

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

ГЕНЕРАЛЬНАЯ АССАМБЛЕЯ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОТЧЕТЫ • СОРОК ТРЕТЬЯ СЕССИЯ

ДОПОЛНЕНИЕ № 45 (A/43/45)



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

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

ГЕНЕРАЛЬНАЯ АССАМБЛЕЯ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОТЧЕТЫ • СОРОК ТРЕТЬЯ СЕССИЯ

ДОПОЛНЕНИЕ № 45 (A/43/45)



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Нью-Йорк • 1988

ПРИМЕЧАНИЕ

Условные обозначения документов Организации Объединенных Наций состоят из прописных букв и цифр. Когда такое обозначение встречается в тексте, оно служит указанием на соответствующий документ Организации Объединенных Наций.

СОДЕРЖАНИЕ

	<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
I. ВВЕДЕНИЕ	1 - 7	1
II. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР	8 - 135	2
A. Соображения общего характера	8 - 10	2
B. Концепции, величины и единицы	11 - 41	3
1. Активность	12 - 14	3
2. Доза ионизирующего излучения	15 - 24	3
3. Развитие концепций дозиметрии	25 - 41	5
a) Генетически значимая доза	26	5
b) Средняя доза на костный мозг	27	6
c) Ожидаемая доза	28 - 30	6
d) Коллективные дозы и ожидаемые коллектив- ные дозы	31 - 32	7
e) Коэффициенты переноса	33 - 34	7
f) Наиболее важные органы	35 - 36	7
g) Эффективная эквивалентная доза	37 - 41	8
C. Оценки доз	42 - 85	9
1. Естественные источники ионизирующего излучения	42 - 44	9
2. Ядерные взрывы	45 - 56	10
3. Производство электроэнергии на атомных электростанциях	57 - 62	12
4. Медицинское облучение	63 - 70	14
5. Профессиональное облучение	71 - 76	15
6. Облучение из прочих источников	77 - 80	17
7. Аварии и происшествия	81 - 85	18
D. Оценки риска	86 - 135	19
1. Наследственный вред	86 - 95	19
2. Рак	96 - 116	21
3. Нестохастические эффекты	117 - 127	28
a) Облучение взрослых	117 - 121	28
b) Пренатальное облучение	122 - 127	29
4. Другие виды вредного воздействия	128 - 135	30
III. ПОЛОЖЕНИЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ	136 - 270	32
A. Уровни и дозы ионизирующего излучения	137 - 185	32
1. Естественные источники ионизирующего излучения	137 - 141	32
2. Ядерные взрывы	142 - 145	34
3. Производство электроэнергии на атомных электростанциях	146 - 159	35

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

	<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
4. Медицинское облучение	160 - 166	39
5. Профессиональное облучение	167 - 169	40
6. Облучение из прочих источников излучения	170	41
7. Аварии и происшествия	171 - 173	41
8. Чернобыльская авария	174 - 185	42
В. Радиационные эффекты	186 - 232	46
1. Наследственный вред	186 - 191	46
2. Радиационный канцерогенез у человека	192 - 210	48
3. Ранние эффекты облучения человека высокими дозами ионизирующего излучения	211 - 229	53
4. Эффекты пренатального облучения	230 - 232	57
С. Вычисление коэффициентов риска	233 - 252	57
1. Наследственный вред	237 - 243	58
2. Рак	244 - 252	59
а) Индивидуальный риск данной локализации	246 - 250	60
б) Коллективный ущерб	251 - 252	61
Д. Сопоставление доз облучения	253 - 270	62
1. Сопоставления, проводившиеся НКДАР ООН в прошлом	253 - 256	62
2. Цель сопоставлений	257	63
3. Сопоставление коллективных доз	258 - 259	63
4. Сопоставление индивидуальных доз	260 - 261	64
5. Резюме сопоставления доз	262 - 264	64
6. Прямое сопоставление ущерба	265 - 270	65
<u>Добавления</u>		
I. Члены национальных делегаций, присутствовавшие на тридцать первой- тридцать седьмой сессиях Комитета		67
II. Список научных работников и консультантов, сотрудничавших с Комитетом в ходе подготовки настоящего доклада		69
III. Перечень докладов, полученных Комитетом		70

I. ВВЕДЕНИЕ

1. Настоящий доклад является десятым в серии докладов, представляемых Научным комитетом Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН) 1/ Генеральной Ассамблее 2/. Подготовка настоящего доклада и научных приложений к нему проводилась в период проведения тридцать первой-тридцать седьмой сессий Комитета. Материалы, содержащиеся в настоящем докладе, разрабатывались в ходе ежегодных сессий Комитета на основе рабочих документов, подготавливаемых в секретариате, а затем в них вносились изменения и добавления в периоды между ближайшими сессиями по просьбам Комитета. В период подготовки доклада, содержащего семь научных приложений, на тридцать пятой сессии Комитета был подготовлен еще один доклад с тремя научными приложениями. Эти два доклада, упоминаемые как доклады за 1986 и 1988 годы, содержат последнюю всеобъемлющую оценку Комитетом источников, эффектов и риска воздействия ионизирующих излучений.

