределы, составляющие тогда 100 мЗв за год, были очень завышены и даже снижение их в последующие годы до 30, 25 и 8 мЗв не гарантировало безопасности населения. Кроме того, они не могли практически выполняться из-за отсутствия контрольной радиометрической аппаратуры.

СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА И ПОЛИТИКА

Ведомственная деятельность по уменьшению последствий аварии не дала существенных результатов и лишь усугубила социальные проблемы. В 1988 г. была сделана попытка декларативно завершить ликвидационные мероприятия поздней фазы и ввести концепцию

безопасного проживания в пострадавших районах (так называемая «35-бэрная концепция»)-Однако хаотичность мероприятий, непоследовательность в их осуществлении, бессмысленные траты ресурсов и отсутствие реальной медицинской помощи при секретности большинства относящихся к аварии распоряжений и информации вызвали недовольство, недоверие и социальное напряжение.

Ведомственный подход к проблеме пострадавших, особенно в Беларуси, был осужден всеми слоями общества. С 1989 г. начался новый этап решения проблем Чернобыля. Гласность, наконец, вторглась и в эту сферу: стали публиковаться карты радиационной загрязненности, информация из загрязненных зон, регулярно печатались сведения об уровнях экспозиционной дозы. Принята республиканская программа уменьшения последствий аварии. Уже первая сессия Верховного Совета Беларуси в законодательном порядке запретила сельскохозяйственное производство в наиболее загрязненных районах, а вскоре был принят Закон о социальной защите пострадавших. Другой Закон «О правовом режиме территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению» начал действовать с 1991 г.

Несомненно, что все эти меры приняты с целью быстрее наверстать упущенное время, с искренним желанием защитить население. Но, к сожалению, многие шаги были не до конца продуманы.

В государственной программе и Законе о социальной защите граждан предусмотрено улучшение медицинского обслуживания, проведение научных исследований, изменение сельскохозяйственных и агропромышленных технологий. Однако главная их направленность — ускорить отселение и осуществить компенсации в соответствии со шкалой льгот. Так, вся территория Беларуси разделена на 5 зон, 4 из которых в определенной последовательности предполагается отселить. Это деление и соответствующая градация материальных компенсаций привели ко многим отрицательным последствиям.

Обширные территории (16,5 тыс. км²), с которых эвакуация жителей предполагалась во вторую или третью очередь, считались «неперспективными», исходя из чего ведомства были не заинтересованы в развитии не только хозяйства, но и социальной инфраструктуры. В результате не были приняты меры к снижению дозовых нагрузок.

Сложная градация по уровню загрязненности, дозам, помимо чисто технической невозможности различить близкое значение (с точки зрения радиометрии, 14,9 и 15,1 Ки/км² при осреднении пятни тости выпадений — одно и то же), вызывает неразбериху, поток жалоб и тупиковые ситуации. В условиях экономического кризиса, неустроенности на новых местах многие стремятся вернуться в пораженные районы. Это приводит не только к общественному расслоению, но и выполняет прямо противоположную поставленной цели функцию — стимулирует миграцию в зоны загрязнения.

Вопреки Декларации о правах человека принятые решения игнорируют право на выбор, по-прежнему оставляя граждан в государственном распоряжении. Узаконенные постоянные льготы, рассчитанные на десятилетия, требуют огромных затрат. За 1986—1990 гг. на уменьшение последствий аварии в Чернобыле затрачено в Беларуси 8,972 млрд. руб., на реализацию Программы до 2000 г. необходимо еще 17 млрд., а всего ущерб оценен в 206,3 млрд. рублей в номинации до Чернобыльской аварии и 4 млрд. инвалютных рублей. Эти огромные суммы образовались в результате простого сложения запросов всех ведомств и их предложений без серьезного анализа и расстановки приоритетов. С провозглашением самоопределения и переходом к самостоятельному рыночному хозяйствованию придется еще раз пересмотреть законодательную политику по Чернобылю, тем более, что и Закон «О правовом режиме территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению», нуждается в переработке.

