



Генеральная Ассамблея

Distr.
GENERAL

A/48/46
23 September 1993
RUSSIAN
ORIGINAL: ENGLISH

Сорок восьмая сессия

ДОКЛАД НАУЧНОГО КОМИТЕТА ПО ДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ
ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ГЕНЕРАЛЬНОЙ АССАМБЛЕЕ*

* Настоящий документ является mimeографическим вариантом доклада Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад будет впоследствии издан в качестве Официальных отчетов Генеральной Ассамблеи, сорок седьмая сессия, Дополнение № 46 (A/48/46).

СОДЕРЖАНИЕ

	<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
I. ВВЕДЕНИЕ	1 - 9	3
II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	10 - 64	5
A. РАДИОБИОЛОГИЯ	17 - 49	7
1. Объект воздействия радиации	17 - 26	7
2. Эффекты индуцированных изменений клеточного генетического кода	27 - 49	8
B. ЭПИДЕМИОЛОГИЯ	50 - 64	13
III. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ	65 - 111	17
A. ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ	65 - 78	17
1. Дозиметрические величины	66 - 72	17
2. Риск и ущерб	73 - 78	18
B. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЛЮДЕЙ	79 - 111	19
1. Детерминистические эффекты	82 - 95	20
2. Индуцированный облучением рак	96 - 107	23
3. Воздействие на наследственность	108 - 111	25
IV. ИСТОЧНИКИ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ	112 - 174	25
A. ОСНОВА ДЛЯ СРАВНЕНИЙ	112 - 117	25
B. УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ	118 - 174	27
1. Облучение от естественных источников	118 - 120	27
2. Медицинское облучение	121 - 134	28
3. Облучение в связи с ядерными взрывами и производством ядерного оружия	135 - 140	30
4. Облучение в связи с выработкой электроэнергии атомными электростанциями	141 - 146	32
5. Облучение населения в связи с крупными авариями	147 - 156	33
6. Профессиональное облучение	157 - 169	35
7. Обобщение современной информации	170 - 174	39
V. ВОСПРИЯТИЕ РАДИАЦИОННОГО РИСКА	175 - 180	41
VI. РЕЗЮМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ	181 - 189	42
A. УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ	181 - 183	42
B. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ	184 - 186	43
C. ПЕРСПЕКТИВЫ	187 - 189	43

Добавления

I. Члены национальных делегаций, участвовавшие в работе тридцать восьмой-сорок второй сессий	45
II. Научные сотрудники и консультанты, сотрудничавшие с Комитетом при подготовке настоящего доклада	47

1. ВВЕДЕНИЕ

1. Научный комитет по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций (НКДАР ООН) 1/ представляет Генеральной Ассамблее 2/, а соответственно и научной общественности и мировому сообществу свои последние оценки источников ионизирующего излучения и эффектов облучения. Настоящий документ является одиннадцатым в серии докладов НКДАР ООН, выпускаемых Комитетом с начала своей деятельности в 1955 году. Основные цели деятельности Комитета заключаются в оценке последствий для здоровья людей широкого диапазона доз ионизирующего излучения и в оценке дозы, получаемой населением всего мира от естественных и созданных деятельностью человека источников излучения.

2. Настоящий доклад и научные приложения к нему (см. пункт 9) 3/ готовились в период с тридцать восьмой по сорок вторую сессию Комитета. Материал для настоящего доклада разрабатывался на ежегодных сессиях Комитета, при этом за основу брались рабочие документы, подготовленные секретариатом, в которые вносились изменения и

1/ Научный комитет по действию атомной радиации создан Генеральной Ассамблеей на ее десятой сессии в 1955 году, а его мандат изложен в резолюции 913 (X) от 3 декабря 1955 года. Первоначально в состав Комитета входили следующие государства-члены: Австралия, Аргентина, Бельгия, Бразилия, Египет, Индия, Канада, Мексика, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Соединенные Штаты Америки, Союз Советских Социалистических Республик, Франция, Чехословакия, Швеция и Япония. Впоследствии членский состав был расширен Ассамблеей в ее резолюции 3154 С (XXVIII) от 14 декабря 1973 года, согласно которой в Комитет вошли Индонезия, Перу, Польша, Судан и Федеративная Республика Германия. Приняв резолюцию 41/62 В от 3 декабря 1986 года, Ассамблея увеличила число членов Комитета до 21 и предложила Китаю войти в состав Комитета.

2/ Предыдущие доклады по вопросам существа НКДАР ООН Генеральной Ассамблее см. Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, тринадцатая сессия, Дополнение № 17 (A/3838); там же, семнадцатая сессия, Добавление № 16 (A/5216); там же, девятнадцатая сессия, Добавление № 14 (A/5814); там же, двадцать первая сессия, Добавление № 14 (A/6314 и Corr.1); там же, двадцать четвертая сессия, Дополнение № 13 (A/7613 и Corr.1); там же, двадцать седьмая сессия, Добавление № 25 (A/8725 и Corr.1); там же, тридцать вторая сессия, Добавление № 40 (A/32/40); там же, тридцать седьмая сессия, Добавление № 45 (A/37/45); там же, сорок первая сессия, Добавление № 16 (A/41/16); и там же, сорок третья сессия, Добавление № 45 (A/43/45). Эти документы упоминаются как доклады 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972, 1977, 1982, 1986 и 1988 годов, соответственно. Доклад 1972 года с научными приложениями был издан под названием Ионизирующее излучение: уровни и эффекты, том I: Уровни и том II: Эффекты (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R. 72. IX. 17 и 18). Доклад 1977 года с научными приложениями был издан под названием Источники и эффекты ионизирующего излучения (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R. 77. IX. 1). Доклад 1982 года с научными приложениями был издан под названием Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R. 82. IX. 8). Доклад 1986 года с научными приложениями был издан под названием Генетические и соматические эффекты ионизирующего излучения (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R. 86. IX. 9). Доклад 1988 года с приложениями издан под названием Источники, эффекты и риски ионизирующего излучения (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R. 88. IX. 7).

3/ Будет выпущен в виде издания для продажи.

поправки от одной сессии к другой в соответствии с требованиями Комитета. Настоящий доклад основан прежде всего на данных, представленных государствами-членами до конца 1989 года. При толковании этих данных использована более современная информация.

3. Обязанности Председателя, заместителя Председателя и Докладчика на перечисленных ниже сессиях исполняли соответственно следующие члены Комитета: тридцать восьмая и тридцать девятая сессии - К. Локан (Австралия), Ж. Мезен (Бельгия) и Э. Летурно (Канада); сороковая и сорок первая сессии - Ж. Мезен (Бельгия), Э. Летурно (Канада) и Л. Пинильос Аштон (Перу); сорок вторая сессия - Э. Летурно (Канада), Л. Пинильос Аштон (Перу) и Г. Бенгтссон (Швеция). Фамилии экспертов, принимавших участие в работе сессий Комитета начиная с тридцать восьмой и кончая сорок второй в качестве представителей или членов национальных делегаций, приводятся в добавлении I.

4. Одобряя настоящий доклад и, следовательно, принимая на себя полную ответственность за его содержание, Комитет выражает признательность за помощь и рекомендации, поступавшие от небольшой группы консультантов, которые по назначению Генерального секретаря оказывали содействие в подготовке текста и научных приложений. Их фамилии приводятся в добавлении II. Они отвечали за предварительный просмотр и оценку технической информации, получаемой Комитетом или имеющейся в открытой научной литературе, на которой основываются заключительные выводы Комитета.

5. В работе сессий Комитета, проходивших в рассматриваемый период, принимали участие представители Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ). Комитет выражает им признательность за тот вклад, который они внесли в ходе обсуждения.

6. В настоящем докладе Комитет обобщает основные выводы научных приложений. Они являются результатом предыдущих докладов НКДАР ООН и учитывают научную информацию, опубликованную после них. Основной исторический обзор деятельности Комитета, включающий развитие концепций и оценок, изложен в докладе НКДАР ООН за 1988 год. Настоящий доклад включает общее введение к биологическим эффектам ионизирующего излучения, основанное на современном понимании проблем (глава I). Для количественной оценки биологических эффектов излучения и определения облучения, вызывающего их, необходимо иметь представление о величинах и единицах излучения (см. раздел A главы II доклада).

7. Последствия облучения ионизирующим излучением оцениваются (раздел B главы II) посредством использования результатов как радиобиологических исследований, так и эпидемиологического изучения облученных человеческих популяций. Различные источники радиоактивного облучения человека кратко описываются и оцениваются в главе III. Оценки доз даются на основе информации, приведенной в опубликованной литературе, дополненной данными, представленными многими государствами - членами Организации Объединенных Наций. Тем, кто пользуется докладами НКДАР ООН, часто приходится учитывать степень восприятия людьми риска, связанного с ионизирующим излучением. Такое восприятие зависит от различных индивидуальных и социальных факторов и взаимодействий. Основные особенности восприятия радиационного риска рассматриваются в главе IV. В главе V содержится краткое резюме и рассматриваются некоторые перспективы.

8. Комитету известно, что доклад НКДАР ООН Генеральной Ассамблее и научные приложения к нему имеют широкий круг читателей. Как отдельные люди, так и члены правительств всех стран мира выражают озабоченность в связи с возможной опасностью радиации. Ученые и специалисты в области медицины проявляют большой интерес к данным, собранным в докладах НКДАР ООН, и к представленным в них методикам радиационных оценок. В своей работе Комитет руководствуется научным подходом к рассматриваемым материалам и при выработке своих заключений стремится сохранить независимую и нейтральную позицию. Результаты деятельности Комитета для широкого читателя представлены в основном тексте доклада Генеральной Ассамблее. Подкрепляющие научные приложения написаны в той форме и тем языком, которые предназначены главным образом для специалистов.

9. В соответствии с установившейся практикой Генеральной Ассамблее представляется только основной текст доклада, а полный доклад НКДАР ООН, включающий научные приложения, будет выпущен в качестве предназначенного для продажи издания Организации Объединенных Наций. Эта практика имеет целью обеспечить более широкое распространение полученных данных в интересах международного научного сообщества. Комитет хотел бы обратить внимание Ассамблеи на то, что основной текст доклада представляется отдельно от научных приложений только по соображениям удобства. Следует учитывать, что научные данные, содержащиеся в указанных приложениях, чрезвычайно важны, поскольку они послужили основой для сделанных в докладе выводов.

II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

10. Процесс ионизации вызывает изменения атомов и молекул. В клетках такое начальное повреждение может иметь как краткосрочные, так и отдаленные последствия. Если действительно происходит клеточное повреждение и оно должным образом не репарируется, то это может препятствовать выживанию или репродукции клетки или привести к образованию жизнеспособной, но модифицированной клетки. Эти две возможности имеют глубоко различное значение для всего организма в целом.

11. Функции большинства органов и тканей тела не зависят от потери небольшого или иногда даже существенного числа клеток. Но если число потерянных клеток в ткани достаточного велико и эти клетки достаточно важны, то этим будет причинен заметный ущерб, отражающийся в потере функции ткани. Вероятность нанесения такого ущерба будет нулевой при низких дозах, но выше некоторого уровня (порога) дозы она будет резко возрастать до единицы (100 процентов). Выше указанного порога степень серьезности ущерба также будет возрастать с дозой. Этот тип эффекта называется "детерминистическим", поскольку он обязательно будет иметь место, если доза будет достаточно велика. Если потеря клеток может быть компенсирована репопуляцией, эффект будет относительно кратковременным. Если доза облучения обусловлена определенным событием, пострадавших лиц обычно можно установить. Некоторые детерминистические эффекты имеют характерные особенности, которые отличают их от аналогичных эффектов, вызываемых другими причинами, и могут помочь в установлении облученных лиц. Неожиданное проявление детерминистических эффектов иногда помогало установить, что имело место определенное начальное событие.

12. Последствия будут совсем другими, если облученная клетка не погибнет, а модифицируется. Тогда она сможет образовать клон модифицированных дочерних клеток. В организме существует несколько высокоэффективных защитных механизмов, но было бы нереально ожидать, что они всегда будут полностью эффективными. Следовательно, клон клеток, образованный модифицированной, но

жизнеспособной соматической клеткой, может иногда приводить после продолжительного и различного по своей длительности периода, называемого латентным периодом, к проявлению злокачественного состояния, т.е. к раку. Вероятность, но не тяжесть рака возрастает с увеличением дозы. Этот тип эффекта называется стохастическим, что означает, что данный эффект имеет "произвольный или статистический характер". Если повреждение происходит в клетке, функция которой заключается в передаче генетической информации последующим поколениям, эффекты, которые могут быть самыми разнообразными по виду и степени серьезности, проявляются в потомстве подвергавшегося облучению человека. Этот тип стохастического эффекта называется наследственным. Даже если дозы известны, повышенную распространенность раковых заболеваний и наследственных нарушений в организме можно выявить лишь с помощью статистики: подвергшиеся облучению лица не могут быть выявлены. Более подробно об этом говорится ниже.

13. Облучение из источников ионизирующего излучения является главным предметом озабоченности Комитета прежде всего потому, что оно производит изменения в спектре рисков, которым подвергается человечество. Поэтому основной частью деятельности Комитета продолжает быть рассмотрение и интерпретация данных, которые обеспечивают лучшее понимание количественных связей между радиоактивным облучением и эффектами для здоровья. За исключением серьезных аварий и нежелательного, но неизбежного облучения здоровых тканей при рентгенотерапии, получаемые человеком дозы не так велики, чтобы вызывать детерминистические эффекты. Хотя Комитет продолжает проявлять интерес к детерминистическим эффектам (одно из приложений к настоящему докладу посвящено детерминистическим эффектам у детей), большая часть его деятельности в области биологии в последние годы касалась стохастических эффектов у людей.

14. Наиболее подходящими источниками информации о биологических эффектах ионизирующего излучения являются непосредственно полученные результаты исследований групп населения, подвергавшихся облучению известными и различными уровнями излучения. Сравнительное исследование здоровья таких групп известно как эпидемиология. Эта область науки требует как медицинских, так и математических знаний. Более подробно этот вопрос рассматривается в разделе I.B. Кроме того, значительный объем информации о механизмах повреждения и соотношениях между дозой и вероятностью вредных эффектов у людей может быть получен из биологических исследований изолированных клеток, выращиваемых *in vitro*, и экспериментах на животных. Исследования такого рода позволяют установить связь между причиненными клеткам повреждениями и возможными эффектами в тканях или во всем организме. Затруднительно по не относящимся к людям данным сделать количественные прогнозы риска для людей, но когда данные, касающиеся людей, отсутствуют, можно использовать непосредственно данные по животным.

15. Основной практический интерес в отношении радиационного риска вызывает диапазон низких доз и мощностей дозы, с которыми люди сталкиваются при выполнении работы с источниками радиации или в других ситуациях повседневной жизни. С другой стороны, наибольшее количество эпидемиологической информации связано с ситуациями, касающимися более высоких доз и дозовых мощностей. В настоящее время проводится ряд исследований по дозам, вызывающим более непосредственный интерес, например касающихся людей, работающих с радиацией в атомной промышленности или облучаемых радоном в зданиях.

16. Важно представлять себе, что эпидемиологические исследования не должны быть основаны на понимании биологических механизмов рака. Однако их интерпретация существенно улучшается, если они подтверждаются биологической информацией, ведущей к убедительным биологическим моделям. Такие модели

обеспечивают концептуальную основу для интерпретации результатов эпидемиологии, в основном задавая зависимости доза-реакция, параметры которых могут быть подогнаны к наблюдаемым эпидемиологическим результатам. Информация, обеспечиваемая экспериментальной биологией, дополняется также биофизическими знаниями относительно первоначального депонирования энергии излучения в облученных тканях. Затем полученные теоретическим и экспериментальным путем данные комбинируются для получения количественной зависимости между дозой и вероятностью возникновения соответствующих видов рака.

А. РАДИОБИОЛОГИЯ

1. Объект воздействия радиации

17. Наиболее важным объектом воздействия радиации является дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) - генетический материал клеток. Клеточные исследования *in vitro* убедительно свидетельствуют о том, что пагубные эффекты радиации проистекают от повреждения, вызываемого ею в клеточной ДНК.

18. ДНК присутствует в хромосомах, которые являются основными компонентами клеточных ядер. Перед каждым делением соматической клетки хромосомы удваиваются, так что каждая дочерняя клетка получает идентичный набор хромосом. Каждый вид млекопитающих характеризуется определенным и постоянным числом, размерами и морфологией хромосом.