2. На нижеперечисленных сессиях в качестве председателей, заместителей председателя и докладчиков выступали соответственно следующие члены Комитета: тридцать первая сессия: З. Яворовский (Польша), Д. Бенинсон (Аргентина) и Т. Куматори (Япония); тридцать вторая и тридцать третья сессии: Д. Бенинсон (Аргентина), Т. Куматори (Япония) и А. Хидаяталла (Судан); тридцать четвертая и тридцать пятая сессии: Т. Куматори (Япония), А. Кауль (Федеративная Республика Германии) и А. Хидаяталла (Судан); тридцать шестая и тридцать седьмая сессии: Б. Линделл (Швеция), К.Х. Локан (Австралия) и Ж. Месэн (Бельгия). Фамилии экспертов, принимавших участие в тридцать первой-тридцать седьмой сессиях в качестве официальных представителей или членов национальных делегаций, перечислены в добавлении I.

3. Утверждая настоящий доклад и принимая на себя тем самым полную ответственность за его содержание, Комитет хотел бы выразить свою признательность небольшой группе консультантов, назначенных Генеральным секретарем, за предоставленную ими помощь и консультации при подготовке текста доклада и его научных приложений. Их фамилии приводятся в добавлении II. Они отвечали за составление предварительных обзоров и оценку технической информации, полученной Комитетом или опубликованной в открытых научных изданиях, которая легла в основу заключительных дискуссий Комитета. Различные международные и национальные организации предложили Комитету дополнительную помощь и финансовую поддержку для подготовки некоторых научных приложений. Комитет хотел бы выразить свою признательность этим организациям, которые перечислены в соответствующих приложениях.

4. В сессиях Комитета, проведенных в течение рассматриваемого периода, участвовали представители Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕИ). Комитет желает отдать должное их вкладу в обсуждение рассматриваемых вопросов.

5. В добавлении III к настоящему докладу содержится перечень докладов, полученных Комитетом от государств - членов Организации Объединенных Наций, членов ее специализированных учреждений и МАГАТЭ, а также от самих этих учреждений в период с 19 апреля 1986 года по 17 июня 1988 года. Перечни докладов, полученных до 19 апреля 1986 года, содержались в предыдущих докладах Комитета Генеральной Ассамблее. Эта информация, официально получаемая Комитетом, дополнялась и интерпретировалась в свете многих других данных, содержащихся в текущей научной литературе или, в ряде случаев, - в неопубликованных сообщениях отдельных ученых.

6. В настоящем докладе Комитет резюмирует основные выводы предпринятых специальных исследований, причем делает это также в свете ранее выпущенных документов по существу вопроса. Насколько это возможно, материал представлен на самом общедоступном уровне ввиду трудности понимания концепций и единиц, характерных для данной области. После главы, обобщающей данные и тенденции, возникшие в течение прошлых лет, освещаются выводы, следующие из новейших исследований в области радиационной физики и биологии. За основным текстом следуют дополняющие его научные приложения, которые по своей форме и языку в основном рассчитаны на специалистов.

7. В соответствии с установившейся практикой Генеральной Ассамблеи представляется только основной текст доклада, а полный текст, включая научные приложения, будет опубликован в качестве издания Организации Объединенных Наций, предназначенного для продажи. Такая практика направлена на обеспечение более широкого распространения полученных результатов на благо международного научного сообщества. Комитет хотел бы обратить внимание Генеральной Ассамблеи на тот факт, что отделение основного текста доклада от его научных приложений сделано лишь из соображений удобства. Следует понимать, что научные данные, приводимые в приложениях, имеют большое значение, поскольку они служат основой выводов, содержащихся в докладе.

II. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

A. Соображения общего характера

8. В течение 33 лет своего существования Комитет настойчиво пытался дать наилучшие возможные оценки:

а) доз, полученных населением земного шара в глобальном масштабе в прошлом, и ожидаемых доз в будущем, обусловленных различными естественными и искусственными источниками ионизирующего излучения;

б) риска нанесения различных видов ущерба за счет ионизирующего излучения как в ближайшее время, так и в долгосрочном плане индивидуумам, непосредственно получившим такие дозы, или их потомкам во многих поколениях.

9. С течением времени и возрастания числа и сложности докладов, опубликованных Комитетом, даже для специалистов становится все труднее проследить по ранее опубликованным изданиям развитие основных идей, лежащих в основе оценок Комитета, и динамику изменения этих оценок с течением времени в результате расширения научных знаний. Поэтому представляется полезным представить в виде краткого обзора основные выводы, сделанные в вышеуказанных областях. Такое резюме приводится по целому ряду соображений. Во-первых, для осведомления Генеральной Ассамблеи о проделанной работе и результатах, достигнутых Комитетом. Во-вторых, для создания источника данных об эволюции концептуальной основы работы Комитета в целях осведомления постепенно меняющегося членского состава Комитета. И наконец, для информирования международного научного сообщества, которое использует доклады НКДАР ООН и научные приложения к нему в качестве исходных справочных материалов.

10. Таким образом, в данной главе обобщены мнения Комитета в области оценки дозы (что находится ближе к предмету физики) и оценки риска (которая включает соображения физического, а также радиобиологического и медицинского характера). Ее целью является описание как общих принципов, лежащих в основе оценок, так и выводов, причем настолько простым языком, насколько позволяет сложность предмета, и с опущением значительной части обсуждений в поддержку того или иного выбора,

сделанного в конкретный период времени. С этой целью, а также в связи с другими деталями технического или методологического характера в главе делаются ссылки на доклады Генеральной Ассамблеи, представленные в течение 1958–1986 годов. Полный перечень этих публикаций, изданных Комитетом, содержится в сноске 2/ к пункту 1 настоящего доклада. Текущие оценки рассматриваются более подробно в главе III.