Право хозяйствования в 30-километровой зоне отчуждения с самого начала получило союзное ведомство — Минатомэнерго, превратившее эту зону в испытательный радиационный полигон. Суверенные республики отстаивали законное право на собственные территории. В 1988 г. в Беларуси на площади 104 тыс. га образован Полесский радиоэкологический заповедник, у которого не определен хозяин. Весной 1990 г., как следствие сухой бесснежной зимы, в заповеднике возникли десятки пожаров, приведших к атмосферному переносу радиоактивных веществ. Пожары обнаруживались и тушились с опозданием.

Последствия чернобыльской аварии были бы намного меньшими, если бы проводилась серьезная экспертная проработка. Альтернативная «35-бэрной» бе-166

лорусская концепция безопасного проживания ВЫде. лила зону, где эффективная доза превышает 5 мЗв/год и недопустимо производство сельскохо-; Яйствен_ной продукции. Поскольку продукты пи%ания из этой зоны представляют опасность для всец нации, было предложено принять энергичные меры дЛЯ ско. рейшего отселения граждан из соответствующих на_селенных пунктов. На остальной территории загрязнения комплексными мерами (изменением технологий производства и переработки, оздоровле!1ИЯ> обу. чения, контроля) предполагалось добиться Постепенного снижения дозовой нагрузки до рекомендован_ного предела — 1 мЗв/год.

Пострадавшие должны получить единовр^менНую компенсацию за полученный ущерб. РеалиСТИЧный и справедливый принцип политики в дашюм слу. чае — предоставить свободу сознательного выбора при детальной информации о его последствиях> ЕсЛИ семья или вся деревня решила переехать, использовав для этого компенсационные выплаты государственные органы обязаны благоприятст^о'вать в первоочередном получении транспорта, мат^ериалов и других ресурсов. В другом случае, ког^а пострадавшие предпочитают остаться, использу^ дополнительные средства по своему усмотрению (например, на оздоровление), государство должно ПОмочь адаптироваться в экологически неблагоприят^ных уС_ловиях, предоставить на основании местной обстановки рекомендации по наиболее рационал^НОМу и безопасному ведению хозяйства.

Следуя данной логике, Национальная комиссия по радиационной защите в 1995 г. рекомеНдОвала Кабинету Министров концепцию защитных мер в вос. становительный период для населения, прож11ваЮще. го на территории Республики Беларусь, подв,ерГшеи. ся радиоактивному загрязнению. Суть ее в следующем: период чрезвычайных мер закончен и необходимо учиться «жить с радиацией»; зонирование тер. риторий должно быть сделано в соответствии с современным дозовым подходом: при годовой Дополнительной дозе меньше 1 мЗв проживание ц хозяйственная деятельность по радиационному фавору не ограничивается; на территориях, где годовая^ дополнительная доза выше 5 мЗв, проживание л^одеи не рекомендуется; при дополнительных дозах от j до 5 мЗв должны проводиться обоснованные меропрития по дальнейшему снижению коллективных и и дивидуальных доз.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПРОЕКТ

Кривая зависимость «ущерб—доза» (а следовательно, и материальные затраты на преодоление последствий) монотонна. Республиканские программы формировались по принципу суммирования любых предложений, направленных на достижение доаварийных уровней с расчетом на финансирование из союзного бюджета. Союзные ведомства, декларируя безопасность малых доз, настаивали на высоком до-зовом значении для принятия решений. Это позволяло обойтись минимумом затрат, ограничившись в основном уже принятыми мерами, которые диктовались экономическими интересами, поскольку научная точка зрения — даже самая малая

доза не является безопасной, ущерб качеству жизни растет с величиной дозы. Требовалось исходя из материальных возможностей просто выбрать «допустимый» процент жертв и дополнительных, стимулированных радиацией заболеваний.