19. Чтобы объяснить механизмы повреждения клеток ионизирующим излучением необходимо дать упрощенное описание функции молекулы ДНК. Хотя сохранение общей хромосомной структуры жизненно важно для нескольких процессов с участием ДНК, именно полимер ДНК является источником информации, которая переходит от клетки к ее потомкам. Информация закодирована в линейной последовательности чередующихся молекулярных структур, называемых парами оснований. Эти пары образуют связи между нитями двухспиральной основы полимера ДНК.

20. Код пар оснований в ДНК образует группы, причем каждая представляет основную единицу клеточной информации и наследственности - ген. В клетке млекопитающих существует примерно 100 000 генов, правильное функционирование каждого из которых зависит от сохранения постоянной последовательности пар оснований молекулы ДНК. Изменения этой последовательности путем замены, потери или добавления пар оснований могут изменить функцию гена. Такие изменения называются генетическими мутациями.

21. Известно, что молекулам ДНК радиацией может быть нанесен ущерб. Здесь действуют два механизма: а) прямой эффект ионизации в структуре молекулы ДНК, и б) косвенные эффекты образования активных химических радикалов вблизи молекулы ДНК и диффузия этих радикалов в молекулу ДНК, где они индуцируют химические изменения. Как прямые, так и косвенные эффекты имеют вероятностный характер, причем вероятность их возникновения увеличивается с возрастанием дозы и объема мишени. Существует много других причин, в результате которых повреждаются молекулы ДНК, включая ошибки в репликации, когда происходит деление клеток.

22. Повреждение молекул ДНК, включая радиационное повреждение, подвергается воздействию весьма эффективных механизмов репарации, основанных на "посреднической" деятельности ферментов. В случае повреждения одной нити

молекулы ДНК в гене механизма восстановления могут использовать информацию, обеспечиваемую комплементарными основаниями другой нити. В этом случае репарация весьма вероятна, но, как в любой сложной системе, она не всегда свободна от ошибок. Однако иногда ущерб может быть нанесен обоим цепям в той же точке в гене. В этих случаях репарация может оказаться более затрудненной и возрастает вероятность изменений или утраты генетического кода.

23. Радиационный трек состоит из серии отдельных событий, каждое из которых связано с локальным депонированием энергии. Если это депонирование происходит в непосредственной близости от молекул ДНК и является достаточно значительным, то в основаниях молекул ДНК и нитях основы может иметь место молекулярное повреждение. Характер и вероятность биологического ущерба в связи с таким повреждением молекул ДНК зависят от плотности депонирования энергии вдоль треков, пересекающих молекулы ДНК, а также от сложного взаимодействия между повреждением и репарационными ферментами клетки. При рассеянных ионизирующих излучениях, таких, как рентгеновское, результирующий эффект этих процессов обуславливает криволинейный характер зависимости между дозой и эффектом для большинства стохастических эффектов. Сильно ионизирующее излучение, состоящее, например, из альфа-частиц и протонов, продуцируемых нейтронами, вызывает стохастические эффекты более эффективно, при этом более вероятен линейный характер зависимости между дозой и эффектом.

24. В дополнение к этим эффектам для отдельной точки в ДНК присутствие ряда ионных пар, рассеянных по ядру, может вызвать изменения клеток, усложняющие простые схемы реакции, описанные выше.

25. Независимо от особенностей биологического механизма вероятность того, что излучение индуцирует специфические изменения в клеточном генетическом коде в результате единичных треков и дополнительного взаимодействия множественных треков, может быть выражена как сумма двух членов, одного - пропорционального дозе, и другого - пропорционального квадрату дозы. При низких дозах с любой мощностью дозы и при высоких дозах с низкой дозовой мощностью действует только член, пропорциональный дозе. При высоких дозах с высокой дозовой мощностью имеют значение оба члена. При сильно ионизирующем излучении, например, состоящем из альфа-частиц, имеется меньше треков, но с большей плотностью на единицу дозы, и более вероятно, что каждый трек нанесет ущерб, который не будет успешно репарирован, поэтому вероятней, что это взаимоотношение пропорционально дозе при всех дозах и дозовых мощностях.

26. Когда ткани человека облучаются из источников ионизирующего излучения, произвольно индуцируются различные изменения клеточного генетического кода (мутации) с вероятностью, зависящей, как уже указывалось, от дозы. Для любого данного изменения ожидаемое число измененных клеток будет равно произведению вероятности и числа клеток, подверженных риску. Считается, что эти подверженные риску клетки являются стволовыми клетками тканей, т.е. клетками, которые поддерживают существование тканей делением, компенсируя те клетки, которые созревают, видоизменяются и, в конечном счете, погибают в ходе так называемого репродуктивного цикла клеток.

2. Эффекты индуцированных изменений клеточного генетического кода

27. Некоторые изменения генетического кода несовместимы с устойчивой репродукцией клеток, приводя в результате к гибели потомства клетки. Если при этом не погибает большое количество клеток, то гибель этих клеток обычно не имеет последствий для тканей или органов в силу большого количества клеток в ткани и весьма значительного резервирования функциональной способности ткани.

28. Гибель клеток от облучения может количественно изучаться *in vitro* на клеточных культурах, обеспечивая информацию о форме зависимости доза-реакция. Радиационные аварии и эксперименты *in vivo* на животных показывают, что высокие дозы могут достаточно ослаблять ткани для того, чтобы вызывать функциональную недостаточность. В свою очередь детерминистические эффекты в некоторых тканях, таких, как сосудистые и соединительные ткани, вызывают вторичные повреждения других тканей.

29. Другие виды изменений клеточного генетического кода приводят к образованию жизнеспособных, но модифицированных клеток. Некоторые из этих клеток могут принадлежать к линиям гонадных клеток (яйцеклетки или сперма), и их изменение будет проявляться в виде наследственных эффектов. Другие будут оставаться в облученных тканях, являясь потенциальной причиной соматических эффектов. В обоих случаях эффекты имеют стохастический характер и зависят от вероятного характера индуцирования изменений в клеточном генетическом коде.

а) Детерминистические эффекты

30. Если гибель отдельной клетки является стохастическим эффектом, то повреждение органа или ткани требует гибели большого числа клеток и, следовательно, наступает после превышения дозами определенных порогов. Уменьшение числа клеток является динамическим процессом, конкурирующим с размножением неповрежденных клеток, поэтому повреждение ткани зависит как от дозы, так и от ее мощности. Хотя изменения в отдельных клетках являются стохастическими по характеру, изменения в большом числе клеток приводят к детерминистическому результату, поэтому такие эффекты называются детерминистическими.

31. Поскольку доля погибших клеток зависит от дозы, то и степень детерминистического эффекта зависит от дозы. Если группа людей с различной степенью восприимчивости облучается от источников ионизирующего излучения, то порог детерминистических эффектов достаточной тяжести, поддающейся наблюдению, в данной ткани у более восприимчивых людей будет достигаться при меньших дозах. При возрастании дозы у большего числа людей будет проявляться поддающийся наблюдению эффект вплоть до дозы, выше которой эффект будет наблюдаться у всей группы.

32. Примерами детерминистических эффектов являются временная и постоянная стерильность яичек и яичников; подавление функций кроветворной системы, приводящее к уменьшению числа клеток крови; покраснение и шелушение кожи, а также образование на ней нарывов и волдырей, ведущие к возможной потере кожного покрова; индуцирование помутнения хрусталика и ухудшение зрения (катаракта); и воспалительные процессы практически во всех органах. Некоторые эффекты имеют косвенный характер, поскольку они являются результатом детерминистических эффектов в других тканях. Например, радиационные эффекты в кровеносных сосудах, приводящие к воспалению и в конечном счете к фиброзу, могут вызывать повреждение тканей, обслуживаемых этими кровеносными сосудами.

33. Особым случаем детерминистического эффекта является радиационный синдром, возникающий в результате острого облучения всего тела. Если доза достаточно высока, то в результате резкого уменьшения числа клеток и воспаления в одном или нескольких жизненно важных органах (кроветворные органы, желудочно-кишечный тракт и центральная нервная система, перечисленные в порядке понижения восприимчивости) может наступить смерть.

34. Во время развития органа *in utero* детерминистические радиационные эффекты наиболее выражены в период формирования соответствующей ткани. Гибель даже немногих, но важных клеток может привести к порокам развития вследствие отсутствия потомства таких клеток. Очень важным эффектом облучения *in utero* является связанное с дозой увеличение психических нарушений различной степени вплоть до серьезных форм умственной отсталости и включая их.

35. Предполагается, что индуцирование отставания умственного развития является результатом нарушения пролиферации, нарушения дифференциации, миграции и соединения нервных клеток во время формирования соответствующей ткани (коры головного мозга), а именно в период от 8 до 15 недель после зачатия у людей. Количество неправильно соединенных нервных клеток зависит от дозы. Если в качестве первого приближения принять, что степень психических расстройств пропорциональна этому количеству, то следует ожидать, что стандартные показатели когнитивных функций, например коэффициент умственного развития (КУР), должны отражать эту зависимость от дозы.

36. В группах населения КУР имеет приблизительно нормальное распределение (распределение Гаусса), среднее значение которого условно принимается за 100. Поскольку средний уровень КУР уменьшается с увеличением дозы облучения, по-видимому, без увеличения амплитуды распределения (стандартного отклонения), то уменьшение значений КУР может быть описано равномерным сдвигом кривой КУР влево (к меньшим значениям). Если патологическое состояние определяется как снижение КУР индивидуума ниже обусловленной величины, то такой сдвиг увеличит число лиц с патологическим состоянием. Этот факт важен для интерпретации эпидемиологически наблюдаемой умственной отсталости, индуцированной ионизирующим облучением, которая рассматривается в разделе II.B.1.

б) Индуцирование рака

37. Существуют неопровержимые свидетельства того, что большинство видов рака, если не все, происходят от повреждения единичных клеток. Заболевание раком связано с нарушением регуляции роста, репродукции и развития соматических стволовых клеток, т.е. с потерей контроля над репродуктивным циклом клеток и процессами дифференциации. Точковые мутации и повреждения хромосом играют роль в инициации неоплазий. Инициация может иметь место в результате инактивации генов - суппрессоров опухоли, причем некоторые из них могут играть главную роль в контроле над клеточным циклом. Хотя клетки могли уже претерпеть иницирующие изменения, они не будут проявлять свои свойства, пока не будут стимулированы ("поощрены") к размножению химикатами, гормонами и т.п., присутствующими в окружающей их среде. Стимулирующие агенты могут быть совершенно независимыми от иницирующего агента.

38. Единичные изменения клеточного генетического кода обычно недостаточны, чтобы привести к появлению полностью трансформированной клетки, способной вызвать рак; для этого требуется серия нескольких мутаций (возможно, от 2 до 7). При спонтанном развитии рака эти мутации происходят произвольно в течение жизни. Таким образом, даже после начальной трансформации клетки и стимулирования ее к дальнейшей трансформации необходимы дополнительные мутации для завершения клонального перехода от предракового состояния к открытому раку, и они вполне могут иметь место. Весь процесс был назван многостадийным канцерогенезом.

39. Вероятно, что радиация действует на ранних стадиях многостадийного канцерогенеза, но, как представляется, ее главная роль заключается в изначальном переводе нормальных стволовых клеток в иницированное предраковое

состояние. Действие радиации – это лишь один из многих процессов, влияющих на развитие рака, так что возраст, при котором проявляется радиогенный рак, не очень отличается от возраста, при котором рак возникает спонтанно. Однако при некоторых обстоятельствах радиацией могут быть затронуты более поздние стадии, в результате чего изменяется момент появления рака.

40. Инициирование рака обеспечивает до некоторой степени клетки-мишени пролиферативными преимуществами и преобладанием мутаций над отбором, которые проявляются после соответствующей промоции. Таким преимуществом может являться более короткое, чем у нормальных клеток, время репродукции или блокирование нормальной дифференциации клеток. С другой стороны, очень небольшое число трансформированных клеток погружено в значительно большее количество нормальных клеток, и предраковые свойства первых могут сдерживаться их соседями. Преодоление этих препятствий является важнейшей особенностью неопластического процесса.

41. Даже обладая пролиферативным преимуществом, трансформированные клетки и их потомство также могут быть уничтожены произвольным процессом, состоящим из репродукции, конечной дифференциации и гибели клеток и находящимся в зрелых тканях в стабильном состоянии. Вероятность уничтожения зависит от количества трансформированных клеток и степени их автономности. По меньшей мере одна клетка должна привести к образованию клона модифицированных клеток, чтобы развился рак. Вероятность этого связана с дозой дозовой зависимостью такого же типа (линейной или линейно-квадратичной), что и дозовая зависимость, рассматриваемая в отношении наследуемых мутаций. Это в общих чертах подкрепляет положение, согласно которому произвольно индуцируемые в клетках события ответственны за индуцирование рака.

42. Многие эксперименты на животных подтверждают прогнозируемую форму зависимости доза–реакция. Следует отметить, что при более высоких дозах гибель клеток становится существенной, конкурируя с трансформацией клеток и вызывая прогиб кривой доза–реакция. В частности, следует подчеркнуть, что:

а) если не считается маловероятным происхождение большинства видов рака от единичной клетки, то не следует ожидать выявления порога при низких дозах;

б) если ионизирующее излучение действует главным образом как иницирующее событие, вызывая одну из нескольких требующихся для развития рака мутаций, то можно ожидать, что мультипликативные модели прогнозирования риска во времени будут более реалистичными, чем аддитивные модели (см. также раздел II.B.2).

43. Существуют проблемы оценки риска заболевания раком в отношении облучений при низких дозах и низких дозовых мощностях, поскольку большая часть данных о людях связана только с высокими дозами и высокими дозовыми мощностями. Обычно используемый при оценке риска подход заключается в том, чтобы подогнать линейную зависимость доза–реакция к имеющимся данным, т.е. применяется метод, который, как обычно считается, обеспечивает верхний предел риска при низких дозах. Это объясняется тем, что квадратичный член будет усиливать реакцию при высоких дозах с высокими мощностями дозы, форсируя увеличение наклона подгоняемой кривой линейной зависимости. Затем, исходя из радиобиологических соображений, можно оценить величину коэффициента, на который следует уменьшить наклон подгоняемой кривой, чтобы получить оценку линейного компонента линейно-квадратичной зависимости. Начинает появляться непосредственная информация о людях, облученных при низких дозах, которая во все большей степени обеспечит проверку оценок, полученных на основании данных при высоких дозах.

44. Новые системы исследования трансформации клеток *in vitro* и исследования на клеточном и молекулярном уровнях с применением этих систем, включая изучение новообразований у животных, как представляется, должны быть потенциально высокопродуктивными источниками информации о механизмах индуцирования рака. Современные исследования на клеточном и молекулярном уровнях, возможно, позволят провести различие между радиогенными и другими видами рака. Систематизированные и сохраненные образцы опухолей, полученные от подвергавшихся радиоактивному облучению групп людей, служили бы очень важным материалом для будущих исследований онкогенных механизмов и для установления причинной связи между распространением рака среди населения и воздействием физических или химических канцерогенов, присутствующих в окружающей среде.

с) Воздействие на наследственность

45. Если изменение генетического кода происходит в половых клетках, т.е. в яйцеклетке, сперматозоиде или в продуцирующих их клетках, то эффект передается и может проявляться в качестве наследственных пороков развития у потомства облученных индивидуумов. Исследования с проведением экспериментов на растениях и животных показали, что такие эффекты могут колебаться от незначительных до серьезных функциональных нарушений, анатомических расстройств и наступления преждевременной смерти.

46. В принципе последующим поколениям могут быть переданы любые нелетальные последствия повреждения молекул ДНК половых клеток. Наследственные пороки у людей широко различаются по степени своей серьезности. Доминантные мутации, т.е. изменения генетического кода, производящие клинический эффект при передаче только от одного родителя, могут привести к генетическим порокам в первом поколении потомства. Некоторые из этих пороков весьма губительны для страдающего ими индивидуума и влияют на продолжительность его жизни и способность к деторождению. Некоторые доминантные мутации могут пройти не проявляясь через несколько поколений, а затем вдруг вызвать последствия. Это возможно, если ген подвергся регулирующему воздействию других генов или импринтирован, т.е. если экспрессия гена зависит от пола родителя, от которого он унаследован.

47. Рecessивные мутации – это изменения генетического кода, которые дают клинический эффект только тогда, когда наследуются две копии дефектного гена, обычно по одной от каждого родителя. Они мало влияют на потомков нескольких первых поколений, поскольку большая часть потомства будет наследовать дефектный ген только от одного родителя, а носители, как правило, не испытывают воздействия. Однако recessивные мутации могут накапливаться в генофонде населения, поскольку каждый носитель передает мутацию многим поколениям. И поскольку вероятность того, что оба родителя являются носителями мутации, возрастает, растет и риск того, что ребенок унаследует две копии дефектного гена и испытает вредное воздействие мутации.