В. Концепции, величины и единицы

11. Радиация представляет собой процесс распространения энергии в пространстве. При прохождении через какой-либо материал излучаемая энергия поглощается. В случае ионизирующей радиации (т.е. вида радиации, которым занимается Комитет) процесс поглощения связан с потерей электронов атомами, в результате чего образуются ионы. Ионизирующая радиация может возбуждаться в устройствах, таких, как рентгеновские трубки, либо возникать в процессе дезинтеграции радиоактивных нуклидов (явление, называемое радиоактивностью). Подобные нуклиды встречаются в природе, однако могут производиться и в искусственных условиях, например в ядерных реакторах. Двумя основными количественными характеристиками, используемыми при оценке уровней и эффектов ионизирующего излучения, являются активность радиоактивного вещества и доза ионизирующего излучения. Комитет использует систему количественных параметров и единиц радиации, принятую МКРЕИ в 1980 году.

1. Активность

12. Активность радиоактивного вещества – это число спонтанных ядерных распадов в единицу времени. Единицей измерения активности, которую Комитет использовал до доклада за 1977 год, и включая упомянутый доклад, являлось кюри (Ки), равное 37 миллиардам ($3,7 \cdot 10^{10}$) ядерных распадов в секунду, – число, которое первоначально было введено по той причине, что такова приблизительно активность 1 грамма радия-226.

13. В настоящее время за единицу активности принят беккерель (Бк). Один беккерель равен одному ядерному распаду в секунду.

14. Слово "радиоактивность" обозначает явление радиоактивного распада. Оно не является синонимом "активности" и его не следует использовать в значении "радиоактивного вещества".

2. Доза ионизирующего излучения

15. Термин "доза ионизирующего излучения" может означать несколько понятий (например, поглощенную дозу, эквивалентную дозу или эффективную эквивалентную дозу). Поглощенная доза ионизирующего излучения есть энергия излучения, поглощенная в единице массы облученного вещества. В период до доклада за 1977 год и включая указанный доклад в качестве единицы поглощенной дозы Комитет использовал рад ($1 \text{ рад} = 0,01 \text{ джоуль/кг}$). В настоящее время единицей поглощенной дозы является джоуль/кг, которой присвоено специальное наименование грей (Гр). Таким образом, $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ джоуль/кг} = 0,01 \text{ Гр}$.

16. Различные виды ионизирующего излучения имеют различную относительную биологическую эффективность (ОБЭ). ОБЭ данного излучения относительно эталонного излучения (обычно рентгеновского или гамма-излучения) есть обратное отношение поглощенных доз этих двух видов излучения, необходимых для получения той же степени биологического эффекта, в отношении которого приводится ОБЭ.

17. При подготовке НКДАР ООН своих первых докладов МКРЗ рекомендовала определенные значения ОБЭ в целях радиационной защиты. При умножении поглощенной дозы различных видов ионизирующего излучения на эти значения в произведении получали величину взвешенной дозы, используемой в целях радиационной защиты (например, для сравнения с предельными дозами). Единица такой взвешенной дозы получила название бэр.

18. Использование термина ОБЭ как в целях радиационной защиты (где она отражала только стандартные значения, рекомендованные МКРЗ), так и в радиобиологии (где она отражала наиболее вероятное значение для конкретного биологического эффекта при данных условиях облучения), вызвало некоторые проблемы. Поэтому МКРЗ и МКРЕИ приняли решение ввести новую количественную величину – эквивалентную дозу. Эта доза является произведением поглощенной дозы данного вида излучения на так называемый коэффициент качества (первоначально обозначавшийся QF, а впоследствии Q); ее единицей является бэр. Коэффициент качества определялся МКРЗ как показатель способности каждого вида излучения вызывать ионизацию и выражался термином "линейная передача энергии" (ЛПЭ). МКРЗ высказала мнение, что на практике достаточно использовать приближенные величины усредненных значений, т.е. только одно значение QF (Q) для каждого вида ионизирующего излучения. Значения, рекомендованные МКРЗ, составляют: для рентгеновского, гамма- и бета-излучения $Q = 1$, для быстрых нейтронов $Q = 10$ (в 1985 году изменено на $Q = 20$), для альфа-частиц $Q = 10$ (в 1977 году изменено на $Q = 20$) и для тяжелых частиц $Q = 20$. Наряду с этими факторами Комитет продолжал использовать также значение $Q = 10$ для быстрых нейтронов.

19. В докладах НКДАР ООН при выражении доз в бэрах в большинстве случаев использовались значения ОБЭ (защита), установленные МКРЗ (QF или Q), однако, когда в докладах цитируются различные авторы, указывающие величину доз в бэрах, возможно использование основного определения QF (Q), связанного с ЛПЭ.

20. После того как в 1982 году Комитет перешел на использование новой международной системы единиц, единицей поглощенной дозы стал грей вместо рад, а новым наименованием единицы эквивалентной дозы стал зиверт (Зв).