Заинтересованное в малых тратах руководство страны явно разделяло ведомственную точку зрения. Однако игнорировать социальное напряжение в республиках было уже невозможно. Желая выглядеть непредвзятым, Центр решил прибегнуть к международному третейскому суду.

Попытки использовать международные авторитеты ведомства делали и раньше. В июне 1989 г. для демонстрации одобрения «35-бэрного» подхода были приглашены Бенинсон (МАГАТЭ), Уайт (ВОЗ), Пел-лерен (французский Комиссариат радиационной безопасности). Несмотря на хорошую «прессу», иностранцы не только не успокоили население пострадавших областей, но и вызвали новую волну недоверия, на этот раз к зарубежным специалистам и организациям. Без труда удалось установить, что зарубежных экспертов волновали не сами последствия чернобыльской аварии, а возможность их изучения в чужой стране, о чем прямо заявил Бенинсон. Позиция ВОЗ, безоговорочно одобрявшая меры союзного Министерства здравоохранения, уже была известна. Удалось установить и неблагоприятную роль Целлерена на аттоле Муроруа, где с его благословения продолжаются испытания ядерного оружия. Кроме того, оказалось, что пригласившая сторона подобрала партнеров, с которыми давно имела тесные контакты.

Путь международного арбитража во внутреннем споре решено было попробовать еще раз. При обсуждении Чернобыльской проблемы на Верховном Совете Н. Рыжков внес предложение: «Может быть, если наши ученые никак не договорятся друг с другом, нам нужно пригласить зарубежных ученых?..» Так экономическое и политическое противостояние республики — центр слилось к противостоянию «наук». Между тем такое решение уже давно было принято. Еще в октябре 1989 г. Правительство СССР официально обратилось в МАГАТЭ с просьбой провести «...международную экспертизу разработанной в СССР концепции безопасного проживания населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и оценку эффективности мероприятий по охране здоровья населения, проводимых в тех районах».

Такая формулировка поставила зарубежные организации в весьма неудобное положение: ссориться с огромной вооруженной страной, заявившей к тому же о переходе к демократическому пути развития и оплатившей заказ, не хотелось. Она же предопределила исход экспертизы.

21—24 мая 1991 г. на специальной конференции в Вене Международный консультативный комитет доложил результаты, полученные учеными из 10 стран и семи международных организаций (всего 200 экспертов). В докладе сформулированы задачи и ограничения исследований: «Международным чернобыльским проектом не ставилась задача провести глубокое и всеобъемлющее долгосрочное научное исследование. Кроме того, перед учеными даже приблизительно не стояла задача повторить многочисленные уже проведенные (ведомствами.— авт.) исследования... Планировалось... составить понятную и достоверную картину современной обстановки... оценить меры по защите населения».

Таким образом, определялась не научная, а чисто политическая цель проекта. О том, что объективна научная экспертиза и не могла быть проведена, честно заявили и сами авторы. Группа не располагала «временем и ресурсами, а также данными для проведения более широких независимых анализов...; предоставленные данные не всегда оказывались полными; оценка радиационной обстановки непосредственно после аварии уже не могла получить независимого подтверждения из-за... распада короткоживущих изотопов. В оценку не включены лица, которые выехали из загрязненных районов.

Также не предусматривалось обследование возможных последствий для «ликвидаторов», т. е. лиц, которые были заняты на восстановительных работах и получили профессиональное облучение на площадке Чернобыльской АЭС».

При таких ограничениях, не оставляющих места для каких-либо научных заключений, зарубежные эксперты могли выполнить лишь социально-политический заказ, что они добросовестно и сделали, опираясь на «...значительную помощь и поддержку Министерства атомной энергетики и промышленности СССР». Они дали то, что от них требовалось.