48. Важны два момента, касающиеся recessивных мутаций. Recessивная мутация часто дает некоторый эффект, хотя и небольшой, даже если унаследована только одна копия, и поэтому может привести к определенному неблагоприятному положению с точки зрения репродукции. Кроме того, внедрившиеся в генофонд recessивные мутации подвержены процессам, которые направлены на их уничтожение: произвольному уничтожению, называемому дрейфом, и селекции, основанной на неблагоприятном с точки зрения репродукции положении. По этой причине вновь внедренные в генофонд recessивные мутации наносят на протяжении поколений потомков конечный общий ущерб.

49. Третий и часто встречающийся тип пагубных изменений возникает вследствие взаимодействия нескольких генетических факторов и факторов окружающей среды: они известны как многофакторные нарушения. Общее увеличение мутаций, по-видимому, увеличивает число случаев многофакторных нарушений. Степень такого увеличения в настоящее время неясна, однако, по-видимому, невелика.

В. ЭПИДЕМИОЛОГИЯ

50. Результаты эпидемиологических исследований, интерпретируемые с помощью биологических знаний, обеспечивают основу для оценки последствий радиоактивных облучений. Кроме того, целый ряд других исследований подтверждает, что радиация в достаточно больших дозах способна вызывать рак большинства тканей и органов тела. Вместе с тем известен ряд существенных исключений. В настоящее время тремя основными источниками количественной информации о стохастических эффектах радиации у людей являются эпидемиологические исследования лиц, переживших взрывы ядерного оружия в Хиросиме и Нагасаки, пациентов, подвергавшихся облучению в диагностических и терапевтических целях, и некоторых групп работников, сталкивающихся с ионизирующим излучением или радиоактивными веществами по роду своей работы. Как указано далее в этом разделе, маловероятно, что на основе изучения различий в облучении от естественных источников (исключая радон) может быть получена количественная информация о стохастических эффектах, однако некоторые случаи значительного облучения радоном или значительного загрязнения окружающей среды в результате аварий, по-видимому, дают возможность выявлять дополнительные соответствующие группы для изучения.

51. Эпидемиология имеет своей задачей установление закономерностей в возникновении заболеваний, увязывание этих закономерностей с вероятными причинами и затем выражение этих связей в количественном отношении. Данный процесс складывается из проведения наблюдений и составления выводов. Эпидемиологические исследования по своей природе связаны с наблюдением: они скорее определяются обстоятельствами, чем являются результатом экспериментальных проектов. Можно выбрать группу для изучения и методы анализа получаемых данных, но при этом редко представляется возможность видоизменить условия изучаемых групп населения или распределение исследуемых причин. Этим эпидемиология существенно отличается от экспериментальной науки.

52. Комитет рассмотрел три различных вида эпидемиологических исследований: исследования когорт, исследования методом "случай-контроль" и исследования географических корреляций. При исследовании когорты группа индивидуумов (когорты) выбирается на основе их облучения агентом, представляющим интерес, безотносительно к исследуемому заболеванию, например раку. Затем группа наблюдается в ходе последующего периода времени с целью регистрации смертности или заболеваемости, относящихся к соответствующим болезням. Воздействие на членов когорты предполагаемого причинного агента оценивается либо на основе одновременно проводимых измерений, как при профессиональном облучении, либо с помощью ретроспективных исследований. Поэтому становится возможным - при использовании стандартных эпидемиологических методов - сопоставить заболеваемость или коэффициенты смертности после облучения различной степени.

53. Если облучению подверглись все члены когорты и не было достаточно широкого диапазона уровней облучения, чтобы получить несколько групп с различными степенями облучения, то данные об этой когорте необходимо сравнить с данными о контрольной когорте с существенно более низкими уровнями облучения. В идеале эти две когорты должны быть достаточно схожи по

характеристикам, которые могут оказывать влияние на заболеваемость или смертность от изучаемой болезни. В противном случае эти характеристики могут играть роль вводящих в заблуждение факторов, искажающих наблюдаемую зависимость между заболеванием и облучением. Даже внутри когорты могут быть потенциально вводящие в заблуждение факторы, различающие группы с различными уровнями облучения. В тех случаях, когда имеется информация о величинах этих факторов для индивидуумов в когорте, есть возможность их учесть. Когда рассматриваются случаи рака, всегда должны учитываться два очевидных фактора, возраст и пол, но могут оставаться более трудно уловимые факторы, которые могут не поддаваться количественному выражению или даже выявлению, например рацион питания, социальное положение и наследственная предрасположенность.

54. Одним важным исследованием когорты является Исследование продолжительности жизни лиц, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Оно базируется на большой когорте всех возрастов и обоих полов с очень широким диапазоном уровней облучения. Около 60 процентов первоначальной когорты еще живы, так что имеющиеся в настоящее время выводы пока основаны на неполных данных, особенно в отношении лиц, облученных в юности, но это исследование остается наиболее значительным исследованием когорты, используемым Комитетом.

55. При втором типе исследований - исследовании методом "случай-контроль", цель заключается в выявлении всех случаев данного заболевания среди определенной группы населения, например проживающей в конкретном районе в течение определенного периода времени, и затем в выборе для каждого случая одного или нескольких контрольных индивидуумов, не имеющих данного заболевания, но взятых из той же самой группы населения, что и данный случай. Больные и контрольные лица могут затем сравниваться для выяснения того, имеются ли между ними значительные различия в уровнях облучения. Как и в случае исследований когорты, должны предприниматься меры предосторожности для предотвращения воздействия вводящих в заблуждение факторов. Это может быть сделано либо путем сопоставления контрольных групп с группами больных по таким факторам, как возраст и пол, либо с помощью использования при анализе статистических методов.

56. Поскольку при этом должны исследоваться только группы больных и сопоставляемые с ними контрольные группы, исследования с использованием контрольных групп могут дать значительные результаты при охвате более мелких исследуемых групп, чем группы, необходимые для исследования когорты. Поэтому исследования методом "случай-контроль" полезны в ситуациях, когда сбор данных о индивидуальных облучениях требует детальной и обширной работы на местах, что делает исследования когорты невозможными или непозволительно дорогими. Исследования методом "случай-контроль" особенно полезны при изучении влияния облучения радоном в жилых помещениях на рост заболевания раком легких. В этой работе важно принимать во внимание привычку к курению, в отношении которой данные о ее динамике в прошлом почти всегда либо отсутствуют, либо являются ненадежными в рамках исследуемой когорты. Такого рода исследования позволяют получить необходимые данные.

57. Третьим типом исследований является исследование географических корреляций. Эти исследования обычно легче всего проводить, но их труднее всего интерпретировать, и они в наибольшей степени подвержены ошибкам. При исследовании географических корреляций выбирается две или более групп населения, расположенные в разных местах, на основе различий в длительном облучении ионизирующим излучением, происхождением которого являются обычные естественные источники. Затем производится сравнение статистических данных о

состоянии здоровья людей в этих группах для выявления каких-либо имеющих значение различий. При применении этой методики учитываются различия между группами в средних уровнях облучения, но не принимается во внимание распределение доз облучения внутри групп, ибо данные о них имеются в редких случаях. Если с уровнями облучения коррелируются какие-либо значимые вводящие в заблуждение факторы, можно прийти к ложным выводам. До сих пор исследования географических корреляций не имели для Комитета большой ценности, главным образом вследствие трудности отыскания групп с большими и точно известными различиями в уровнях облучения, но с небольшими различиями значений вводящих в заблуждение факторов.

58. Для получения значимых результатов все виды эпидемиологических исследований нуждаются в тщательной разработке, осуществлении и интерпретации полученных данных. Кроме того, исследования, при которых ожидается небольшой абсолютный прирост заболеваемости в том, что касается болезней, уже существующих в естественном виде, таких, как рак, должны быть широкомасштабными, если они предназначаются для получения статистически значимой информации. При этом существуют два основных недостатка эпидемиологических исследований: один статистического характера, порождающий случайные ошибки, а другой демографического характера, порождающий систематические ошибки.

59. Во многих странах пожизненная вероятность смерти от рака составляет примерно 20 процентов. Если сравниваются две группы населения для достоверного выявления эффекта более высокой радиационной дозы в одной из них, необходимо получить данные о статистически значимом различии между ними. Для выявления увеличения смертности, скажем, с 20 процентов до 22 процентов, каждая из этих групп должна иметь численность не менее 5 000 человек. Если вести наблюдение за этими группами до их вымирания, то в не подвергавшейся облучению группе будет зарегистрировано около 1 000 случаев смерти от рака, а в подвергавшейся облучению группе - около 1 100 случаев. 90-процентный предел достоверности применительно к этой разнице составит около 0-200, что является вполне значимой величиной. При современных оценках риска такое увеличение должно бы быть результатом получения в течение жизни всем организмом дозы облучения, равной примерно 0,4 Зв. Это соответствует увеличению в 5 раз типичной пожизненной дозы, получаемой от естественных источников, помимо радона (0,001 Зв в год), для всех 70 лет жизни облученной группы (0,001 Зв в год $\times$ 70 лет $\times$ 5).

60. Вторым недостатком является результатом необходимости совпадения исследуемой и контрольной групп по любым вводящим в заблуждение факторам, которые влияют на заболеваемость раком. Если только исследуемая и контрольная группы не выбираются из одной популяции, имеющей однородный характер, редко оказывается возможным добиться совпадения групп или учесть различия с достаточной степенью точности для достоверного выявления небольшого увеличения смертности от рака. Любое несоответствие при подборе сопоставляемых исследуемой и контрольной групп может привести к смещению, которое невозможно уменьшить простым увеличением размеров групп.

61. Вероятность смещения накладывает серьезные ограничения на возможности проводимых методом географической корреляции исследований смертности в географически удаленных друг от друга группах, таких, как группы, используемые при изучении влияния облучения природным фоновым излучением различного уровня. Это подчеркивает важность исследования когорты, при проведении которого одну популяцию можно подразделить на группы с разными уровнями облучения. Здесь по-прежнему можно столкнуться с вводящими в заблуждение

факторами, которые меняются от группы к группе, но, по всей вероятности, их будет намного меньше, чем между географически удаленными друг от друга группами. Популяции, которые могут быть разделены на группы в соответствии с уровнями облучения, включают группу, охватываемую Исследованием продолжительности жизни в Хиросиме и Нагасаки, группы пациентов, проходящих курс ренгенотерапии, и некоторые профессиональные группы. Учитывая указанные ограничения, важно перед выделением ресурсов предварительно оценивать возможность практического осуществления любого эпидемиологического исследования.

62. Значительная часть количественной информации, имеющейся в исследованиях этих групп населения, ограничивается достаточно высокими дозами и большими мощностями доз. Оценки риска при более низких дозах могут быть получены только путем экстраполяции результатов при высокой дозе. Диапазон этой экстраполяции невелик, поскольку представляющие интерес малые дозы накладываются на неизбежные дозы облучения, полученные от естественных источников.

63. В докладе НКДАР ООН 1988 года Комитет подробно рассмотрел информацию, касающуюся высоких доз и полученную в результате проведения эпидемиологических исследований, с уделением особого внимания данным, представленным из Хиросимы и Нагасаки. Пока слишком рано делать повторный всеобъемлющий обзор данных по Японии, но вместе с тем удалось учесть полученные к настоящему времени дополнительные данные и заново проанализировать прежние выводы. Было проведено значительное исследование различных методов интерпретации данных. В частности, были изучены имеющиеся модели прогнозирования риска для составления оценок пожизненной вероятности смерти в результате облучения. Комитет использовал также другие исследования, в частности некоторые недавно опубликованные данные об эффектах профессионального облучения при средних и низких дозах. Эти данные дополняют результаты Исследования продолжительности жизни, однако еще не обладают статистическим потенциалом, чтобы внести заметный вклад в количественные оценки риска. В ходе эпидемиологических исследований не удается получить значимых данных о связанных с радиацией рисках в диапазоне низких доз. Экстраполяция на диапазон низких доз должна быть обоснована результатами экспериментальных биологических исследований. Поэтому Комитет связал эпидемиологические исследования с проведением всеобъемлющего обзора механизмов канцерогенеза у человека и влияния дозы и мощности дозы на радиационные реакции. Общий результат призван подтвердить оценки риска, содержащиеся в докладе Комитета 1988 года.

64. Во всем мире проводится огромная работа, связанная с эпидемиологическими исследованиями, однако процесс накопления количественных данных является вынужденно медленным. Например, более половины исследуемой группы в Хиросиме и Нагасаки все еще продолжает жить, при этом избыток случаев смерти от рака (350 к настоящему времени) растет медленно. Комитет использовал свое время и ресурсы прежде всего для проведения широких научных дискуссий относительно последствий имеющихся результатов исследований и на этот раз не подготовил для публикации приложения по вопросам эпидемиологии. Резюме выводов Комитета содержится в разделе II.B.2 настоящего доклада.

III. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

А. ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ

65. Для описания и количественного выражения феномена радиации и ее биологических эффектов необходим специальный набор описывающих единиц. Подробное описание величин и единиц радиации и описание производных и вариантов использования этих понятий представлены в докладе НКДАР ООН 1988 года. Используемые Комитетом величины и единицы соответствуют принятой международной практике.

1. Дозиметрические величины

66. Радионуклиды характеризуются неустойчивостью конфигураций ядра атома. Они распадаются в процессе спонтанных ядерных переходов с эмиссией излучения. Характерная скорость распада каждого радионуклида определяется через период полураспада, время, в течение которого спонтанные переходы произойдут в половине атомов. Скорость переходов в определенной величине радионуклида называется активностью, единицей измерения которой служит беккерель (Бк). Активность в 1 Бк означает, что переходы происходят со скоростью один переход в секунду.

67. Одной из основных величин, используемых для количественного выражения взаимодействия излучения с веществом, является поглощенная доза. Это энергия, переданная малой части вещества, деленная на массу данной части вещества. Единицей измерения поглощенной дозы является джоуль на килограмм, называемый для данной цели грей (Гр). Для большинства целей Комитет использует среднюю поглощенную дозу на ткань или целый организм, а не поглощенную дозу в точке. Большая часть облучения излучением приводит к различным поглощенным дозам на разных участках тела человека. Поглощенные дозы от различных видов излучения имеют разную биологическую эффективность, а органы и ткани тела имеют неодинаковую чувствительность.

68. При равной поглощенной дозе сильно ионизирующие излучения, например альфа-частицы, в большей степени вызывают биологические, особенно стохастические, эффекты, чем слабо ионизирующие излучения, например гамма-излучение, рентгеновское излучение или электроны (бета-частицы). Целесообразно складывать поглощенные дозы от разных видов излучения, чтобы получить дополнительную величину, называемую эквивалентной дозой. Эквивалентная доза на ткань или орган человека представляет собой поглощенную дозу, умноженную на весовой коэффициент излучения, который колеблется от единицы для слабо ионизирующего излучения до 20 для альфа-частиц.

69. Различные органы и ткани тела по-разному реагируют на облучение ионизирующим излучением. Для учета этого фактора используется еще одна величина - эффективная доза. Эквивалентная доза на каждую ткань или орган умножается на коэффициент взвешивания ткани, а сумма этих произведений по всему телу называется эффективной дозой. Эффективная доза показывает общий ущерб вследствие стохастических эффектов для облученного индивидуума и его потомков. Поскольку как коэффициент взвешивания излучения, так и коэффициент взвешивания ткани являются величинами, не имеющими измерений, измерения эквивалентной дозы и эффективной дозы являются такими же, как и измерения поглощенной дозы, и единица является той же - джоуль на килограмм. Однако для проведения четкого различия между поглощенной дозой и ее взвешенными аналогами было решено, что единица эквивалентной дозы и эффективной дозы должна иметь специальное название - зиверт (Зв).

70. Изменения коэффициентов взвешивания излучения и ткани, произведенные в 1990 году, осложнили сопоставления между новыми и прежними оценками дозы. В целом Комитет не делал попыток заново оценить старые данные с точки зрения новых величин, поскольку изменения, как правило, были незначительными. Если такие переоценки производились, это отмечается в тексте.