21. Помимо поглощенной и эквивалентной доз имеется третья количественная величина, которая может иметься в виду автором при использовании термина "доза излучения", а именно экспозиционная доза (exposure). Экспозиционная доза – это полная величина электрического заряда равнозаряженных ионов, возникших в воздухе в результате высвобождения электронов под воздействием рентгеновского или гамма-излучения, в расчете на единицу массы подвергшегося излучению воздуха. Поскольку экспозиционная доза является мерой ионизирующего действия рентгеновского или гамма-излучения в воздухе, она применима только к этим видам излучения. Единицей экспозиционной дозы является кулон/кг, однако до сих пор еще продолжает использоваться старая единица рентген (Р). $1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ кулон/кг. В настоящем докладе термин "exposure" используется также в его обычном значении – подверженность чему-либо (например, излучению из какого-либо источника).

22. В этом последнем значении подверженность излучению в результате распада радона может быть выражена двумя разными способами: в виде количества продуктов распада, которые вдыхались вместе с воздухом, с учетом их способности испускать энергию излучения; или же в виде произведения времени, в течение которого продукты распада вдыхались с воздухом, на их концентрацию в этом воздухе. Потенциальная альфа-энергия продуктов распада, которые вдыхались с воздухом, может быть выражена просто в джоулях (дж). Потенциальная концентрация альфа-энергии в воздухе выражается в дж/м³, или в более ранней единице измерения – рабочем уровне (РУ)

($1\text{РУ} = 2,08 \cdot 10^{-5} \text{ дж/м}^3$). В том случае, если продукт распада радона находится в состоянии равновесия, концентрация равна 3700 Бк/м^3 . Излучение со стороны продуктов распада обычно выражается в виде рабочего уровня за месяц (РУМ), или, как это теперь принято, в Бк ч/м^3 .

23. В докладе Комитета за 1958 год слово "доза" использовалось в широком смысле, подразумевавшем, что заключение о той величине, которая имела в виду, будет сделано, исходя из используемых единиц (рентген, рад и бэр). В докладе НКДАР ООН за 1962 год дозы иногда выражались в радах, а иногда в бэрах. Однако в последующих пяти докладах вплоть до доклада 1977 года и включая его применялся более строгий подход. Неизменно использовалось понятие поглощенной дозы, а термина "эквивалентная доза" намеренно избегали. Основная причина этого заключалась в том, что одной из целей использования информации физического и биологического характера являлось обеспечение основы для оценок ОБЭ, а следовательно, и адекватности рекомендованных значений Q. В этом случае представлять дозы в виде эквивалентных доз было бы равносильно сознательному осложнению вопроса. В некоторых случаях, однако, экспозиционные дозы приходилось выражать в рентгенах, поскольку именно так они приводились в оригинальных данных.

24. Начиная с доклада НКДАР ООН 1982 года эта практика изменилась. Комитет все больше проявлял интерес к оценкам риска, не ограничиваясь при этом простым перечислением уровней поглощенной дозы. Одной из причин этого явилось возрастающее число данных, свидетельствующих о злокачественных заболеваниях легких под действием продуктов распада радона и о высокой концентрации этих дочерних продуктов в жилых помещениях. Ранее считалось, что дозовые вклады различных видов излучения, характеризующихся значением ОБЭ, отличным от единицы по отношению к гамма-излучению, не имеют большого значения и что достаточно указывать только поглощенные дозы. К рассматриваемому времени ситуация изменилась. Было признано, что эквивалентная доза является количественной характеристикой, предназначенной для целей радиационной защиты, и что значения Q, рекомендованные МКРЗ, могут отличаться от истинных значений ОБЭ, однако по-прежнему считалось, что более правильным показателем риска является эквивалентная, а не поглощенная доза.

3. Развитие концепций дозиметрии

25. В пунктах 25–41 приводится обзор истории развития других концепций и величин, используемых Комитетом. Когда был издан доклад НКДАР ООН за 1958 год, особо выделялись два биологических эффекта: лейкозы и наследственный вред. Исходя из этого, предпочтение отдавалось расчету дозы в красном костном мозге и гонадах. В последнем случае было очевидным, что доза будет пригодна для оценки риска только в том случае, если ее расчет будет производиться для молодых индивидуумов, возраст которых позволяет им иметь детей. Что касается костного мозга, то было неясно, какую из доз (среднюю или пиковую) следует применять для расчетов; в результате обсуждения этого вопроса была принята концепция средней дозы на костный мозг.

а) Генетически значимая доза

26. Уже давно стало ясно, что использование рентгеновского излучения в медицинских целях является основным искусственным источником облучения для большинства людей. Однако при этом доза внутри организма пациента распределяется крайне неравномерно, что затрудняет ее оценку. Кроме того, возрастное распределение групп облучаемых пациентов отличается от возрастного распределения населения в целом. Для решения этой проблемы Комитет определил концепцию генетически значимой дозы (ГЗД), т.е. "дозы, при получении которой каждым членом популяции можно ожидать такого же общего генетического ущерба для популяции, как и при получении действительных доз

различными лицами". На основе этого определения Комитет разработал формулу и процедуру оценки генетически значимой дозы при проведении различных видов рентгенологических обследований. Эти вопросы подробно изложены в докладах за 1958, 1962 и 1972 годы.

b) Средняя доза на костный мозг

27. Было принято, что для оценки риска заболевания лейкозом больше всего подходит средняя доза на активный (красный) костный мозг, и на основе данных о распределении красного костного мозга в скелете была произведена оценка этой величины для различных видов рентгенологических обследований. Было признано, что эта величина будет соответствовать целям расчета только в том случае, если зависимость доза-реакция будет линейной и беспороговой, однако было ясно также, что при допущении линейной зависимости без наличия порога приобретает интерес и другая величина - средняя доза на костный мозг на душу населения в популяции. Поэтому в докладе НКДАР ООН за 1958 год была дана ее оценка.