Экспертная группа обследовала 1356 пациентов из выборки, в которую не включены ни переселенцы, ни «ликвидаторы». Большинство детей в это время находились на каникулах и не могли быть обследованы. Сравнение делалось с контрольными группами слабозагрязненных территорий, выбор которых сомнителен, поскольку потребление в них загрязненных продуктов очевидно. На основании этих недоброкачественных и ограниченных данных эксперты сделали далеко идущие выводы. Во-первых, 10 — 15 % взрослого населения из загрязненных и контрольных населенных пунктов требуют лечения. У них обнаружены значительные нарушения, «не связанные с радиацией». Во-вторых, экспертов поставили в тупик данные о примерно равномерном содержании в организме цезия-137, которые они объяснили различием коэффициентов перехода «почва^ пищевые цепи». Эта закономерность при обследовании с помощью СИЧ давно не является новостью: 170

«размазывание» радиоактивности при реализации загрязненных продуктов питания — установленный факт. Радиационной составляющей в заболеваниях яе обнаружено. Эксперты не отметили даже роста патологических изменений щитовидной железы. Однако причину плохого состояния здоровья необходимо было назвать. Поскольку качество продуктов питания и его рацион зарубежным ученым показались удовлетворительными, они объяснили свои результаты социально-экономической и политической нестабильностью в СССР.

Угрожающее состояние здоровья популяции, конечно, нельзя целиком списывать на неблагоприятную радиационную обстановку. Она лишь усугубила проблемы чрезвычайно низкого качества жизни на шестой части суши. Неумеренная химизация, оставшаяся единственным средством повышения урожайности при отсутствии других стимулов повышения производительности сельскохозяйственного труда, бедный рацион, в котором большую часть года отсутствуют свежие овощи, фрукты и ягоды, несбалансированность по белкам, углеводам и жирам ухудшению здоровья не содействуют. Невозможно также отрицать влияние глубокого экономического и политического кризиса в разваливающейся стране. И все же выход, предложенный независимой экспертизой, удивителен: «Следует принять меры в отношении гипертонии у взрослых и гигиены полости рта в качестве основных задач здравоохранения». Вероятно, это тоже важно, но, вероятно, кроме этих, есть и другие, не менее важные проблемы.

Наконец, заключительная глава венского доклада Консультативного комитета прямо выполняет задание советской стороны и является чисто политической. В отношении защитных мер, предпринятых в пострадавших районах, независимая экспертиза никаких собственных научных исследований не проводила, целиком полагаясь на предоставленные ей ведомственные данные: «В первые дни после аварии в различной степени были приняты такие контрмеры, как укрытие, блокирование щитовидной железы посредством введения стабильного йода и эвакуация... Были установлены временные контрольные уровни содержания йода в молоке и молочных продуктах и стал проводиться жесткий дозиметрический контроль всех молочных продуктов». Вся эта информация целиком списана из советских прав* тельственных источников без всякой проверки, р зумеется, данный комплекс мер получил междуна родное одобрение.

Искренним (?) является и еще одно принципиальное заблуждение экспертной группы, которая о том что рекомендованная пожизненная доза в 350 мЗв для пострадавшего населения включает в себя также дозы, «полученные со дня аварии». О том, что это не так, неоднократно говорил и главный идеолог «концепции безопасного проживания» академик Л. Ильин. По крайней мере, проверить это небезобидное утверждение для независимых ученых при желании не составляло никакого труда.

В целом труд международной экспертизы можно оценить как добротную промежуточную рядовую работу, потребовавшую немалых усилий и средств. Такая работа, основанная на весьма ущербном статистическом материале, незначительности собственных исследований и сомнительных предоставленных данных советских ведомств, не имеет право на обобщающие выводы.

Акция с независимой международной экспертизой, предпринятой Минатомэнерго и правительством Н. Рыжкова, дорого обошлась народам. Это была единственная известная на Западе экспертиза последствий Чернобыльской аварии, выводы которой широко освещались в мировой прессе. Поскольку утверждалось, что никакого отрицательного влияния радиация не оказала, т. е. не произошло никакой экологической катастрофы, на зарубежную помощь при ее ликвидации рассчитывать практически не приходится.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Большинство специалистов, работающих в области радиационных наук, сосредоточено в ядерной энергетике, в соответствующих отраслях военно-промышленного комплекса и обслуживающих учреждениях медицины. Очень небольшое их количество работает в университетах.