71. Поглощенная доза, эквивалентная доза и эффективная доза – все эти понятия относятся к индивидуумам или к средним индивидуумам. Комитет также использует понятие коллективной эффективной дозы, которая равна средней дозе облученного населения или группы, умноженной на число людей в группе. Эта величина определяется для конкретного источника или конкретной единицы вида деятельности. Она может означать сумму будущих доз, ожидаемых от данного источника или единицы вида деятельности, например коллективная эффективная ожидаемая доза от атмосферных ядерных взрывов или от одного года облучения в медицинских целях. Если вероятность отдаленных эффектов пропорциональна эффективной дозе при низких дозах облучения, что, по всем вероятности, действительно так, то коллективная эффективная доза представляет собой меру общего атрибутивного (могущего быть приписанным) вредного воздействия, ожидаемого в данной группе и у ее потомков. Если индивидуальные дозы, составляющие коллективную дозу, охватывают широкий диапазон величин и распространяются на весьма длительные периоды времени, то было бы полезно в целях получения информации подразделить коллективную дозу на блоки, охватывающие более ограниченные диапазоны индивидуальной дозы и времени. Единицей коллективной эффективной дозы является человеко-зиверт (чел.-Зв).

72. Некоторые события, особенно события, связанные с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, могут привести к облучению, протяженному во времени, иногда в течение жизни многих поколений. В таких ситуациях коллективная доза все еще является полезной величиной при условии, что считается, что коллективная доза является дозой, ожидаемой от соответствующего источника или единицы вида деятельности. Чтобы дать представление о дозе, ожидаемой в отношении типичного, но гипотетического индивидуума в настоящее время и в будущем, Комитет использует понятие ожидания дозы. Она является интегралом по неопределенному (или конкретному) периоду средней поддушевой мощности дозы на конкретную группу населения, зачастую на население мира, полученной от данного события. Доза, о которой идет речь, почти всегда является эффективной дозой. Понятие ожидания дозы особенно полезно при оценке долгосрочных последствий событий, происходящих в ограниченных временных рамках, таких, как серия ядерных взрывов в атмосфере. Единицей ожидаемой эффективной дозы является зиверт.

2. Риск и ущерб

73. Комитету потребовалось также принять последовательный метод количественного описания вероятности и степени стохастических эффектов при радиоактивном облучении. Термин "риск" широко используется в данном контексте, но без должной последовательности. Иногда он используется в значении вероятности нежелательного результата, а иногда – в значении сочетания вероятности и серьезности результата. По этой причине Комитет старается избегать использования термина "риск", за исключением таких установившихся формулировок, как "избыточный относительный риск" и "мультипликативная модель проецирования риска".

74. Одной из важных для Комитета концепций является понятие вероятности рака с летальным исходом, возникающего в результате возрастания радиоактивного

облучения. Годовая вероятность меняется с течением времени, прошедшего после облучения, и наиболее полезным обобщающим выражением является пожизненная вероятность преждевременной смерти в результате дополнительного облучения. Это не простое понятие, поскольку общая пожизненная вероятность смерти всегда равна единице. Любое дополнительное опасное воздействие, вызывающее возрастание вероятности смерти от одной причины, приводит к сокращению ожидаемой продолжительности жизни и уменьшению вероятности смерти от всех других причин.

75. Для целей Комитета наиболее приемлемым параметром, отражающим пожизненный риск смерти вследствие облучения, является риск смерти из-за облучения, иногда называемый пожизненной вероятностью атрибутивного рака. В этом параметре учитывается тот факт, что смерть может быть вызвана другими причинами до того, как она может наступить от облучения.

76. Поскольку эффект дополнительного облучения скорее проявляется в уменьшении ожидаемой продолжительности жизни, чем в увеличении вероятности смерти, атрибутивная вероятность не является подходящим показателем эффекта облучения. Поэтому при суммировании ущерба на единицу облучения Комитет использовал также понятие среднего периода утраченной жизни для атрибутивных случаев смерти от рака. Комбинация этого периода и атрибутивной пожизненной вероятности является мерой среднего сокращения ожидаемой продолжительности жизни. Все эти величины могут использоваться для оценки последствий однократных или длительных облучений, приводящих к получению известной дозы. Если облучение ограничивается диапазоном, в котором зависимость доза-реакция является примерно линейной, величины могут также выражаться в расчете на единицу дозы. Когда зависимость со всей очевидностью является нелинейной, величины могут выражаться в расчете на фиксированную дозу, обычно на эффективную дозу, равную 1 Зв.

77. Более сложный подход к определению ущерба используется в целях защиты Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ). В нем учитывается атрибутивная вероятность заболевания раком различных органов с летальным исходом, дополнительный ущерб от заболевания раком без смертельного исхода и от наследственных болезней и различные латентные периоды разных видов рака. Все эти моменты включены в отбор факторов взвешивания для перевода эквивалентной дозы в эффективную дозу.

78. Таким образом, коэффициент, связывающий вероятность заболевания раком с летальным исходом с эффективной дозой, является функцией распределения облученного населения по возрасту и полу и любых этнических колебаний. Тем не менее Комитет считает правильным использовать расчетные величины, принятые МКРЗ для большей части своих собственных целей, учитывая при этом, что они неизбежно являются приблизительными, особенно в случае облучения пациентов в медицинских целях.

В. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЛЮДЕЙ

79. Эффекты радиации, описанные в общих чертах в разделе А главы I, с одной стороны, могут классифицироваться как детерминистические или стохастические, а с другой стороны, – как соматические или наследственные. Все детерминистические эффекты являются соматическими (проявляющимися у облученных индивидуумов), в то время как стохастические эффекты могут быть либо соматическими (например, индуцированный ионизирующим излучением рак), либо наследственными.

80. Детерминистические эффекты были достаточно частыми в начале использования ионизирующего излучения. В период между открытием рентгеновских лучей и началом 30-х годов, когда начали применяться меры защиты, от детерминистических эффектов умерло несколько сотен рентгенологов. Кроме того, имели место бесчисленные случаи анемии и поражения кожи. После принятия защитных мер частота детерминистических эффектов стала последовательно уменьшаться, и в настоящее время они наблюдаются только в случае аварий или в виде побочных эффектов используемой в медицине лучевой терапии.

81. Индуцирование рака было определено и выражено в количественном отношении эпидемиологией в нескольких группах подвергшихся облучению людей. Оно представляет собой, по-видимому, единственный вид стохастического соматического эффекта радиации. Наследственные эффекты радиации у людей пока еще эпидемиологически не идентифицированы, но нет никаких сомнений относительно их существования. Они могут быть распознаны во всех видах животного и растительного мира, где их ожидают найти, помимо человека. Отсутствие эпидемиологического подтверждения является следствием большого отрезка времени между поколениями и большого количества людей, требуемого для статистического выявления.

1. Детерминистические эффекты

82. Ткани различаются по своей детерминистической реакции на радиацию. Наиболее чувствительными к ионизирующему излучению являются ткани яичников, яичек, глазных хрусталиков и костный мозг. Порог для временной стерилизации у мужчин при однократном остром облучении составляет примерно 0,15 Гр, в то время как для пролонгированного облучения порог мощности дозы составляет примерно 0,4 Гр в год. Соответствующие значения мощности дозы для постоянной стерилизации лежат в диапазоне 3,5-6 Гр (острое облучение) и 2 Гр в год (хроническое облучение). У женщин порог мощности дозы для постоянной стерилизации лежит в диапазоне доз 2,5-6 Гр для острого облучения, при этом чем ближе женщины подходят к периоду менопаузы, тем более они чувствительны. Для облучений, продолжающихся непрерывно в течение многих лет, пороговая мощность дозы составляет примерно 0,2 Гр в год. Эти пороги, как и все пороги для детерминистических эффектов, применяются к лицам при нормальном состоянии здоровья. Для индивидуумов, уже близко подошедших к проявлению эффекта от других причин, порог будет ниже. Даже в экстремальном случае, когда эффект уже присутствует, все-таки будет порог, представляющий дозу ионизирующего излучения, необходимую для того, чтобы вызвать поддающееся наблюдению изменение в состоянии индивидуума.

83. Порог для помутнения хрусталика, достаточного для того, чтобы дать после некоторого запаздывания ухудшение зрения, лежит в диапазоне 2-10 Гр для слабо ионизирующего излучения (и примерно 1-2 Гр для сильно ионизирующего излучения) при острых облучениях. Порог мощности дозы недостаточно хорошо известен для длительного хронического облучения, но, по всей вероятности, он превышает 0,15 Гр в год для слабо ионизирующего излучения.

84. Клинически значимое подавление кроветворения имеет порог дозы для острого облучения всего костного мозга, составляющий примерно 0,5 Гр. Соответствующий порог мощности дозы для длительного облучения находится на уровне, несколько превышающем 0,4 Гр в год. Поражение костного мозга является важным компонентом радиационного синдрома, являющегося следствием облучения всего тела. В этом случае доза острого облучения всего тела, находящаяся в диапазоне 3-5 Гр, вызывает смерть у 50 процентов облученной группы населения при отсутствии специального медицинского лечения.

85. Что касается облучения кожи, то порог для эритемы и сухого шелушения лежит в диапазоне 3-5 Гр, и симптомы появляются спустя примерно 3 недели после облучения. Влажное шелушение возникает после получения дозы, составляющей примерно 20 Гр, с появлением волдырей спустя примерно один месяц после облучения. Для некроза тканей, появляющегося спустя три недели, требуются дозы, превышающие уровень в 50 Гр.

а) Воздействие на развивающийся мозг

86. В результате проведенных в Хиросиме и Нагасаки исследований выявлены лишь два момента заметного отрицательного воздействия на рост и развитие головного мозга. Есть несколько случаев тяжелой формы умственной отсталости и случаев, когда у детей размер головы небольшой, хотя и не наблюдается умственной отсталости. Кроме того, в некоторых группах облученных в период внутриутробного развития плода выявились снижение (по сравнению со средним уровнем) умственных способностей и плохая успеваемость в школе.

87. Среди некоторых детей, подвергшихся радиоактивному облучению в Хиросиме и Нагасаки в период их внутриутробного развития, было отмечено чрезмерное число случаев тяжелой олигофрении. Поскольку умственная отсталость не наблюдалась при облучениях, имевших место в период до 8 недель после зачатия, период восприимчивости к облучению был определен как составляющий промежуток с 8-й по 15-ю неделю с последующим периодом существенно меньшей восприимчивости с 16-й по 25-ю неделю после зачатия.

88. Как уже отмечалось в разделе А.2(а) главы I, предполагается, что механизм индуцирования умственной отсталости представляет собой образование некоторого зависящего от дозы количества неверных связей нейронов в коре головного мозга. Эти неверные связи приводят к сдвигу вниз (сдвигу влево) в распределении КУР, величина которого оценивается примерно в 30 пунктов КУР на зиверт при облучении в период с 8-й по 15-ю неделю после зачатия.

89. Нормальные распределения КУР имеют условное среднее значение в 100 пунктов КУР и стандартное отклонение примерно в 15 пунктов КУР. Область левее двух стандартных отклонений от среднего (значения, составляющие менее 70 пунктов КУР) соответствует клиническому диагнозу "тяжелая форма умственной отсталости". Радиогенный сдвиг для дозы, равной 1 Зв, приведет к тяжелой форме умственной отсталости примерно 40 процентов облученных лиц.

90. Однако с учетом формы распределения Гаусса доля дополнительных случаев, вызванных сдвигом, индуцированным малой дозой, будет существенно меньше (примерно на порядок величины), чем непосредственно рассчитанная по линейной зависимости 40 процентов на зиверт. Доза, требующаяся для достаточно большого сдвига КУР, чтобы сделать нормального во всех других отношениях индивидуума умственно отсталым в тяжелой форме, должна быть высокой (в районе 1 Зв или больше), тогда как доза, требующаяся для периода индивидуума, который и без радиоактивного облучения обладает низким уровнем КУР, в категорию лиц с тяжелой формой умственной отсталости путем пересечения граничной линии, может составлять несколько десятых зиверта.

б) Воздействие на детей

91. В детском возрасте, когда происходит активный рост тканей, радиогенные детерминистические эффекты часто будут иметь более серьезное воздействие на детей, чем на взрослых. Примеры детерминистических эффектов, выразившихся в ущербе, который является результатом радиационного облучения в детстве,

включают отрицательное влияние на рост и развитие, нарушение функционирования органов, гормональные нарушения и осложнения, а также неблагоприятное влияние на когнитивные функции. Большинство необходимых сведений исходит от пациентов, подвергавшихся рентгенотерапии, но их также получают с помощью новых аналитических методов и в результате непрерывного тщательного наблюдения. Комитет рассмотрел данную информацию с целью выявления природы эффектов, относящихся к различным тканям, и величины доз, вызывающих эти эффекты.

92. Исследование зависимости доза-эффект осложняется большим числом факторов. Они включают лежащее в основе заболевание и способ лечения, который иногда в дополнение к рентгенотерапии включает хирургическое вмешательство и химиотерапию. По этим причинам оценки пороговых доз у здоровых детей по-прежнему связаны с существенными неопределенностями. Могут быть даны только общие понятия об уровнях. Если не указано иное, то дозы относятся к фракционному облучению.

93. Воздействие радиации на яичники и яички зависит как от возраста, так и от дозы. Функция яичек может быть поставлена под угрозу нарушения при дозах, равных 0,5 Гр. При дозах, составляющих 10 Гр, происходит поражение гонад у большинства облученных мальчиков. У небольшой доли девочек наблюдается аменорея после доз, достигающих 0,5 Гр, и эта доля становится значительной, увеличившись примерно до 70 процентов, при дозах, возросших до 3 Гр. Бесплодие наступает примерно в 30 процентах случаев после получения доз, равных 4 Гр. Доза в 20 Гр приводит во всех случаях к постоянному бесплодию.

94. Многим другим органам ущерб наносится дозами, входящими в диапазон 10-20 Гр. В противоположность этому повреждение щитовидной железы может произойти при низких дозах порядка 1 Гр. Ряд эффектов проявился в области головного мозга, включая атрофию коры головного мозга, после получения однократной дозы, составляющей 10 Гр, или при накопленной дозе, равной 18 Гр, полученной в виде примерно 10 фракций. Было продемонстрировано, что воздействие ионизирующего излучения на эндокринную систему приводит к явному нарушению секреции гормонов роста при получении фракционированных доз, составляющих в сумме 18 Гр. Если на щитовидную железу приходятся дозы порядка 1 Гр, получаемые в течение свыше 2 недель в ходе рентгенотерапии черепа, то это приводит к развитию у пациентов гипотиреоза. При дозах порядка 2 Гр наблюдается катаракта и аномалия развития молочных желез.

95. Были выявлены и выражены в количественном отношении детерминистические эффекты, связанные с несколькими другими органами. Наблюдались такие явления, как снижение общей емкости легких при дозах, составивших 8 Гр, и ограничивающие изменения в легких при дозах, равных 11 Гр. Пять облучений в неделю за период свыше 6 недель обуславливает получение суммарной дозы, достигающей более 12 Гр, которая является достаточной для нанесения ущерба печени, а получаемые при длительном облучении дозы порядка 12 Гр достаточны для повреждения почек. Зарегистрированы случаи радиационного нефрита при 14 Гр. Для прекращения формирования костей требуется доза, превышающая 20 Гр; после получения доз в пределах 10-20 Гр такие эффекты облучения проявляются лишь частично, а при дозах ниже 10 Гр эти эффекты отсутствуют. Дозы на сердечную мышцу, приводящие к клиническому повреждению, составляют примерно 40 Гр.

2. Индуцированный облучением рак

96. Механические модели индуцирования рака облучением могут формироваться на основе радиобиологической информации: эти модели предполагают выбор функции доза-реакция. Эпидемиологические исследования людей служат источником данных, которые должны интерпретироваться с использованием таких моделей, имеющих особенно важное значение при экстраполяции данных к области низких доз, где эпидемиологических данных нет или они чрезвычайно неточны.

97. Поскольку период наблюдения выборки населения, подвергавшегося облучению, редко охватывает весь срок жизни, для получения данных о полном пожизненном риске обычно необходимо проецировать частоту индуцирования рака, отмечавшуюся в период наблюдения, на всю продолжительность жизни облученного населения. Для этих целей используются две основные модели: одна абсолютная или аддитивная модель проецирования и другая относительная или мультипликативная модель.

98. Простая абсолютная (аддитивная) модель предполагает постоянную (связанную с дозой) избыточность индуцированного рака в течение всего срока жизни, вне связи с зависящей от возраста спонтанной заболеваемостью раком. Простая относительная (мультипликативная) модель, с другой стороны, строится на предположении о том, что заболеваемость индуцированным раком будет возрастать с возрастом как постоянный (связанный с дозой) множитель спонтанной заболеваемости раком. Обе модели могут быть расширены для замены постоянных величин функциями возраста в момент облучения и времени, прошедшего с момента облучения.