c) Ожидаемая доза

28. Испытательные ядерные взрывы в атмосфере привнесли в общую картину такие временные характеристики, которые сделали этот источник излучения отличным, например, от медицинского облучения в том смысле, что период осуществлявшейся деятельности и период облучения не совпадали. После каждого ядерного взрыва некоторые долгоживущие радионуклиды сохраняются в биосфере на протяжении многих лет, что приводит к облучению. Если привести данные о годовых дозах в результате взрывов, проведенных до того времени, когда готовился доклад НКДАР ООН за 1958 год, то такие данные не были бы достаточно информативными, так как в них не было бы показано, что радиоактивное загрязнение останется на протяжении длительного времени, обрекая человечество на облучение в будущем. Это положение нашло отражение в докладе за 1958 год в виде диаграмм, показывающих, какие дозы следует ожидать, если оправдаются различные предположения относительно периода проведения ядерных испытаний в будущем.

29. В своем докладе за 1962 год Комитет ввел концепцию ожидаемой дозы. Ожидаемой дозой за один год осуществления практической деятельности будет сумма годовых доз на душу населения, неизбежно обусловленных облучением за счет загрязнения окружающей среды в течение будущих лет. При осуществлении практической деятельности в течение неопределенного периода времени с постоянной частотой можно было бы показать, что ожидаемая доза за один год деятельности равна наиболее высокой годовой дозе в будущем. Эта взаимосвязь позволила произвести оценку последствий продолжающейся деятельности, оказывающей влияние на будущее.

30. В докладе НКДАР ООН за 1964 год ожидаемая доза определялась как "бесконечный по времени интеграл средних мощностей дозы облучения населения всего мира (данной ткани) в результате конкретной деятельности, например в результате данной серии ядерных взрывов. Фактическое облучение может иметь место спустя многие годы после проведения взрывов, и ему могут подвергнуться индивидуумы, которые еще не родились в момент проведения этой практики". Это определение повторялось и в последующих докладах, а более строгое математическое описание было дано в докладах за 1969 и 1977 годы. Следует отметить, что если пределы интегрирования средней мощности дозы продолжены не до бесконечности, а ограничиваются каким-либо конкретным временем, то в этом случае мы имеем дело с неполной ожидаемой дозой.

d) Коллективные дозы и ожидаемые коллективные дозы

31. Использование понятия ожидаемой дозы никоим образом не было связано с допущениями, касающимися зависимостей доза-реакция при небольших дозах ионизирующего излучения, оценка которых производилась с целью определения загрязнения окружающей среды; это был всего лишь математический инструмент для дополнительного учета неизбежных дозовых вкладов.

32. Другая концепция – концепция коллективной дозы. При допущении пропорционального возрастания риска нанесения ущерба в результате возрастания дозы ожидаемое число получивших тяжелые повреждения индивидуумов было бы пропорционально коллективной дозе, поскольку последняя определяется как произведение числа облученных индивидуумов и средней дозы их облучения. До 1977 года Комитет испытывал колебания по поводу оценки коллективных доз, поскольку при этом затрагивалась бы зависимость доза-реакция, которая еще не была доказана. Однако в своем докладе за 1977 год Комитет произвел оценку коллективных поглощенных доз, обусловленных различными источниками и видами деятельности. В тех случаях, когда деятельность предполагала облучение в течение последующих лет, производилась оценка ожидаемой коллективной дозы. Она представляет собой просто общую коллективную дозу, ожидаемую в результате данной деятельности за все время в будущем.

e) Коэффициенты переноса

33. Ожидаемые дозы в результате деятельности, вызывающей загрязнение окружающей среды, пропорциональны количеству соответствующих радионуклидов, которые были выпущены в окружающую среду. Поэтому метод оценки включает в себя исследование цепи событий, ведущих от изначального поступления радиоактивных веществ, например в атмосферу, к последующему облучению тканей тела. Эта цепь событий может быть схематически представлена следующим образом:

Поступление через органы дыхания

Поступление (0)	Атмосфера (1)	Поверхность Земли (2)	Пища (3)	Ткань (4)	Доза (5)
--------------------	------------------	--------------------------	-------------	--------------	-------------

Внешнее облучение

34. Начиная с доклада за 1969 год Комитет производил оценку коэффициентов переноса, т.е. отношений интегрированного по времени количества (например, концентрации активности) на каждой ступени к соответствующему количеству на предыдущей ступени. Например, коэффициентом переноса P_{34} является интегрированная по времени концентрация активности в данной ткани, деленная на интегрированную концентрацию того же радионуклида в пище. Произведение всех коэффициентов переноса непосредственно связывает количество радиоактивных веществ, поступивших в атмосферу с результирующей дозой. Подробное описание математического обоснования и процедура оценки изложены в докладе за 1969 год.

f) Наиболее важные органы

35. Как уже упоминалось, в своем докладе за 1958 год Комитет произвел расчет доз только для двух органов: гонад и активного костного мозга. В тот период только для этих органов была произведена некоторая оценка риска. В своем докладе за 1969 год Комитет добавил еще одну ткань, для которой он произвел оценку дозы, а именно, клетки, выстилающие костные поверхности. Таким образом, до 1972 года

оценки доз производились для трех органов (гонад, активного костного мозга и клеток костных поверхностей), хотя Комитет фактически давал оценки риска и для других органов, таких, как щитовидная железа (1964 и 1972 годы), а также молочная железа и легкие (1972 год). Одна из причин такого ограничения заключалась в том, что представление оценок доз усложнилось бы в случае включения в оценку большего числа органов, а проведение сравнения между различными источниками стало бы крайне затруднительным.