После аварии на АЭС в Тримайл-Айленде элект-172

олческим компаниям пришлось пойти на значительные затраты по модернизации систем безопасности и защиты, резко упали заказы на проектирование и строительство новых атомных электростанций. Оследа за Чернобыльской аварией в большинстве стран ядерно-энергетические программы стали сворачиваться, а в некоторых случаях (например, в Австрии) АЭС запрещены. В этих условиях рассчитывать на непредвзятое отношение энергетиков не следует: обнародование аварий на реакторах и, тем более, радиационных последствий не в их интересах. Еще меньше заинтересованы в этом ВПК и соответствующие международные организации, в которых «независимость» специалистов весьма условна. Спор по принципиальным вопросам последствий аварии в Чернобыле приходится вести «дилетантам» и действительно независимым ученым из университетов в неравных условиях противостояния мощным заинтересованным ведомствам.

Практически в те же дни, когда проходила Венская конференция, подводившая итоги «Чернобыльского проекта», 21—25 мая 1991 г. в рамках I Международного конгресса памяти А. Сахарова известные ученые Японии, США, Германии, Франции, Швеции, СССР и других стран делали заключения по проблеме «Глобальные последствия Чернобыльской катастрофы и будущее атомной энергетики». Упреждая выводы Венской конференции, Конгресс дал свою оценку экологическому бедствию в центре Европы и определил приоритетные направления деятельности по преодолению его последствий.

Наработанный в мире радиобиологический опыт основан на многолетних наблюдениях за людьми, пережившими бомбардировку Хиросимы и Нагасаки. Все количественные прогнозы радиационных аварий исходят именно из этого опыта, во многом отличного от радиационного воздействия разрушенного энергетического реактора (различный изотопный состав, долговременный, а не мгновенный характер действия и др.). Реальные коэффициенты риска и спектр патологий широкомасштабных аварий за рубежом не

изучались из-за отсутствия таких событий. Поэтому оценка воздействия малых доз излучения на человеческий организм исключается.

Чернобыльская авария — экологическое бедствие, требующее детального многолетнего изучения, тем более, что, к сожалению, совершенно исключить его повторение невозможно, а радиация не признает национальных границ. Вместе с тем лишь недавно стало известно о сопоставимой и тоже семибалльной* радиационной катастрофе на Южном Урале. Ее последствия изучались в закрытых ведомствах в течение нескольких десятилетий. Сахаровский конгресс специально обратил внимание на то, что «данные по всем предыдущим авариям и инцидентам в СССР должны быть рассекречены и широко доступны для анализа, включая данные о последствиях высоких доз профессионального облучения в Челябинской области с 1947 по 1960 г. и данные об аварии на установке в Кыштыме в 1957 г.».

Ущерб необходимо компенсировать, пострадавших необходимо защитить социально, им должна быть оказана квалифицированная медицинская помощь. Однако никакие действия не могут быть разумными и целенаправленными, если они не подкреплены научными исследованиями, а человек из-за отсутствия информации не в состоянии самостоятельно принять осознанные меры самозащиты. Это слишком большая задача для отдельной, даже высокоразвитой страны. Она требует совместных усилий многих государств. Приоритетными для международного сотрудничества являются радиоэкологические, медицинские и образовательные проблемы, технологии выращивания, переработки и сохранения сельскохозяйственной продукции, фиксация границ радиоактивного загрязнения, захоронение отходов в больших объемах и др.