99. Простая аддитивная модель не считается больше соответствующей большинству эпидемиологических наблюдений, а при обработке радиобиологической информации предпочтение, по-видимому, отдается мультипликативной модели. Однако следует отметить, что ко всей информации не подходит ни одна из простых моделей; например, при применении мультипликативной модели приходится сталкиваться с трудностями при облучении детей младшего возраста, и ни одна из простых моделей проецирования не соответствует данным по лейкозу или раку кости.

100. Комитет изучил три модели проецирования различных видов плотного рака. Первая - простая модель с постоянным фактором избыточного риска. Во второй и третьей используется уменьшающийся фактор для периодов более чем 45 лет после облучения. Хотя риск возникновения лейкоза еще не полностью выражен у лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии, остаточный риск в настоящее время достаточно невелик, чтобы сделать ненужным использование различных моделей проецирования.

101. Две модели с уменьшающимся фактором относительного риска уменьшают оценки пожизненного риска после однократного облучения примерно в два раза для облучения в первое десятилетие жизни и в полтора раза во второе десятилетие, лишь с незначительным эффектом для более старших возрастов в момент облучения. Поскольку уменьшение вероятности происходит в более старших возрастах, в отличие от простой модели, эти модели показывают несколько большие потери срока жизни на каждый случай рака, относимого к облучению.

102. Важным элементом оценки радиационного риска заболевания раком при низких дозах является понижающий коэффициент, используемый для видоизменения прямой линейной (беспороговой) подгонки к эпидемиологическим данным, относящимся к высоким дозам и большим мощностям доз, для оценки наклона линейного компонента линейно-квадратичной функции. На основе базовой радиобиологической информации

результатов исследований на животных и данных, относящихся к индуцированию рака у человека, этот коэффициент в настоящее время, по оценкам, связанным с существенной неопределенностью, составляет примерно 2 для дозового диапазона, дающего большинство эпидемиологических данных. Эпидемиологические результаты не исключают этой величины, но и не подтверждают ее, за исключением случаев лейкоза.

103. В докладе НКДАР ООН за 1988 год Комитет привел коэффициенты риска (риск на единицу дозы) для высоких доз и больших дозовых мощностей в отношении различных тканей. Для целей данного доклада при облучении всего тела достаточно рассмотреть суммарный риск смерти от рака.

104. В последние годы в эпидемиологических исследованиях сообщалось о лицах, подвергшихся профессиональному облучению, о группах населения, проживающих в районах с различными уровнями фонового излучения, и о людях, облученных при выбросе радиоактивных веществ в окружающую их среду. Для того чтобы такие исследования обеспечивали полезную информацию (в количественном выражении) о последствиях облучения ионизирующим излучением, они должны иметь значительный объем и охватывать продолжительные периоды. В историческом плане лишь исследования заболеваний раком легких, связанным с радоном, у шахтеров могли предоставить количественные данные о взаимосвязях; они касались конкретно радона. В настоящее время наиболее перспективными в плане общего применения являются обследования рабочих, облученных разными видами излучения в ходе своей деятельности. Эти обследования начинают приносить положительные результаты.

105. Статистическое значение этих обследований еще невелико, но со временем, по мере сбора данных, оно станет выше. Результаты согласуются с результатами исследований при высоких дозах и высоких дозовых мощностях и не свидетельствуют о занижении рисков в текущих оценках.

106. В настоящее время данные достаточно определенно указывают на то, что риск заболевания раком, связанный с высокими дозами слабо ионизирующего излучения, примерно в три раза выше оценок, сделанных десять лет назад. Согласно данной в 1988 году оценке вероятности пожизненного заболевания раком с летальным исходом, произведенной путем применения мультипликативной модели проецирования риска, эта вероятность составляет $11 \cdot 10^{-2}$ на 3зв для облученных групп населения в Хиросиме и Нагасаки, из которых более половины лиц, охваченных эпидемиологическим исследованием, все еще продолжают жить. Оценки, сделанные Комитетом, относятся только к группе населения в Японии, представленной когортой, рассматриваемой в Исследовании продолжительности жизни. Эти исследования продолжаются, но для изменения оценки риска имеющихся сведений пока недостаточно.

107. Комитет обсудил вопрос о том, во сколько раз следует уменьшать оценку риска, основанную на исследованиях высоких доз, для получения оценки для низких доз. Какую-либо одну цифру назвать невозможно, однако ясно, что этот коэффициент невелик. Данные исследований, проводимых в Японии, указывают на то, что он не превышает 2. При применении коэффициента 2 вероятность пожизненного радиогенного рака с летальным исходом для условного населения всех возрастов составляет $5 \cdot 10^{-2}$ на 3зв. Несколько меньшее среднее значение, равное примерно $4 \cdot 10^{-2}$ на 3зв, было бы получено для работающего населения (в возрасте от 18 до 64 лет), облучаемого в течение трудового периода жизни. По мнению Комитета, коэффициент уменьшения следует применять ко всем дозам ниже 0,2 Гр и к более высоким дозам, когда средняя дозовая мощность за несколько часов составляет менее 6 мГр в час.

3. Воздействие на наследственность

108. В ходе эпидемиологических исследований не выявлялись наследственные эффекты радиоактивного облучения людей со статистически значимой степенью уверенности. Величина риска, рассчитанная на основе исследований на животных, столь мала, что было бы удивительным обнаружить статистически значимое действие облучения на входящих в исследуемую группу людей в Хиросиме и Нагасаки. Тем не менее существование наследственных эффектов под сомнение не ставится. Поэтому оценки риска основываются на генетических экспериментах с самыми разнообразными организмами и не цитологических исследованиях, причем отрицательные результаты, касающиеся людей, подтверждают такие выводы в ограниченной степени.

109. Комитет принял два в значительной степени отличающихся друг от друга метода оценки генетического риска, одним из которых является метод удвоения дозы (или косвенный метод). При такой оценке исключаются многофакторные болезни. Для репродуктивного населения значение риска, равное $1,2 \cdot 10^{-2}$ на 3зв, было дано для всех поколений после облучения; или, если выразить тот же риск другим образом, то его значение составит $1,2 \cdot 10^{-2}$ на поколение при непрерывном облучении при дозе в 1 3зв на поколение. Соответствующий риск в первых двух поколениях после облучения, по оценкам, составил $0,3 \cdot 10^{-2}$ на 3зв среди репродуктивной части населения.

110. Другим методом оценки генетического риска, который использовал Комитет, является так называемый "прямой метод". Он используется применительно к клинически важным нарушениям в организме, которые проявляются в первом поколении потомства подвергшихся облучению родителей. Применительно к репродуктивной части населения расчетная величина риска составила $0,2-0,4 \cdot 10^{-2}$ на 3зв. Тот факт, что применение двух разных методов генетической оценки дает в значительной степени аналогичные оценки, вселяет уверенность.

111. Существует большое число болезней и расстройств сложной, многофакторной этиологии. Кроме того, существует целый ряд вновь выявленных нетрадиционных механизмов передачи наследственных болезней. Влияние ионизирующего излучения на заболеваемость этими многофакторными и передаваемыми нетрадиционными путями заболеваниями является весьма гипотетическим, однако, по-видимому, невелико. Для расчета оценок риска в отношении всех механизмов, способных вызывать заболевания у потомства подвергшихся облучению людей, требуются дополнительные исследования.

IV. ИСТОЧНИКИ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

A. ОСНОВА ДЛЯ СРАВНЕНИЙ

112. Ионизирующее излучение, воздействию которого подвергается народонаселение, исходит от очень разных источников. Некоторые из этих источников являются естественными элементами окружающей среды, другие являются результатом деятельности человека. Ионизирующее излучение, идущее от естественных источников, включает космическое излучение, внешнее излучение от радионуклидов земной коры и внутреннее излучение от радионуклидов, попадающих через органы дыхания и пищеварения и остающихся в организме. Величина этих видов естественного облучения зависит от географического местоположения и от некоторых видов деятельности человека. Высота над уровнем моря влияет на мощность дозы космического излучения; излучение от земли зависит от местных геологических условий, а доза, получаемая от радона, который просачивается из

земли в здания, зависит от местных геологических условий и от конструкции и вентиляции зданий. Облучение космическими лучами, земными гамма-лучами и радионуклидами, попадающими в организм через пищеварительную систему, со временем изменяется лишь незначительно, и поэтому его можно считать основным фоновым облучением от естественных источников излучения.

113. Порожденные деятельностью человека источники облучения включают рентгеновское оборудование, ускорители частиц и ядерные реакторы, используемые для выработки электроэнергии на атомных электростанциях, для научных исследований и производства радионуклидов, которые затем используются в медицине, научных исследованиях и промышленности. Проводившиеся в прошлом в атмосфере испытания ядерных устройств все еще вносят вклад в мировое облучение. Профессиональное облучение, т.е. облучение на рабочем месте, широко распространено, но охватывает группы ограниченных размеров.

114. Некоторые источники облучения могут рассматриваться как непрерывно действующие с постоянным уровнем, например естественные источники. Другие действуют в течение длительных периодов времени, но не обязательно с постоянным уровнем, например медицинское обследование и лечение, а также выработка электроэнергии на атомных электростанциях. Кроме того, источники могут представлять собой отдельные события или отдельные серии событий, например испытательные взрывы в атмосфере и аварии. Источники, связанные с выбросами радиоактивных веществ в окружающую среду, обуславливают облучение, дозы которого формируются в течение весьма продолжительных периодов времени, так что результирующие годовые дозы не являются удовлетворительной мерой их совокупного воздействия.

115. Если учесть эти сложности, то можно сказать, что единого удовлетворительного способа представления результирующей дозы, получаемой человеком, не существует. Однако определенные преимущества дает попытка произвести компромиссное представление, которое позволило бы рассматривать все источники на общем основании, сохраняя в то же время более избирательное представление подробностей облучения от каждого вида источника. Один из методов состоит в том, чтобы представить среднегодовые дозы от различных источников вплоть до настоящего времени. Этот тип представления показывает историческое значение источников на настоящий момент, но не дает представления об уже ожидаемой будущей дозе. Комитет частично избежал этой трудности, используя понятие ожидания дозы, в котором учитываются будущие дозы, ожидаемые от данного источника. Однако ни ожидание дозы, ни ожидаемая на сегодняшний день коллективная доза не дают адекватного представления о дозах по видам деятельности, которые, вероятно, будут продолжаться и впредь. Для этого необходима какая-то система прогнозирования.

116. Метод, используемый в данном докладе для сравнения радиоактивного облучения, образуемого различными источниками, заключается в представлении коллективной дозы для населения всего мира, полученной или ожидаемой а) в связи с отдельными событиями за период с конца 1945 по конец 1992 года (47 лет) и б) за период 50 лет при существующей ныне интенсивности деятельности или облучения от всех других источников, включая облучение от естественных источников. Такой подход подразумевает, что имеющая ныне место интенсивность деятельности может быть в приемлемой степени типичной для периода в 50 лет, по 25 лет до и после настоящего времени. Не исключено, что это допущение приводит к завышению оценок будущих доз, связанных с видами деятельности, которые не расширяются быстро, поскольку улучшенные технологии и нормы защиты будут приводить к снижению дозы на единицу деятельности. Такое допущение не является необходимым для отдельных событий.

117. В настоящей главе представлено краткое изложение Комитетом подготовленных оценок в отношении облучения населения в целом и работников под воздействием ионизирующего излучения из различных источников. Подробные сведения можно найти в научных приложениях к настоящему докладу.

В. УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ

1. Облучение от естественных источников

118. Общемировая среднегодовая эффективная доза, получаемая от естественных источников, составляет, по оценкам, 2,4 мЗв, из которых 1,1 мЗв приходится на основное фоновое излучение, а 1,3 мЗв – на облучение радоном. Мощность дозы, связанной с космическим излучением, зависит от высоты над уровнем моря и от географической широты: годовые дозы в районах сильного облучения (расположенных на большей высоте над уровнем моря) примерно в пять раз выше средних. Мощность дозы, связанной с гамма-излучением от земли, зависит от местных геологических условий, и обычно высокий уровень примерно в 10 раз выше среднего. Несколько общин, проживающих на почвах, состоящих из определенных видов песка, могут получить дозу примерно в 100 раз выше средней. Доза, связанная с продуктами распада радона, зависит от местных геологических условий и конструкции и использования зданий, причем в некоторых регионах дозы примерно в 10 раз выше средних. Сочетание местных геологических условий, типа строений и вентиляции в них может привести к тому, что мощность дозы облучения от продуктов распада радона будет в сотни раз превышать среднее значение.

119. В Таблице 1 приводятся типичные среднегодовые эффективные дозы, полученные взрослыми от основных естественных источников. Несмотря на накопление новых данных и некоторые изменения в методах оценки, оценка суммарной годовой дозы находится почти на постоянном уровне: 2,0 мЗв согласно докладу НКДАР ООН за 1982 год, 2,4 мЗв согласно докладу НКДАР ООН за 1988 год и 2,4 мЗв в Таблице 1.

120. Типичная годовая эффективная доза облучения от естественных источников в 2,4 мЗв дает годовую коллективную дозу облучения населения всего мира (5,3 млрд. человек), равную примерно 13 млн.чел.-Зв.

Таблица 1. Годовые эффективные дозы у взрослых, полученные от естественных источников

<u>Источник облучения</u>	<u>Годовая эффективная доза</u> (мЗв)	
	Типичная	Повышенная а/
Космическое излучение	0,39	2,0
Гамма-излучение от земли	0,46	4,3
Радионуклиды в организме (исключая радон)	0,23	0,6
Радон и продукты его распада	1,3	10
Суммарная (округленная) доза	2,4	-

а/ Повышенные значения характерны для крупных регионов. На отдельных участках местности встречаются даже более высокие значения.

2. Медицинское облучение

121. Ионизирующее излучение нашло широкое применение в диагностических обследованиях и лечении. Из этих двух видов гораздо чаще встречается диагностика. Большинство людей знакомо с рентгеновским обследованием грудной клетки, конечностей и желудочно-кишечного тракта или с применением рентгеновского излучения в стоматологии, поскольку такие обследования проводятся наиболее часто. Медицинские радиационные службы, однако, распространены в мире весьма неравномерно, и при этом большая часть процедур приходится на промышленно развитые страны, в которых проживает только одна четверть населения мира.

122. Основываясь на корреляции количества медицинского рентгеновского оборудования и обследований с количеством врачей в странах, Комитет произвел оценку медицинского радиоактивного облучения по четырем уровням развития здравоохранения в мире, от уровня I в промышленно развитых странах до уровня IV в наименее развитых странах. Эта общая классификация полезна, но иногда она маскирует значительные колебания внутри стран.

123. По мере улучшения здравоохранения страны перемещаются с одного уровня развития здравоохранения на другой. Поэтому количество людей, проживающих в странах различных категорий, со временем изменяется. С 1977 по 1990 год самым крупным изменением было увеличение населения в странах второго уровня примерно с 1,5 млрд. до 2,6 млрд. человек. По оценкам, на 1990 год на первом уровне проживало 1,35 млрд., на втором - 2,63 млрд., на третьем - 0,85 млрд. и на четвертом - 0,46 млрд.

124. Репрезентативные оценки частоты обследований и доз, приходящихся на обследование, были получены в результате проведенного НКДАР ООН во всем мире обследования. Для стран с уровнем I здравоохранения годовая частота медицинского (т.е. нестоматологического) рентгеновского обследования составляет 890 на 1 000 человек населения. По уровням II, III и IV частота на 1 000 человек составляла 120, 70 и 9. Число обследований строго пропорционально числу врачей. На каждом уровне существуют различия внутри стран и между ними, причем большинство стран отличается от среднего уровня здравоохранения не более чем примерно в 3 раза. Разброс больше в странах, где уровень здравоохранения ниже.

125. Дозы в расчете на одно обследование обычно являются низкими, но существуют значительные различия как внутри стран, так и между ними. Данные по уровню II, и особенно по уровням III и IV, очень ограничены, но очевидных отличий от данных по уровню I не обнаруживают. Несмотря на низкие дозы в расчете на одно обследование, масштаб этого вида деятельности делает диагностическое применение рентгеновского излучения основным источником медицинского облучения. Тем не менее была также произведена оценка доз, получаемых при применении радиофармацевтических препаратов и при терапевтическом лечении.

126. Получаемые пациентами дозы выражаются через эффективную дозу. Это позволяет проводить сопоставление различных временных периодов, стран, уровней здравоохранения, медицинских процедур и источников излучения. Однако половозрастные показатели и показатели продолжительности предстоящей жизни у пациентов отличаются от аналогичных показателей общей массы населения, поэтому номинальные коэффициенты летального исхода, которые рассматриваются в разделе A главы II, являются очень приблизительными.