36. Тем не менее, в своем докладе за 1977 год Комитет добавил еще один орган – легкие; причиной этого было возрастающее число данных, свидетельствующих о биологической значимости альфа-излучения дочерних продуктов радона в жилищах и об очень высоких ожидаемых дозах от радона, поступающего из отходов урановой промышленности.

г) Эффективная эквивалентная доза

37. В 1977 году МКРЗ опубликовала пересмотренный вариант (Публикация № 26 МКРЗ) своих общих рекомендаций, в котором она предложила, чтобы в основу оценок радиационной защиты была положена взвешенная сумма эквивалентных доз облучения наиболее радиочувствительных органов и тканей. Эта взвешенная сумма получила наименование эффективной эквивалентной дозы. Единицей ее измерения должна была быть та же, что и для эквивалентной дозы, т.е. зиверт. Эффективная эквивалентная доза определяется только путем использования взвешивающих коэффициентов для органов, рекомендованных МКРЗ. Другие виды суммирования взвешенных доз на органы с различными взвешивающими коэффициентами не должны называться эффективной эквивалентной дозой.

38. Первоначально предполагалось, что эффективная эквивалентная доза будет служить для отражения относительного риска для органов среднего представителя занятого населения. В ней давалось одно и то же весовое значение для тяжелого наследственного вреда в первых двух поколениях потомков облученного индивидуума и для возникновения у этого индивидуума злокачественного заболевания со смертельным исходом. Излечимому раку придавалось нулевое весовое значение. Концепция являлась оправданной с учетом предполагаемого использования этой величины. Эта же величина позже нашла широкое применение при оценке коллективных доз облучения населения. В этом случае она имеет два недостатка – не учитывает различия в возрастном распределении между профессиональными работниками и населением, а также исключает из расчетов случаи излечимого рака и наследственного ущерба в поколениях далее второго, – что, возможно, ставит под сомнение целесообразность использования эффективной эквивалентной дозы. Для компенсации подобных ограничивающих факторов предлагались различные поправки, однако для целей радиационной защиты и с учетом всех других неопределенностей более широкое использование эффективной эквивалентной дозы в целом нашло признание.

39. В поисках путей представления доз облучения от различных источников и в результате различных видов деятельности НКДАР ООН сталкивался с теми же проблемами, что и МКРЗ. В частности, при использовании медицинского облучения и при облучении, обусловленном дочерними продуктами радона в легких, различные органы получают совершенно разные дозы, что сделало заманчивой идею использования взвешенной дозы на все тело. Комитет хорошо сознает тот факт, что эффективная эквивалентная доза не совсем подходит для его конкретных целей, однако он не смог найти альтернативного способа выразить облучение ионизирующим излучением в виде одного простого численного значения.

40. В определении эффективной эквивалентной дозы присутствуют факторы риска возникновения рака и риска наследственного ущерба. Коэффициенты риска для рака и наследственного ущерба в применении к эффективной эквивалентной дозе могут быть четко определены только при том условии, что все органы получают одну и ту же дозу. В других случаях, эффективная эквивалентная доза дает основу для оценки общего риска, однако совершенно не указывает на относительные доли риска возникновения рака и генетического риска (см. главу III раздела С).

41. Эффективные эквивалентные дозы использовались в докладе за 1982 год, при этом сравнения производились на основе ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы. В целях упрощения представления доз и их сравнения Комитету приходилось использовать все более и более сложную терминологию, и, к сожалению, эта дилемма не поддается простому решению.

С. Оценки доз

1. Естественные источники ионизирующего излучения

42. При подготовке своего первого доклада (1958 год) Комитет пришел к выводу, что основной вклад в дозы облучения мягких тканей тела человека от естественных источников излучения определяется тремя компонентами: космическим излучением, гамма-излучением земного происхождения и калием-40, содержащимся в самом организме человека. В докладах НКДАР ООН за 1958-1977 годы производилась оценка общего вклада этих трех источников в дозу облучения, который составил от 93 до 98 процентов общей поглощенной дозы, обусловленной всеми естественными источниками излучения и составляющей, согласно оценке, около 100 мрад в год. Вклад этих трех источников был следующим: около 30 мрад за счет космического излучения, 30-50 мрад от гамма-излучения земного происхождения и 20 мрад за счет калия-40 в организме человека.

43. Во всех докладах НКДАР ООН до 1972 года включительно дозы оценивались для трех тканей: гонад, клеток костной ткани и активного костного мозга. Дозы на душу населения в этих органах использовались для сравнения доз в основном тексте этих докладов. Оценочные значения этих доз в серии докладов различались лишь в незначительной степени, за исключением повышенной оценки в докладе за 1962 год дозы, обусловленной нейтронной компонентой космического излучения.