«Мы глубоко обеспокоены тем, — говорится в заключительных документах Первого международного Сахаровского конгресса, — что эти рекомендации не будут выполнены до тех пор, пока в СССР не будет построено правовое государство и не будут соблюдаться права человека». СССР уже не существует. Не существуют и его бесчеловечные институты. Их разрушению способствовали и события, связанные с Чернобылем, начало которых совпало с поворотом гигантской тоталитарной страны к общечеловеческим ценностям. Мы только приступили к построению общества, в котором главное — права человека и его благополучие.

ПОЯСНЕНИЕ ТЕРМИНОВ

Альфа-частицы — тяжелые заряженные частицы (ядра гелия), состоящие из двух протонов и двух нейтронов, испускаемые при радиоактивном распаде ядер тяжелых элементов.

Беккерель (Бк) — основная единица активности. Равна 1 распаду в секунду. В тысячу раз большая единица — килобеккерель (кБк); в миллион — мегабеккерель (Мбк).

Бета-спектр — распределение бета-частиц по их энергиям. При бета-распаде испускаются частицы в диапазоне от нулевой до некоторой максимальной энергии, характерной для каждого радионуклида.

Бэр — старая единица эквивалентной дозы; равна 0,01 Зв.

Временные допустимые уровни (ВДУ) — временно устанавливаемые на период радиационной аварии предельно допустимые концентрации радиоактивности. Здесь — в пищевых продуктах. Рассчитываются исходя из рациона питания и установленного предела дозы.

Гамма-излучение, гамма-кванты — высокопроникающее излучение, порции энергии, испускаемые при радиоактивном распаде.

«Горячие» частицы — частички ядерного топлива с большим количеством радиоактивных ядер. Обычно содержат изотопы урана, плутония, выплавленных конструкционных материалов и осколки деления.

Грей (Гр) — основная единица поглощенной дозы. Соответствует поглощению 1 Дж энергии ионизирующего излучения в 1 кг вещества.

Дезактивация — комплекс мероприятий по очистке и удалению поверхностных радиоактивных загрязнений.

Доза — количество энергии ионизирующего излучения, переданное некоторой массе вещества.

Дозиметр — прибор для измерения дозы облучения, в основном — экспозиционной.

Допустимые уровни — здесь нормативы поступления радионуклидов в организм человека за год.

Естественный радиоактивный фон — космическое и радиоактивное излучение природных долгоживущих изотопов, характерное для данной местности.

Зиверт (Зв) — единица эквивалентной и эффективной дозы; $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Изотопы — ядра элемента (одинаковые по числу протонов), отличающиеся количеством нейтронов.

Йодная профилактика — профилактическая процедура с целью снижения радиоактивного облучения щитовидной железы йодом-131, состоящая в приеме стабильных йодных препаратов до или в первые часы выброса радиоактивности.

Ионизация — образование пар заряженных ионов на пути бета- или альфа-частиц в поглощающем веществе.

Коллективная доза — суммарная доза, полученная группой облученных людей.

Концентраторы — растительные или животные организмы, интенсивно и избирательно накапливающие некоторые элементы.

Коэффициенты качества излучений (К) — коэффициенты, приписываемые разным излучениям для учета их различной биологической опасности. Применяются для расчета эквивалентной дозы.

Кюри (Ки) — старая единица активности. $1 \text{ Ки} = 37 \text{ млрд. Бк}$, что соответствует количеству распадов за секунду в 1 грамме радия.

ЛД_{50/30} — доза, вызывающая гибель половины (50 %) из подвергнутых облучению организмов в течение 30 дней после воздействия радиации. Для человека $\text{ЛД}_{50/30} = 3,5 \text{ Зв}$.

Летальный исход — гибель организма.

Лучевая болезнь — острое лучевое поражение, заболевание, вызванное большой (выше 1 Зв) дозой ионизирующего излучения, нередко приводящее к смерти. Характеризуется изменением формулы крови, угнетением иммунитета, выпадением волос и другими признаками.

Мутации — изменения в хромосомах, передаваемые по наследству.