127. Рассматривая вопрос о последствиях дозы, полученной больными, важно не забывать о связанных с ней выгодах. Уменьшение индивидуальной дозы при постановке диагноза уменьшит ущерб, причиняемый больному, но может также уменьшить количество или качество диагностической информации. При терапевтическом лечении слишком маленькая доза может совершенно уничтожить пользу, приносимую лечением. При массовых обследованиях населения кроме пользы раннего обнаружения заболевания следует учитывать вероятность улучшения лечения конкретного случая, поскольку само по себе обнаружение необязательно приносит пользу. Принятие решений на основании коллективной дозы может привести к ошибкам. Во многих странах увеличение коллективной дозы свидетельствует об увеличении доступности здравоохранения и о чистом увеличении получаемой пользы.

128. Информация о среднегодовой эффективной дозе в расчете на одного больного, получаемой в результате рентгенологического обследования, получена из 26 стран, из которых 21 находится на уровне I, 4 - на уровне II и 1 - на уровне III. В странах уровня I наблюдалась повсеместная тенденция к снижению дозы в расчете на одного больного при большинстве видов обследований. Заслуживающим внимания исключением является компьютерная томография, при которой обнаруживается тенденция к увеличению дозы. В странах, по которым имеются данные, значения годовой эффективной дозы в расчете на одного больного в основном приходятся на диапазон 0,5-2,0 мЗв. Что касается индивидуальных обследований, то значение дозы может выходить за этот диапазон, причем при обследованиях конечностей и черепа значения дозы ниже, чем этот диапазон, а при обследованиях желудочно-кишечного тракта - выше.

129. Данные по годовой эффективной дозе на душу населения имеются по 21 стране уровня I, 5 - уровня II и 2 - уровня III. На уровне I значения приходятся на диапазон 0,3-2,2 мЗв. Непросто произвести надежные оценки по странам с более низким уровнем здравоохранения. Однако по уровням II и III диапазон, по-видимому, составляет 0,02-0,2 мЗв. Взвешенная по отношению к населению средняя величина для стран уровня I составляет 1,0 мЗв, т.е. имеет то же значение, о котором сообщалось в 1988 году. Средняя величина для всего мира - 0,3 мЗв. Одной из причин неопределенности в этих величинах является применение флюороскопии. В результате этой процедуры получают гораздо более высокие дозы, чем при рентгенографии, и ее преимущественное распространение неопределенно и изменяется со временем.

130. Диагностическое применение радиофармацевтических препаратов стабилизировалось в странах уровня I, но, возможно, увеличивается в странах уровней II-IV. В этой области произошли значительные изменения методов. Применение в развитых странах нуклидов с длительным периодом существования приводит к более высокой дозе в расчете на одно обследование, чем в странах, где применяются нуклиды с коротким периодом существования. В частности, резко снизилось применение йода-131, но он все еще вносит значительный вклад в коллективную дозу в промышленно развитых странах. Годовая эффективная доза на душу населения все еще составляет только около 10 процентов величины, относимой к диагностическому применению рентгеновского излучения. По странам уровня I годовая эффективная доза на душу населения составляет примерно 0,09 мЗв. По странам с более низким уровнем здравоохранения она на порядок меньше. В общемировом масштабе годовая эффективная доза на душу населения, получаемая в результате применения медицинской радиологии в целях диагностики, составляет 0,03 мЗв.

131. Дозы на душу населения, полученные при применении всех видов радиодиагностики, согласно оценкам составляют 1,1 мЗв в странах с уровнем I здравоохранения и примерно 0,3 мЗв усредненно по другим странам мира. Годовая коллективная эффективная доза облучения в медицинских целях для всего мира составляет примерно $1,8 \cdot 10^6$ чел.-Зв. Это является самым большим по своему масштабу облучением от искусственных источников или видов деятельности человека и соответствует примерно одной седьмой годовой коллективной дозы населения мира от естественных источников радиации.

132. Дозы, получаемые отдельными больными в ходе радиотерапии, гораздо выше, чем при диагностике, но число больных меньше. Имеются сложности при определении соответствующей величины для выражения дозы за пределами органа-мишени. Комитет использовал величину, аналогичную эффективной дозе, но пренебрегающую дозой на ткань-мишень. С большинства практических точек зрения эту величину можно считать равной эффективной дозе.

133. При этом упрощении общемировая суммарная коллективная эффективная доза, получаемая в результате лечения, составляет примерно $1,5 \cdot 10^6$ чел.-Зв, что примерно равно дозе, получаемой при диагностике. Но сравнение доз при диагностике и лечении может неверно отражать относительный ущерб. По-видимому, различие в повозрастных распределениях не ярко выражено, но вероятно, что последующая предполагаемая продолжительность жизни для больных, прошедших курс лечения, будет меньше. Это сокращает время проявления отдаленных эффектов и тем самым уменьшает относительный ущерб.

134. Можно ожидать, что облучение при использовании ионизирующего излучения в медицинских целях возрастет вследствие демографических причин (старение и урбанизация населения) и расширения услуг здравоохранения во всем мире. Однако помимо этого проявляются тенденции к понижению доз, приходящихся на обследование, и замене прежних методов такими альтернативными методами, как применение магнитного резонанса и ультразвука. По странам различных уровней здравоохранения будут наблюдаться значительные различия в тенденциях.

3. Облучение в связи с ядерными взрывами и производством ядерного оружия

135. Ядерные взрывы в атмосфере проводились в нескольких местах, хотя главным образом в Северном полушарии, в период между 1945 и 1980 годами. Периодами наиболее активных испытаний были 1952-1958 и 1961-1962 годы. Всего было проведено около 520 испытаний при суммарной мощности взрывов за счет реакций деления и синтеза, составившей 545 Мт.

136. После подписания 5 августа 1963 года в Москве Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой почти все испытательные ядерные взрывы проводились под землей. Во время некоторых подземных испытаний происходил случайный выход на поверхность некоторых газообразных продуктов деления, однако имеющиеся данные недостаточны для произведения оценок ожидаемых результирующих доз. Суммарная мощность взрывов при подземных испытаниях составила, согласно оценкам 90 Мт, что намного меньше суммарной мощности взрывов при предыдущих атмосферных испытаниях. Более того, хотя радиоактивные продукты подземных взрывов остаются потенциальным источником облучения людей, они в значительной степени изолированы. Поэтому предыдущие атмосферные испытания по-прежнему являются основным источником всемирного облучения, связанного с испытаниями оружия.

137. Суммарная ожидаемая коллективная эффективная доза облучения в связи с испытаниями оружия к настоящему времени составляет примерно $3 \cdot 10^7$ чел.-Зв. Из этого количества примерно $7 \cdot 10^6$ чел.-Зв будет получено к 2200 году. Оставшееся количество благодаря изотопу углерод-14 с длительным периодом полураспада будет получено приблизительно за следующие 10 000 лет. Другим способом выражения этих результатов является применение интеграла по времени средней мощности дозы, получаемой населением мира, - ожидаемой дозы. В результате испытаний в атмосфере ожидаемая доза к 2200 году составит примерно 1,4 мЗв, а за весь период - 3,7 мЗв. Обе цифры имеют тот же порядок величины, что и эффективная доза от одного года облучения от естественных источников. Доля ожидаемой дозы, полученная к 2200 году (38 процентов), не равна доле соответствующей коллективной дозы (23 процента), поскольку ожидается, что население мира вырастет с 3,2 млрд. человек во время осуществления основных программ испытаний оружия до постоянной величины в 10 млрд. человек для большей части предстоящих 10 000 лет.

138. В эти глобальные оценки вносят свой вклад дозы, полученные людьми, находившимися вблизи полигонов, использовавшихся для проведения испытаний в атмосфере. Хотя в глобальном масштабе этот вклад мал, некоторые локальные дозы были значительными. Дозы на щитовидную железу у детей вблизи испытательного полигона в Неваде в Соединенных Штатах могли достичь 1 Гр. Аналогичные, но несколько большие дозы на щитовидную железу были получены с 1949 по 1962 год в населенных пунктах в районе испытательного полигона в Семипалатинске в бывшем СССР. Некоторые дозы вблизи тихоокеанского испытательного полигона в Соединенных Штатах также были высокими в основном из-за того, что после одного термоядерного взрыва ветер изменил направление. Заражение почвы возле Маралинги (Австралия), британского полигона ядерных испытаний, было достаточным для того, чтобы ограничить туда последующий доступ. Без дальнейшей дезактивации постоянное, без ограничений проживание в этой местности могло бы привести к тому, что годовые эффективные дозы достигли бы нескольких миллизивертов в двух районах, а на небольших участках местности, непосредственно прилегающих к испытательным полигонам, значения доз могли достичь 500 мЗв. Локальные и региональные коллективные эффективные дозы от всей серии испытаний составляли приблизительно 700 чел.-Зв.

139. Источником облучения также является производственная деятельность, необходимая для производства мировых запасов ядерного оружия. Процесс начинается с добычи и обработки урана. Уран затем обогащается либо в высокой степени для компонентов оружия, либо незначительно для использования в реакторах, производящих плутоний и тритий. Масштаб этой деятельности широкой общественности не известен и должен оцениваться косвенным образом. Затем результирующие ожидаемые дозы оцениваются путем применения доз на единицу факторов выбросов при выработке электроэнергии на атомных электростанциях, в отношении которых можно свободно получить больше данных. Локальная и региональная коллективная эффективная доза облучения для населения, ожидаемая от такой деятельности, по оценкам, должна составлять порядка 1 000 чел.-Зв. Глобальная коллективная доза будет больше в количестве раз от 10 до 100. Даже если считать суммарную коллективную дозу равной 10^5 чел.-Зв, это небольшая часть коллективной эффективной дозы, ожидаемой в результате программ испытаний.

140. Как и при испытаниях, некоторые локальные дозы были значительными. В настоящее время проводится определение доз, получаемых вблизи завода по производству плутония в Хенфорде, штат Вашингтон, Соединенные Штаты. Предварительные результаты дают основания предполагать, что дозы на щитовидную железу в 40-е годы могли доходить до 10 Гр в некоторые годы. Выброс в окружающую среду отходов процесса обработки облученного топлива на советском

военном заводе возле Кыштыма в Уральских горах привел к тому, что за несколько лет в начале 50-х годов суммарная эффективная доза составила примерно 1 Зв в некоторых районах вдоль берега реки, удаленных от завода на расстояние до 30 км.

4. Облучение в связи с выработкой электроэнергии атомными электростанциями

141. Производство электроэнергии на ядерных реакторах продолжает увеличиваться с момента его начала в 50-х годах, хотя теперь темпы его роста несколько ниже, чем темпы производства электроэнергии другими способами. В 1989 году на ядерных реакторах было выработано 212 ГВт-год электроэнергии, что составляет 17 процентов от ее мирового производства в том же году. Суммарная выработка электроэнергии на реакторах с 50-х годов до 1990 года составила немногим меньше 2 000 ГВт-год.

142. Как и в предыдущих докладах НКДАР ООН, коллективная эффективная доза, ожидаемая от производства 1 ГВт-год электроэнергии из атомных источников, оценивалась для всего топливного цикла от добычи и обработки урана, с учетом его обогащения, производства топлива и эксплуатации реакторов, до переработки топлива и удаления отходов. Пока специально не учитывалось облучение, связанное со снятием ядерных установок с эксплуатации, частично вследствие ограниченного опыта, имеющегося к настоящему моменту, и частично вследствие того, что уже ясно, что вклад в суммарную коллективную дозу облучения, вероятно, будет небольшим.

143. Была получена подробная информация относительно выбросов радионуклидов в окружающую среду во время обычной эксплуатации большинства крупных ядерноэнергетических установок в мире. Благодаря этой информации Комитет произвел оценку нормализованных величин выбросов на единицу произведенной электроэнергии. Затем были рассчитаны ожидаемые коллективные эффективные дозы на единицу выработанной энергии с помощью обобщенных моделей окружающей среды, разработанных Комитетом в предыдущих докладах НКДАР ООН. Были произведены отдельные расчеты для нормализованных компонентов, относящихся к локальным и региональным облучениям и облучениям, имевшим место вследствие глобального рассеяния радионуклидов. Основные вклады в суммарное облучение представлены в Таблице 2. Эти ожидаемые коллективные дозы были ограничены 10 000 годами из-за значительных неопределенностей прогнозирования на большие периоды.

144. Величина 3 чел.-Зв (ГВт-год)⁻¹ для нормализованных ожидаемых локальных и коллективных доз облучения на единицу вырабатываемой энергии на локальном и региональном уровнях несколько меньше, чем оценочная величина в предыдущих докладах. Сокращение в основном происходило при эксплуатации реакторов и переработке топлива, при некотором увеличении оценок по добыче и обработке. Поэтому приводимая в настоящий момент величина не является репрезентативной для всего периода производства электроэнергии на АЭС, а нормализованная доза облучения за раннюю часть периода несколько выше средней. Суммарная коллективная доза облучения в результате сбросов радиоактивных веществ в рамках ядерного топливного цикла до конца 1989 года, согласно оценкам, составляет немногим более 10 000 чел.-Зв. Коллективная доза от глобально рассеянных радионуклидов и от захоронения твердых отходов является неопределенной, поскольку она зависит от будущих методов обработки отходов и от развития народонаселения мира в следующие 10 000 лет. Использование расчетной величины в 200 чел.-Зв (ГВт-год)⁻¹, приведенной в Таблице 2, позволяет установить, что суммарная выработка ядерной энергии, составляющая 2 000 ГВт-год, дает расчетную ожидаемую коллективную эффективную дозу, равную 400 000 чел.-Зв.

Таблица 2. Нормализованные коллективные дозы облучения населения в связи с выработкой электроэнергии на АЭС

<u>Источник</u>	<u>Ожидаемая коллективная эффективная доза на единицу выработанной энергии</u> <u>[чел.-Зв (ГВт-год)⁻¹]</u>
Локальный и региональный компонент	
Добыча, обработка и хвосты	1,5
Производство топлива	0,003
Эксплуатация реакторов	1,3
Переработка	0,25
Транспортировка	0,1
Суммарная (округленная) доза	3
Глобальный компонент (включая удаление твердых отходов)	
Хвосты добычи и обработки (выбросы в течение 10 000 лет)	150
Удаление отходов эксплуатации реакторов	0,5
Глобально рассеянные радионуклиды, связанные в основном с переработкой и удалением твердых отходов	50
Суммарная (округленная) доза	200

145. Если имеющиеся на настоящий момент темпы производства и нормализованные значения, приводимые в Таблице 2, являются репрезентативными для 50-летнего периода, серединой которого служит текущий момент, то коллективная эффективная доза за 50 лет производства электроэнергии на АЭС составляет $2 \cdot 10^6$ чел.-Зв.

146. Дозы, получаемые индивидуумами от производства электроэнергии, колеблются в широких пределах, даже применительно к людям, находящимся около схожих АЭС. Для реалистичных моделей местоположения АЭС были сделаны оценки максимальных доз. По основным видам электростанций годовые эффективные дозы, получаемые подвергшимися наибольшему облучению лицами из числа населения, колеблются от 1 до 20 мкЗв. Соответствующие годовые показатели по заводам, перерабатывающим топливо, составляют 200-500 мкЗв.

5. Облучение населения в связи с крупными авариями

147. Во всех областях деятельности человека на производстве случаются аварии. Облучение больных радиацией в диагностических или терапевтических целях также связано с возможными неполадками в оборудовании или нарушениями в процедурах. Дозы, получаемые в результате незначительных неполадок на работе, включаются в

результаты установленного дозиметрического контроля. Некоторые аварии, как производственного, так и медицинского характера, влекут за собой серьезные последствия для их участников. Такие несчастные случаи происходят довольно часто (во всем мире, возможно, несколько сот происшествий в год), однако вероятность того, что они затронут какого-либо индивидуума со стороны, очень мала. В данном разделе рассматриваются только крупные аварии, имеющие отрицательные последствия для населения в целом.

148. Производство и последующая транспортировка ядерного оружия были связаны с рядом аварий. Транспортные аварии явились причиной местного загрязнения плутонием. Коллективные дозы, ожидаемые от этих аварий, малы. При одной аварии в Паломаресе, Испания, наивысшая ожидаемая эффективная доза составляет около 200 мЗв. Другие аварии на суше и утеря ядерного оружия на море привели к облучению людей практически незначительными дозами.

149. Две наиболее крупных аварии при производстве ядерного оружия произошли в Кыштыме на Южном Урале, СССР, в сентябре 1957 года, и на ядерном предприятии Уиндскейл в Селлафилде, Соединенное Королевство, в октябре того же года.