44. В докладе за 1977 год доза на легкие за счет вдыхания дочерних продуктов радона в помещениях была показана в обобщенных таблицах, но она заметно не выделялась, поскольку была представлена в виде поглощенной дозы. Однако в 1982 году, когда впервые была рассчитана эффективная эквивалентная доза, значимость вклада этой дозы стала очевидной, поскольку она составила около половины величины общей дозы, усредненной в глобальных масштабах. Соответственно, оцененная величина годовой эффективной эквивалентной дозы из естественных источников излучения была увеличена примерно до 2 мЗв, т.е. примерно вдвое по сравнению с данными предыдущих докладов, когда доза на легкие не учитывалась.

2. Ядерные взрывы

45. Большинство ядерных взрывов в атмосфере было проведено до 1963 года. Их общая мощность в тринитротолуоловом эквиваленте оценивалась в докладе НКДАР ООН за 1964 год следующим образом:

<u>Период</u>	<u>Мощность</u> (в мегатоннах)
1945–1951 годы	0,8
1952–1954 годы	60,0
1955–1956 годы	28,0
1957–1958 годы	85,0
1959–1960 годы	0,0
1961–1962 годы	337,0

Эти данные были впоследствии несколько изменены в свете обновленной информации (см. пункт 143 и таблицу 5).

46. После 1962 года проводилось мало испытаний в атмосфере по сравнению с предыдущими годами, а после 1980 года они были полностью прекращены. Подземные испытания, проведенные в большом количестве в последующие годы, имели мало последствий для окружающей среды. Приведенное выше хронологическое описание отражает ту обстановку в области окружающей среды, с которой Комитет сталкивался при подготовке своих докладов за различные годы.

47. При проведении мощных взрывов в атмосфере наибольшая часть радиоактивных продуктов выносится в стратосферу, где они находятся в течение некоторого времени, при этом среднее время их сохранения составляет, согласно оценкам, от менее года примерно до пяти лет в зависимости от высоты и географической широты. Поэтому радиоактивные выпадения могут иметь место в течение многих лет после взрыва, выбросившего в атмосферу радиоактивные продукты. Менее мощные взрывы, после которых радиоактивные продукты достигают только тропосферы, приводят к радиоактивным выпадениям в течение нескольких дней или недель.

48. При подготовке своего первого доклада (1958 год) Комитет еще не располагал достаточной информацией о глобальном количестве долгоживущих радиоактивных веществ и не мог выработать модели оценки, используемые в последующих докладах. Тем не менее, Комитет соотнес измеренные мощности выпадения и осаднения с наблюдаемыми уровнями радиоактивного загрязнения растительности и продуктов питания. Как указывается в главе II раздела В, первоначальной оценке были подвергнуты такие величины, как генетически значимая доза и средняя костномозговая доза на душу населения, поскольку в отношении этих доз Комитет смог произвести оценки риска.

49. В первых четырех докладах НКДАР ООН (1958–1966 годы) Комитет дал подробное описание метеорологических процессов, определяющих вывод радиоактивных остатков из стратосферы. Было установлено, что наибольший вклад в облучение человека вносят долгоживущие радиоактивные материалы, обуславливающие облучение в течение многих лет. Наиболее важными в этом отношении являются стронций-90 (период полураспада 28 лет), цезий-137 (30 лет) и углерод-14 (5700 лет). Кроме того, значительный вклад в облучение от тропосферных радиоактивных выпадений могут вносить некоторые радионуклиды, испускающие гамма-излучение, например цирконий-95 и рутений-106, осевшие на земной поверхности.

50. Поскольку наибольшее внимание Комитет уделял дозе излучения в активном костном мозге и клетках, выстилающих костные поверхности, наиболее тщательные расчеты дозы первоначально проводились им в отношении такого радионуклида, как стронций-90. Однако в конечном счете оказалось, что источником более высоких доз является цезий-137, обуславливающий облучение двумя путями: внешним гамма-излучением от выпавших на земную поверхность веществ и внутренним облучением после поступления этих веществ в организм с пищей. Облучение за счет цезия-137 может быть проверено путем непосредственных измерений, однако осуществить это в отношении стронция-90 оказалось труднее.

51. В своем докладе за 1962 год Комитет применил концепцию ожидаемой дозы. Это позволило произвести оценку воздействия ядерных взрывов, проведенных в течение каждого года или в ходе всей серии испытаний до начала подготовки каждого последующего доклада. Однако в ходе подобных оценок было установлено, что в результате длительного периода полураспада большой вклад в облучение вносит углерод-14. Модели оценки ожидаемой дозы за счет углерода-14 были разработаны в докладах за 1962 и 1964 годы.

52. В 1964 году объектом особого внимания стали высокие индивидуальные дозы, вызванные повышенными концентрациями цезия-137 в некоторых пищевых цепочках, особенно в цепочке лишайник - северный олень. В последующем этот вопрос обсуждался в докладе за 1966 год, в котором указывалось, что уровни цезия-137 в оленине в некоторых случаях достигали 100 нКи/кг (3700 Бк/кг), а в пресноводной рыбе - 10 нКи/кг.

53. В докладе за 1969 год был пересмотрен математический порядок всех расчетов и введены концепции цепочек переноса и коэффициентов переноса. К моменту подготовки доклада за 1972 год в результате прекращения в 1962 году основных испытаний ядерного оружия мощность радиоактивных выпадений существенно снизилась. Это позволило произвести более точные оценки некоторых коэффициентов переноса, что привело к некоторому снижению оценочных доз облучения.