Нейтроны — нейтральные элементарные частицы. Входят в состав ядер элементов.

Ожидаемая доза — при хроническом облучении доза, прогнозируемая на некоторый предстоящий период — в течение человеческой жизни или за время полного распада радиоактивных веществ.

Отдаленные последствия — летальный и нелетальный рак, генетические повреждения (уродства, умственная неполноценность в следующих поколениях), сокращение продолжительности и качества жизни, иммунные болезни и другой ущерб здоровью, проявляющийся через длительное время после одноразового или в результате хронического облучения малыми дозами.

Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) — безразмерная величина — опасность облучения относительно гамма- или рентгеновского, измеренная по некоторому заранее выбранному критерию в конкретном радиобиологическом эксперименте.

Период полураспада — время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер данного сорта от их первоначального количества.

Поглощенная доза — энергия, переданная ионизирующим излучением единице массы вещества.

Предельно допустимая доза (ПДД) — наибольшее допустимое значение индивидуальной эффективной дозы за год. Для профессионального облучения ПДД=20 мЗв/год, для населения — 1 мЗв/год.

Предел дозы (ПД) — то же, что ПДД.

Пробег (частицы) — длина пути электрона или альфа-частицы в поглощенной среде — воздухе, биологической ткани и т. п.

Протон — положительно заряженная элементарная частица. Число протонов в ядре определяет химический элемент.

Рад — старая единица поглощенной дозы. 1 рад соответствует поглощению 100 эргов энергии ионизирующего излучения в 1 грамме вещества. 1 рад = 0,01 грея.

Радиоактивность (активность) — количество распадов ядер в некотором образце за единицу времени.

Радиоактивный распад — самопроизвольное превращение ядра некоторого химического элемента в ядре другого химического элемента с испусканием ионизирующих излучений.

Радиометр — прибор для измерения активности по испускаемому при распаде излучению.

Радионуклиды (радиоактивные ядра) — самопроизвольно распадающиеся ядра.

Радиопротекторы — вещества, повышающие устойчивость к облучению.

Радиофобия — термин понимается как собирательное понятие психопатологических состояний и психосоматических заболеваний, вызванных страхом перед радиацией.

Рентген — старая единица экспозиционной дозы.

Риск — здесь вероятность отдаленных последствий воздействия облучения.

СИЧ (счетчик импульсов человека) — прибор для измерения радиоактивности в теле человека по гамма-излучению.

Стохастические эффекты — см. Отдаленные последствия.

Тканевые коэффициенты (ТК) — коэффициенты для расчета эффективной дозы, учитывающие различную радиочувствительность облучаемых органов и тканей

Химический элемент — разновидность атомов вещества, в ядрах которых содержится одинаковое количество протонов. Проявляет специфические химические и биологические свойства, присущие только ему.

Хромосомные aberrации — нарушения в генах (участках) хромосом, искажающие закодированную в них информацию. Часто приводят к гибели клетки.

Человеко-зиверт (чел-Зв) — единица коллективной дозы.

Эквивалентная доза — дозиметрическая величина для измерения радиобиологических эффектов при воздействии ионизирующего излучения произвольного состава. Измеряется в зивертах.

Экспозиционная доза, экспозиция — величина ионизации, создаваемой рентгеновским или гамма-излучением в воздухе. Характеризует неблагополучие радиационной обстановки. Измеряется в кулонах на килограмм воздуха или рентгенах, а также в производных от них единицах. Научный комитет по действию атомной радиации при ООН рекомендует воздерживаться от применения этих терминов в практике.

Электрон — самая легкая отрицательно заряженная элементарная частица. Количество электронов в оболочке атома соответствует числу протонов в ядре, так что в целом атом химического элемента нейтрален. Испускается при бета-распаде нестабильного ядра.

Электронвольт (эВ) — единица энергии в ядерно-физической шкале. 1 эВ соответствует энергии, которую приобретает электрон в поле с разностью потенциалов 1 вольт. Используется для сравнения и измерения энергии ионизирующих излучений.