150. Авария в Кыштыме произошла в результате последовавшего после отказа системы охлаждения химического взрыва резервуара для хранения высокоактивных продуктов отходов деления. Основными выброшенными продуктами деления были изотопы церия, циркония, ниобия и стронция. Дозы облучения были получены в результате выпадения продуктов деления на местности и попадания стронция в пищевую цепочку. Коллективная доза примерно в равных долях разделилась между людьми, эвакуированными из района высокого загрязнения (примерно 10 000 человек), и людьми, которые оставались на менее загрязненных территориях (около 260 000 человек). Суммарная коллективная доза за 30 лет, согласно оценкам, составила примерно 2 500 чел.-Зв. Наивысшие индивидуальные дозы были получены людьми, эвакуированными в течение нескольких дней после аварии. Средняя эффективная доза по этой группе в 1 150 человек составляла примерно 500 мЗв.

151. Авария в Уиндскейле произошла в результате случившегося пожара в активной зоне, компонентами которой были природный уран и графит в газоохлаждаемом реакторе, предназначенном главным образом для производства оружейного плутония. Основными материалами выброса были изотопы ксенона, йода, цезия и полония. Наиболее распространенным путем поступления их в организм было потребление молока, которое контролировалось в районе вблизи аварии. На большем удалении неконтролируемое потребление молока и вдыхание этих радионуклидов достигали значительных масштабов, при этом наиболее важными среди указанных нуклидов были ^{131}I и ^{210}Po . Суммарная коллективная доза в Европе, включая Соединенное Королевство, составила около 2 000 чел.-Зв. Наивысшие дозы были получены на щитовидную железу детьми, проживавшими около места аварии. Они доходили до 100 мГр.

152. Произошло также несколько серьезных аварий, приведших к повреждениям ядерных энергетических реакторов, среди которых наиболее крупными были аварии в Три-Майл-Айленд в Соединенных Штатах и в Чернобыле в Советском Союзе. Авария в Три-Майл-Айленд привела к серьезному повреждению активной зоны реактора, но почти все продукты деления были задержаны системой защитной оболочки, в результате ожидаемая коллективная эффективная доза составляет не более, чем примерно 40 чел.-Зв. Дозы, полученные отдельными представителями населения, были низкими, при этом наивысшая доза была несколько меньше 1 мЗв.

153. Чернобыльская авария подробно обсуждалась в докладе НКДАР ООН за 1988 год (раздел III.A.8). Взрыв и последующее воспламенение графита привели к выбросу

существенной части содержимого активной зоны и вызвали распределение эффективных доз в Северном полушарии, главным образом в Советском Союзе и Европе. Ожидаемая коллективная эффективная доза от этой аварии, согласно оценкам, составляет примерно 600 000 чел.-Зв. Дозы, полученные отдельными людьми, были весьма различны; так, несколько человек в эвакуированной группе получили эффективные дозы, достигающие до 0,5 Зв. Среднегодовая эффективная доза в зонах жесткого контроля, окружающих зону эвакуации, снизилась примерно с 40 мЗв в год после аварии до менее чем 10 мЗв в каждый год до 1989 года.

154. Международный обзор положения в зонах, окружающих район эвакуации, был проведен в 1990 году. В ходе этой работы были подтверждены оценки дозы и сделан вывод, что состояние здоровья в это время было сопоставимо с состоянием здоровья в близлежащих незараженных населенных пунктах.

155. Иногда теряются или получают повреждения герметичные источники излучения, применяемые в промышленных или медицинских целях, в результате чего причиняется ущерб населению. С 1982 года произошло четыре крупных аварии такого рода. В 1983 году в Мексике на металлолом был продан незарегистрированный источник дистанционной лучевой терапии, содержащий кобальт-60. Помимо крупномасштабного заражения стальных изделий в Мексике и Соединенных Штатах около 1 000 людей подверглись значительным уровням облучения, причем эффективные дозы доходили до 250 мЗв. Около 80 человек получили более высокие дозы, до 3 Зв, а семь из них – дозы от 3 до 7 Зв. Погибших не было.

156. В 1984 году в Марокко погибли восемь членов одной семьи, нашедшей и хранившей дома герметичный источник промышленной рентгенографии, содержащий иридий-192. Эффективные дозы составляли от 8 до 25 Зв. В Гоянии, Бразилия, в 1987 году из хранилища был изъят и вскрыт источник дистанционной лучевой терапии, содержащий цезий-137. Крупные дозы были получены от прямого излучения и от локального заражения. Полученные людьми дозы доходили до 5 Зв. Были госпитализированы 54 человека, и четверо погибли. В 1992 году в Китае в провинции Шаньси был утерян и подобран источник кобальта-60. Три человека в семье подбравшего умерли от переоблучения. В 1993 году в Российской Федерации произошла авария на заводе в районе Томска. Информация об этой аварии пока еще полностью не оценена, однако, по-видимому, дозы облучения были очень низки и пострадало лишь несколько человек.

6. Профессиональное облучение

157. Профессиональному радиоактивному облучению подвергаются несколько категорий работников, которые имеют дело с радиоактивными веществами или облучаются от искусственных или естественных источников радиации. НКДАР ООН провел обзор по странам всего мира с целью получения информации для всестороннего рассмотрения проблемы профессионального радиоактивного облучения.

158. Для работников многих профессий, связанных с облучением от источников излучения или радиоактивными материалами, проводится индивидуальный дозиметрический контроль. Весомое исключение составляет значительное число работников, подвергающихся повышенному уровню облучения из естественных источников, например, в некоторых добывающих отраслях промышленности. Основная причина проведения дозиметрического контроля уровня облучения на рабочем месте заключается в том, чтобы создать основу для контроля уровня облучения и для обеспечения выполнения нормативных требований и административной политики. Оба этих требования предусматривают не только необходимость соблюдения предельных уровней доз, но могут включать в себя

также требования по обеспечению и демонстрации оптимальных систем защиты. Разработка и интерпретация программ дозиметрического контроля неизбежно отражают местные потребности. Расширение этих задач связано с тем преимуществом, что появляется возможность проводить сопоставление различных операций, если это не сопряжено со слишком большими трудностями. Такое расширение окажет значительное содействие Комитету в его работе по сбору и сопоставлению данных.

159. Для большинства работников, имеющих дело с источниками излучения или с радиоактивными материалами, основные источники облучения располагаются вне организма. Дозы, получаемые от внутренних источников, обычно незначительны, за исключением обусловленных радоном, присутствующим на всех рабочих местах в естественном виде. Более того, гораздо легче проводить дозиметрический контроль внешнего облучения, чем внутреннего. В результате многие работники подвергаются дозиметрическому контролю по поводу внешнего облучения, даже когда ожидается, что дозы будут низкими, а дозиметрический контроль по поводу внутреннего облучения проводится только тогда, когда он действительно необходим. Однако в некоторых областях, связанных с профессиональным облучением, возможно, осуществляется недостаточный дозиметрический контроль. Считается, что в крупных медицинских учреждениях уровень и регистрация профессионального облучения в медицинской практике являются приемлемыми, однако в небольших медицинских учреждениях, они, по-видимому, менее удовлетворительны.

160. Проводить непосредственные измерения эффективной дозы работников невозможно. При проведении большей части дозиметрического контроля внешнего облучения показания миниатюрных индивидуальных дозиметров обычно считаются адекватной мерой эффективной дозы. Дозы, получаемые от внутренних источников, оцениваются по ряду измерений, в том числе по количеству радиоактивного материала, выведенного из организма или оставшегося в нем, и по концентрации радиоактивных веществ в воздухе на рабочем месте. Оценки зависят от моделей временного распределения поступления радионуклидов в организм и от процессов их перемещения и удержания в организме. Неизбежны существенные неопределенности.

161. Имеются определенные трудности в представлении информации о типичной индивидуальной дозе работников, поскольку существуют различные правила выдачи дозиметров. В частности, широко распространенная практика выдачи дозиметров работникам, уровень облучения которых, вероятно, низок, искусственно занижает средний зарегистрированный уровень облучения подвергающегося облучению контингента работников. Отчасти Комитет применял среднюю дозу на одного работника, облучаемого в измеримых пределах, тем самым избегая искажений, вызываемых учетом лиц, подвергающихся контролю, но получающих незначительные дозы. Не все страны представляют информацию в том виде, который позволял бы оценивать эту величину, поэтому ее нельзя использовать в общем итоге данных. Для некоторых целей коллективная доза является более удовлетворительным показателем, поскольку на нее мало влияет включение большого числа индивидуально незначительных доз.

162. Существуют широкие различия в регистрируемых годовых дозах как между контролируемыми работниками разной специальности, так и между такими работниками одной и той же специальности в разных странах. Подробная информация, содержащаяся в обзоре, проведенном Комитетом, позволила провести сравнение между пятилетними периодами с 1975 по 1989 годы. В этом кратком изложении внимание в основном уделяется последнему пятилетнему периоду и обсуждаются тенденции за предыдущие периоды. Общемировые среднегодовые дозы контролируемых работников и связанные с этим коллективные дозы за 1985-1989 годы кратко излагаются в Таблице 3.

Таблица 3. Общемировые годовые дозы профессионального облучения контролируемых работников, 1985-1989 годы

<u>Профессиональная категория</u>	<u>Годовая коллективная эффективная доза а/</u> (чел.-Зв)	<u>Среднегодовая эффективная доза на контролируемого работника</u> (мЗв)
Ядерный топливный цикл		
Добыча	1 200	4,4
Обработка	120	6,3
Обогащение	0,4	0,08
Производство топлива	22	0,8
Эксплуатация реакторов	1 100	2,5
Переработка	36	3,0
Научно-исследовательская деятельность	100	0,8
Суммарная (округленная) доза	2 500	2,9
Другие профессии		
Промышленные виды применения	510	0,9
Оборонные виды деятельности	250	0,7
Медицинские виды применения	1 000	0,5
Суммарная (округленная) доза	1 800	0,6
Все профессии		
Общая суммарная (округленная) доза	4 300	1,1

а/ Не включены дозы, полученные вследствие случайного облучения из естественных источников. По оценкам, годовая коллективная доза из этих естественных источников составляет около 8 600 чел.-Зв, в основном от подземной горнодобычи, не связанной с ураном. Около половины этой дозы связано с добычей угля.

163. Работники профессий, связанных со случайным облучением из естественных источников, таких, как горное дело, не связанное с добычей урана, обычно не подвергаются дозиметрическому контролю, и их дозы не входят в цифры в Таблице 3. В этой категории основные профессии относятся к авиации и отраслям добычи полезных ископаемых. Обычно годовая эффективная доза экипажа воздушного корабля составляет от 2 до 3 мЗв, причем в некоторых сверхзвуковых самолетах дозы выше. В добывающих отраслях годовые эффективные дозы обычно приходятся на диапазон от 1 до 2 мЗв в угольных шахтах, и от 1 до 10 мЗв в других шахтах. По оценкам, годовая коллективная доза профессионального облучения этих работников составляет 8 600 чел.-Зв. Однако эти оценки достаточно неопределенные, поскольку данные дозиметрического контроля этих работников ограничены.

164. Приведенные в Таблице 3 оценки в некоторых отношениях отличаются от тех, которые делались в предыдущих докладах. Эти изменения в основном обусловлены появлением усовершенствованной базы данных. Самое значительное изменение произошло в оценках доз, получаемых от применения излучений в медицинских целях; значительная часть этих доз обусловлена излучением низкой проникающей способности. При этом показания персональных дозиметров, которые носят на поверхности тела, завышают эффективную дозу, особенно если, как это часто бывает, имеет место частичное экранирование тела экранами и защитными фартуками. На настоящий момент оценка коллективной дозы в 5 раз ниже, чем предыдущая, и все еще может быть завышенной в 2 раза.

165. В ядерной промышленности среднегодовая коллективная доза в последние 15 лет существенно не менялась, несмотря на увеличение производства электроэнергии за этот период в 3 раза и увеличение количества работников в 2 раза. Коллективная эффективная доза на единицу произведенной электроэнергии снизилась на 50 процентов, а средняя индивидуальная доза - на 30 процентов. Самые высокие средние индивидуальные дозы приходятся на работников горнодобывающей и обрабатывающей промышленности. Снижение индивидуальных доз у работников, связанных с эксплуатацией реакторов, обусловлено совершенствованием эксплуатационной практики, а также модификацией электростанций в середине 80-х годов. По мере вступления в строй новых электростанций можно ожидать дальнейших улучшений.

166. В промышленности в целом произошло примерно двукратное снижение как индивидуальных, так и коллективных доз. Поскольку число контролируемых работников изменилось лишь незначительно, это представляет собой общее улучшение. В оборонных отраслях промышленности снизились как коллективные, так и индивидуальные дозы, в основном благодаря усовершенствованиям в эксплуатации и материально-техническом обслуживании судов с ядерными двигателями.

167. Если принять во внимание завышение, присутствовавшее в предыдущих докладах, то тенденций изменения коллективной дозы при профессиональном облучении в медицине не наблюдается. Произошло уменьшение средней индивидуальной дозы, отчасти объясняемое увеличением числа контролируемых работников.

168. Работники редко подвергаются серьезному облучению в результате аварий. Чаше встречаются незначительные аварии, вызывающие неожиданное, но не причиняющее прямого ущерба облучение, но правила относительно представления данных о них значительно различаются в разных странах. За период с 1975 года Комитет получил информацию о 100 авариях, вызвавших гибель людей или обладающих способностью причинить детерминистический ущерб рабочей силе. Этот перечень почти наверняка неполон. Авария в Чернобыле была самой серьезной - в

результате ее от облучения погибли 28 человек. Дозы, полученные примерно 200 работниками, были достаточно высоки для того, чтобы вызвать клинические детерминистические эффекты. Имеются сообщения о трех смертельных случаях в результате воздействия излучения в других авариях. Аварии, затрагивающие население, были обсуждены в разделе 5 выше.

169. Коллективные дозы, получаемые вследствие облучения в ходе незначительных аварий, включаются в текущие сообщения о профессиональном облучении. Получаемые в ходе крупных аварий дозы нелегко оценить, но они, несомненно, малы по сравнению с суммарными коллективными дозами профессионального облучения. Одним из компонентов коллективной дозы, о котором еще не сообщалось в ряду с другими компонентами профессионального облучения, являются дозы, полученные в результате аварийных работ по блокировке поврежденного реактора в Чернобыле. Это не было аварийным облучением, хотя и явилось непосредственным результатом аварии. Было затронуто примерно 247 000 человек. Согласно оценкам, средняя доза от внутреннего облучения составила 0,12 Зв, а коллективная доза – около 30 000 чел.-Зв. Дозы от внешнего облучения колебались в период работ, однако в основном составляли около 10 процентов от уровня доз от внешнего облучения.

7. Обобщение современной информации

170. Типичные ожидаемые коллективные эффективные дозы за 50-летний период деятельности, связанные со всеми значительными источниками облучения и отдельными событиями с конца 1945 года, приведены в Таблице 4. Обоснования величин в этой таблице приведены в предыдущих частях данного раздела, которые в свою очередь содержат краткое изложение детальных оценок, приведенных в приложениях к настоящему докладу.

171. В Таблице 4 показана относительная важность радиационных источников с точки зрения результирующих коллективных доз. Самым крупным источником излучения, оставляющим далеко позади все другие, являются все вместе взятые естественные источники. Население всего мира облучается в результате воздействия космического излучения и излучения, исходящего от природных радионуклидов, калия, урана, радия, радона, тория и т.п., содержащихся в почве, воде, пище и в организме. Следующим наиболее важным источником ионизирующего излучения является использование в медицинских целях рентгеновского излучения и радиофармацевтических препаратов при различных диагностических обследованиях и лечении. В Таблицу 4 включены дозы, полученные как при диагностировании, так и при лечении, хотя они, строго говоря, несопоставимы с точки зрения наносимого ущерба.

172. Облучение в связи с атмосферными испытаниями ядерного оружия уменьшилось. Не было произведено ни одного испытания после последнего, проведенного в 1980 году. Производство электроэнергии с помощью реакторов атомных электростанций, аварии и различные виды профессионального облучения вносят небольшой вклад в коллективные дозы, но этот вклад тем не менее важен с точки зрения радиационной защиты индивидуумов.

173. Помимо доз, получаемых от естественных источников излучения, колебания индивидуальных доз во времени и в зависимости от места не позволяют осмысленно суммировать индивидуальные дозы. Однако можно представить некоторые ориентиры для этого.