Эффективная доза, эффектанс — основная дозиметрическая величина для оценки ущерба здоровью человека от воздействия излучения произвольного состава. Учитывает чувствительность к облучению органов и тканей. Измеряется в зивертах.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов.....	3
Строительные материалы мироздания.....	5
Молекулы, атомы, изотопы.....	5
Радиоактивность.....	8
Радиоактивные излучения.....	13
Дозы облучения.....	16
Радиационный эффект.....	16
Экспозиционная доза.....	18
Поглощенная доза.....	20
Радиобиологические эффекты.....	21
Эквивалентная доза.....	26
Эффективная доза.....	27
Ожидаемая доза.....	29
Коллективные дозы.....	29
Радиоактивный фон и дозы естественного облучения	32
Космические лучи.....	32
Естественная радиоактивность почвы и земных пород.....	34
Природная радиоактивность и человек . . .	37

Антропогенный радиационный фон.....	37
Радиоактивные излучения в медицине . . .	38
Атомные и термоядерные взрывы	39
Радиоактивность ядерных взрывов и фоновые дозы.....	44
Радиационные аварии	48
Как работает атомный реактор?.....	48
Радиоактивные вещества в реакторе ...	53
Классификация радиационных аварий . . .	67
Чернобыльский выброс.....	64
Радиационная обстановка в Беларуси до и после аварии.....	68
Глобальный характер Чернобыльской катастрофы	69
Влияние на экосистемы короткоживущих нуклидов	'
Как образовались пятна радиоактивности?	75
180	
Виды радиоактивных выпадений	87
Поведение нуклидов в почве.....	88
Нуклиды водных экосистем.....	90
Воздушный перенос радионуклидов ...	92
Радиоизотопы и биосфера.....	95
Поведение радиоактивных веществ в природе	95
Нуклиды и растительный мир.....	96
Влияние нуклидов на животных	101
Радиоактивность в человеческом организме	102
Оценка доз в результате Чернобыльской аварии	106
Медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС.....	111
Классификация радиационных эффектов . . .	Ш
Острые и хронические лучевые поражения . . .	Ц4
Отдаленные последствия.....	117
Психологические эффекты.....	129
Влияние Чернобыльской аварии на здоровье	130
Радиационная гигиена.....	137
Какое облучение «допустимо»?.....	137
Радиометры и дозиметры.....	144
Как уменьшить радиационную опасность? . . .	150

Что надо помнить, проживая на загрязненных территориях.....	158
Проблемы Чернобыльской аварии.....	159
Захоронение реактора.....	159
Радиационная защита населения	160
Социальная защита и политика.....	164
Международный Чернобыльский проект .	168
Международное сотрудничество	172
Пояснение терминов.....	175

Научно-популярное издание

ЛЮЦКО Александр Михайлович, РОЛЕВИЧ Игорь Викторович, ТЕРНОВ

Владимир Иванович

ЧЕРНОБЫЛЬ:

ШАНС ВЫЖИТЬ

Редактор А. Н. Найдович (Художник)Ф. С. Тулько (Художественный редактор Л. И. М е л о в

Технические редакторы М. И. Ванкевич, Т. А. Тарасенко Корректоры Л. А. Адамович, А. В. А л е ш к о, Л. И. Ж и-линская, Л. К. Семенова

Сдано в набор 25.09.95. Подписано в печать 10.01.96.Формат 84X Ю8'/з2-Гарнитура школьная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,66. Усл. кр.-отт. 10,08. Уч.-изд. л. 8,44. Тираж 5000 экз. Изд. № 9205. Зак. 1170.

Издательство «Полымя» Государственного комитета Республики Беларусь по печати.

Лицензия ЛВ № 432. 220600, Минск, пр. Машерова, И-

Типография «Победа». 222310, Молодечно, В. Тавлая, 11.