Таблица 4. Ожидаемая коллективная доза для населения всего мира за 50-летний период деятельности, связанная с постоянной практикой или отдельными событиями в период с 1945 по 1992 год

<u>Источник</u>	<u>Основание для расчета ожидаемой дозы</u>	<u>Коллективная эффективная доза</u> (в млн. чел.-Зв)
Естественные источники	Существующая интенсивность на 50 лет	650
Медицинское облучение	Существующая интенсивность на 50 лет	90
Диагностирование		75
Лечение		
Испытания ядерного оружия в атмосфере	Завершившаяся деятельность	30
Ядерная энергетика	Вся деятельность на настоящий момент	0,4
	Существующая интенсивность на 50 лет	2
Крупные аварии	Отдельные события на настоящий момент	0,6
Профессиональное облучение	Существующая интенсивность на 50 лет	
Медицина		0,05
Ядерная энергетика		0,12
Использование в промышленных целях		0,03
Оборонная деятельность		0,01
Горнодобыча, кроме добычи урана		0,4
Итого (все виды деятельности)		0,6

174. Среднегодовая эффективная доза от естественных источников составляет 2,4 мЗв, а повышенные его значения обычно доходят до 10 или 20 мЗв. В промышленно развитых странах в результате медицинских процедур средний индивидuum получает годовую эффективную дозу от 1 до 2 мЗв, причем примерно две ее трети получаются в результате диагностической рентгенологии. В докладе НКДАР ООН за 1977 год сообщалось о среднегодовых дозах, полученных в середине 70-х годов индивидами в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере. К тому времени большая часть нуклидов с коротким периодом существования распалась. Годовые эффективные дозы составили примерно 5 мкЗв. Годовые эффективные дозы во время максимальной интенсивности испытаний в Северном полушарии составляли, вероятно, от 100 до 200 мкЗв. Годовые эффективные дозы, полученные людьми подвергшимися наибольшему облучению вблизи ядерно-энергетических установок, приходились на диапазон от 1 до 200 мкЗв. Годовые эффективные дозы профессионального облучения, полученные контролируемыи работниками, обычно приходятся на диапазон от 1 до 10 мЗв.

V. ВОСПРИЯТИЕ РАДИАЦИОННОГО РИСКА

175. Слово "риск" имеет несколько разных значений. Оно часто используется описательно для указания возможности потери или опасности как "риск дельтапланеризма". В техническом контексте оно используется в количественном отношении, но без какого-либо общего согласования его определения. Иногда это слово используется для обозначения вероятности определенного неблагоприятного проявления, но оно также широко используется для обозначения этой вероятности в сочетании с некоторой мерой серьезности результатов ее проявления. Эти разные значения приводят к путанице среди специалистов, но, вероятно, мало влияют на отношение к этому понятию широкой общественности. Для последней риск по большей части представляется как описательное или качественное понятие. Некоторые виды риска кажутся хуже других отчасти вследствие того, что проявление связанных с ними последствий кажется более вероятным, отчасти потому, что это проявление, если оно действительно будет иметь место, является менее желательным. Предпринимаются незначительные попытки провести формальное различие между этими аспектами или объединить их в нечто большее, чем интуитивное понятие, если они вообще предпринимаются. На понимание общественностью смысла этого понятия влияют многие факторы. Они включают источник риска, его природу, степень, до которой он является известной частью жизни, степень выбора и контроля, которой, как предполагается, обладает индивидuum, доверие к тому, от кого исходит риск, и к регулятору степени риска, а также многое другое. Неизбежно любое рассмотрение риска с количественной точки зрения включают как научные, так и социальные оценки.

176. На этом фоне нет оснований ожидать, что отношение общественности к какому-либо риску будет таким же, что и у людей, которые оценивают риск в количественном выражении, оценивают его важность и контролируют ситуацию риска. Задача Комитета заключается в представлении количественных оценок риска, связанного с ионизирующим излучением. Эффекты облучения были выражены с точки зрения вероятности их возникновения, периода сокращения срока жизни в случае последствий, приводящих к гибели, и степени серьезности последствий, не приводящих к гибели. Комитет не собирается выносить суждение об относительной важности различных видов риска для общества или рассматривать вопрос о контроле за ситуациями риска. Поэтому он намерен представить свои выводы в нейтральной форме и счел целесообразным учесть до некоторой степени вероятные различия в том, как будут восприниматься его выводы неспециалистами.

177. Наиболее важный вывод заключается в том, что нет единообразия в оценке, сравнении или приемлемости видов риска среди индивидуумов или различных обществ. Значительный прогресс был достигнут главным образом за последние 20 лет, в установлении структурного представления факторов, влияющих на восприятие, и в группировании факторов в классы. Некоторые из этих факторов связаны с личными особенностями и опытом индивидуумов, а другие связаны с особенностями общества, в котором индивидуумы живут. Многое зависит от уровня знаний об источнике и характере рассматриваемых видов риска.

178. Во всех профессиях и видах деятельности, связанных с ионизирующим излучением, рассмотрение риска с количественной точки зрения и его восприятие признаны важными вопросами. Основная трудность при контроле ситуаций риска была связана с удовлетворением интересов индивидуумов, общин и общества. Основным подход к контролю ситуаций риска заключался в обосновании видов деятельности или практики с учетом получаемых выгод и в том, чтобы сделать все разумно достижимое для снижения риска. Мнения относительно того, до какой степени этот подход оправдал себя, во многом зависят от восприятия выносящего суждения.

179. Существуют значительные трудности доведения сведений об излучении до общественности. Даже в странах, высокоразвитых с технологической точки зрения, многие люди даже в общих чертах не знают, что такое излучение. Большинство из тех, кто что-то об этом знает, связывают излучение с авариями, оружием, осадками и раком. Очень немногие связывают излучение с медицинской диагностикой или имеют представление об уровне нормального фонового облучения от естественных источников излучения.

180. Комитет признает, что многие факторы, находящиеся вне его компетенции, влияют на то, как рассматриваются его выводы. На обеспокоенность общественности уровнями и эффектами излучения большее влияние оказывает восприятие достоинств и социальных последствий источника излучения, чем величина результирующих облучений и рисков. Тем не менее Комитет признает необходимость оценки доз облучения в результате ионизирующего излучения и предоставления обоснованных, состоятельных и непредвзятых оценок радиационных рисков. Информация должна быть достоверной и четко передаваться, если ставится цель достижения позитивных решений для всего общества.

VI. РЕЗЮМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А. УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ

181. По мере улучшения процедуры представления данных повышается точность даваемых Комитетом оценок уровней облучения во всем мире. Можно сделать весьма общий вывод, что благодаря совершенствованию процедур доза облучения, приходящаяся на единицу деятельности, снижается на величину, которая достаточна для компенсации увеличения радиации в связи с расширением масштабов деятельности.

182. Некоторые источники излучения являются непрерывно действующими с постоянным уровнем. Другие источники действуют в течение длительных периодов времени, однако не обязательно с постоянным уровнем. Кроме того, имеют место отдельные события или отдельные серии событий, например испытания оружия. Источники выброса радиоактивных веществ в окружающую среду вызывают облучение в течение продолжительных периодов времени, так что результирующие годовые дозы не являются удовлетворительной мерой измерения их полного воздействия.

183. В настоящем докладе представлены данные о коллективной дозе для населения всего мира, полученной или ожидаемой в связи с отдельными событиями за период с конца 1945 по конец 1992 года (47 лет) и за период в 50 лет при существующей интенсивности деятельности или в связи с облучением от всех других источников. Результаты представлены в таблице 4.

В. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

184. Что касается биологических эффектов радиации, то Комитет проявляет интерес прежде всего к эффектам, вызываемым низкими дозами. Вероятность проявления этих эффектов мала, однако, когда это происходит, они бывают серьезными. Статистические ограничения не позволяют на основе эпидемиологических исследований получать прямые оценки риска при низких дозах, что вызывает необходимость полагаться на помощь радиобиологии, которая дает основу для интерпретации результатов эпидемиологии. Сочетание эпидемиологических и радиобиологических исследований, особенно на молекулярном и клеточном уровнях, позволяет прояснить последствия низких доз облучения.

185. Одно из наиболее быстро развивающихся направлений деятельности посвящено механизмам индуцирования рака в результате изменений в молекулярной структуре ДНК. Несмотря на столь же быстрый прогресс в исследовании наследственных нарушений, необходимо еще получить количественные оценки наследственного риска на основе результатов исследований на животных. Даже существенные дозы облучения в Хиросиме и Нагасаки не позволили получить количественные оценки наследственных рисков с достаточной степенью уверенности.

186. Несмотря на быстрый прогресс в области радиобиологии и накопление данных в области эпидемиологии, Комитет пока не счел необходимым вносить какие-либо существенные изменения в свои оценки риска.

С. ПЕРСПЕКТИВЫ

187. Оценки Комитета в отношении облучения ионизирующим излучением и риска облучения свидетельствуют о том, что радиация является слабым канцерогеном. Примерно в 4 процентах случаев смерти от рака причиной заболевания может считаться ионизирующее излучение, большая часть которого исходит от естественных источников, неподвластных контролю человека. Тем не менее бытует широкое (но ошибочное) мнение, что все случаи смерти от рака в Хиросиме и Нагасаки являются результатом атомных бомбардировок. Проводимые в этих двух городах исследования, которые охватывают практически всех подвергшихся серьезному облучению лиц, свидетельствуют о том, что только в 350 из 3 350 случаев смерти от рака причиной заболевания может считаться облучение в результате атомных бомбардировок.

188. Выявить перспективы, касающиеся последствий излучения из созданных деятельностью человека источников, можно путем сопоставления результирующих доз с дозами от естественных источников. Это несложно осуществить в глобальном аспекте, в рамках которого рассматриваются суммарные (или средние) дозы облучения в мире. Данные о коллективных дозах представлены в Таблице 4. Однако облучению от многих из созданных людьми источников подвергаются лишь ограниченные группы людей. В следующем пункте предпринимается попытка провести различие между этими ситуациями.

189. В мировом масштабе один год медицинской деятельности на ее нынешнем уровне равен примерно 90 дням облучения от естественных источников, однако

индивидуальные дозы, получаемые при медицинских процедурах, колеблются от нуля (для лиц, не проходящих обследование или лечение) до нескольких тысяч годовых доз от естественных источников (для больных, проходящих лечение радиотерапией). Большая часть ожидаемых доз, связанных с нынешней годовой деятельностью в рамках ядерного топливного цикла, распределяется повсеместно и соответствует примерно 1 дню облучения от естественных источников. За исключением тех случаев, когда происходят серьезные аварии, дозы наиболее сильно облучаемых лиц не превосходят и редко достигают уровня облучения от естественных источников. Профессиональное облучение, если его рассматривать глобально, соответствует примерно 8 часам облучения от естественных источников. Однако с профессиональным облучением связана лишь небольшая доля работающих. Для этой ограниченной группы дозы профессионального облучения аналогичны дозам от естественных источников. Для небольших подгрупп дозы профессионального облучения примерно в пять раз превышают дозы от естественных источников. Ожидаемая коллективная доза от ядерных испытаний в атмосфере за 10 000 лет распределяется довольно равномерно и соответствует примерно 2,3 года облучения от естественных источников. Этот показатель охватывает всю программу испытаний и не может быть сопоставлен с показателями за какой-либо год деятельности. Лишь одна из аварий на гражданской ядерно-энергетической установке, а именно в Чернобыле, привела к более высоким дозам облучения населения, чем от годового облучения от естественных источников. В мировом масштабе эта авария соответствовала примерно 20 дням облучения от естественных источников. Эти выводы в краткой форме представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Облучение от искусственных источников в сопоставлении с периодами облучения от естественных источников

<u>Источник</u>	<u>Основание</u>	<u>Эквивалентный период облучения от естественных источников</u>
Медицинское облучение	Один год деятельности в нынешних масштабах	90 дней
Испытания ядерного оружия	Завершившаяся деятельность	2,3 года
Ядерная энергетика	Вся деятельность к настоящему времени	10 дней
	Один год деятельности в нынешних масштабах	1 день
Крупные аварии	Отдельные события к настоящему моменту	20 дней
Профессиональное облучение	Один год деятельности в нынешних масштабах	8 часов

Добавление I

ЧЛЕНЫ НАЦИОНАЛЬНЫХ ДЕЛЕГАЦИЙ, УЧАСТВОВАВШИЕ В РАБОТЕ ТРИДЦАТЬ ВОСЬМОЙ - Сорок второй сессий

АВСТРАЛИЯ	К.Х. Локан (представитель)
АРГЕНТИНА	Д. Бенинсон (представитель), Е. д'Амато, К. Ариас, Д. Кансио, А. Курти, Е. Паласиос
БЕЛЬГИЯ	Дж. Майсин (представитель), Р. Кишманн, Х.П. Леенхаутс, П.Х.М. Ложман, К. Санкаранарайанан, Д. Смеестерс
БРАЗИЛИЯ	Е. Пенна Франка (представитель), Ж. Ландманн-Липштейн
ГЕРМАНИЯ <u>a/</u>	А. Каул (представитель), В. Буркарт, У.Х. Эклинг, В. Якоби, А.М. Келлерер, Ф.Е. Штиве, К. Штреффер
ЕГИПЕТ	М.Ф. Ахмед (представитель), Ф.Х. Хаммад (представитель), Ф. Мохамед (представитель), Х.М. Рушди (представитель), С.Е. Хашиш
ИНДИЯ	Д.В. Гопинат (представитель), У. Мадхванат (представитель), Н.К. Нотани (представитель)
ИНДОНЕЗИЯ	С. Соекарно (представитель), С. Вирьосимин (представитель), К. Вихарто
КАНАДА	Е.Г. Легурно (представитель), А. Арсено, Д.Р. Шамп, Р.М. Шаттерже, П.Ж. Дюпорт, В. Елагуппилаи, Н.Е. Жантне, Б.К. Лентл, Д.К. Майерс
КИТАЙ	Ли Дэпин (представитель), Лю Хунсян (представитель), Вэй Люйсинь (представитель), Лэн Жуйпин, Пань Чжицян, Тао Цзуфань, У Дэчан
МЕКСИКА	Е. Араико Саласар (представитель)
ПЕРУ	Л.В. Пиниллос Аштон (представитель)
ПОЛЬША	З. Яворовский (представитель), Я. Янковский, Я. Линицкий, О. Росiek, С. Стерлинский, И. Шумель
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ <u>b/</u>	Л.А. Ильин (представитель), Р. Алексахин, Р.М. Бархударов, Ю. Булдаков, В. Бебешко, Н.А. Долгова, А. Гуськова, Д.Ф. Хохлова, Ю. Холина, Е. Комаров, О. Павловский, Г.Н. Романов

a/ На тридцать восьмой и тридцать девятой сессиях: Федеративная Республика Германии.

b/ На тридцать восьмой, тридцать девятой и сороковой сессиях: Союз Советских Социалистических Республик.

СЛОВАКИЯ <u>с/</u>	М. Климек (представитель)
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ	Дж. Данстер (представитель), Р.Х. Кларк, Дж. Денекамп, сэр Ричард Долл
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	Ф.А. Меттлер (представитель), Л.Р. Анспауф, Дж.Д. Бойс, К.В. Эдингтон, Дж.Х. Харли, Н.Х. Харли, К. Мейнхолд, П.Б. Селби, У.К. Синклэр, Е.У. Вебстер, Х.О. Уикофф
СУДАН	О.И. Еламин (представитель), А. Хидаяталла (представитель)
ФРАНЦИЯ	П. Пеллерин (представитель), Е. Кардис, Р. Кулон, Х. Дютрийо, А. Флюри-Эрар, Х. Жамме, Ж. Лафума, Г. Лемэр, Р. Массе
ШВЕЦИЯ	Г. Бенгтссон (представитель), Л.-Е. Хольм, Й.О. Снихс, Л. Шоберг
ЯПОНИЯ	Х. Мацудайра (представитель), Й. Хосода, Т. Ивасаки, А. Касаи, С. Кумазава, Т. Мацузаки, К. Нишизава, Х. Ногучи, К. Сато, К. Шинохара, С. Яно

с/ На тридцать восьмой, тридцать девятой, сороковой и сорок первой сессиях: Чехословакия.

Добавление II

НАУЧНЫЕ СОТРУДНИКИ И КОНСУЛЬТАНТЫ, СОТРУДНИЧАВШИЕ С КОМИТЕТОМ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НАСТОЯЩЕГО ДОКЛАДА

Д. Бенинсон
Б.Г. Беннетт
А. Бувиль
Р. Кокс
Дж. Данстер
Д. Гудхед
Л.Е. де Жеер
Дж. Холл
Л.Е. Холм
Г.Н. Келли
М. О'Риордан
В.Дж. Шуль
П. Селби
Дж.У. Штатер
Дж. Валентин
Ф. Фогель