54. В 1977 году была впервые произведена оценка ожидаемых коллективных доз на большинство мягких тканей тела человека в результате испытательных ядерных взрывов, произведенных до 1976 года; они оценивались в диапазоне от 400 до 800 млн. чел-рад без учета полного вклада углерода-14, и в два раза выше с учетом полного вклада углерода-14. Для сравнения в докладе за 1977 год годовая коллективная доза облучения населения мира от естественных источников излучения оценивалась примерно в 300 млн. чел-рад.

55. В докладе за 1982 год приводилась, главным образом, эта же основная информация. Описание моделей оценки дозы было включено в специальное приложение, в котором были перечислены также коэффициенты преобразования, условные обозначения и единицы. На этот раз был произведен расчет эффективной эквивалентной дозы. Согласно оценкам, сделанным в докладе за 1982 год, вклады основных радионуклидов в коллективную дозу составляли:

Радионуклид	Ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза (10^6 чел-Зв)	
	Внешнее облучение	Внутреннее облучение
Стронций-90	-	0,5
Цирконий-95	0,6	-
Рутений-106	0,2	0,1
Цезий-137	1,5	0,7
Все остальные, исключая углерод-14	0,2	0,7
Итого	2,5	2,0
Всего	4,5	

56. Одной из основных проблем, связанных с оценкой коллективных доз на будущее, является необходимость прогнозирования численности населения. При расчете (в докладе за 1982 год) оценок коллективных доз для радионуклидов с периодом полураспада 10-30 лет Комитет предполагал, что численность мирового населения составляет $4 \cdot 10^9$ человек. Ожидаемая доза от этих и более короткоживущих радионуклидов оценивалась примерно в 1 мЗв. При расчетах коллективной дозы для углерода-14 Комитет в 1977 году использовал численность населения $4 \cdot 10^9$ человек, а в оценке 1982 года – прогнозируемую численность населения $10 \cdot 10^9$ человек. В результате величина ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы от углерода-14 сразу возросла до 26 млн. чел-Зв.

3. Производство электроэнергии на атомных электростанциях

57. В 1970 году общая установленная энергетическая мощность ядерных реакторов во всем мире составляла около 20 ГВт электрической энергии. За последующие десять лет производство электроэнергии на АЭС возрастало ежегодно более чем на 10 ГВт и в 1981 году достигло 144 ГВт. Начиная с доклада за 1972 год, Комитет в своих оценках учитывал эти быстрые темпы роста ядерной энергетики. Как и при оценке влияния ядерных взрывов, Комитет столкнулся с таким положением, когда оценка будущих ситуаций находится в зависимости от предполагаемого продолжения и расширения производства ядерной энергии. Интересно отметить, что сделанный Комитетом в тот период прогноз производства электроэнергии на АЭС был примерно на порядок выше, чем это оказалось на самом деле впоследствии.

58. Поэтому Комитет, помимо проведения оценок ожидаемых доз и ожидаемых коллективных доз за год деятельности при существующих темпах роста, производил также оценку этих величин на единицу произведенной электрической энергии, т.е. на 1 МВт в год. Считалось, что основным компонентом вклада в ожидаемую коллективную дозу является глобальное загрязнение тритием и криптоном-85, выбрасываемыми в ходе переработки облученного топлива и присутствующими в локальных излучениях в районах расположения АЭС. Итоговая величина составила, согласно оценкам, около 0,4 чел-рад/МВт в год. Однако эта величина не использовалась ни в обобщенных таблицах, ни в основном тексте доклада. Вместо этого была приведена оценка годовой дозы на душу населения всего мира при условии, что производство электроэнергии на АЭС будет поддерживаться на уровне, ожидаемом для 2000 года (установленная мощность 4300 ГВт электроэнергии). Эта годовая доза составила, согласно оценке, около 0,2 процентов дозы от естественных источников ионизирующего излучения.

59. В докладе за 1977 год был предпринят более системный подход к оценке ожидаемых коллективных доз, выражаемых на единицу произведенной электроэнергии, для каждого этапа ядерного топливного цикла (добыча и переработка руды, изготовление топлива, эксплуатация реактора и переработка топлива), включая профессиональное облучение. Оценки в докладе 1977 года были значительно выше, чем в докладе 1972 года, поскольку было получено больше данных и их можно было подвергнуть более тщательной обработке. Вклад профессионального облучения составил, согласно оценке, около 4 чел-рад/МВт в год, а облучения населения – от 1,5 до 3,8 чел-рад/МВт в год для разных тканей. Вновь было установлено, что наиболее высокий вклад вносит глобальное загрязнение в результате переработки топлива. По мнению Комитета, эти величины могут выглядеть несколько пессимистичными, поскольку опыт переработки топлива и проведения научных исследований и разработок в прошлом (совместный вклад которых оценивался равным 4–6 чел-рад/МВт в год) вряд ли можно будет использовать для оценок на будущее. Комитет столкнулся с конкретной проблемой оценки облучения за счет радона, поступающего из хвостохранилищ урановых заводов. Связанная с этим источником доза на легкие любого отдельного индивидуума была бы небольшой, однако длительный период времени, в течение которого радон может эманировать из хвостохранилищ (определяемый физическим периодом полураспада тория-230), может привести к весьма высокой ожидаемой коллективной дозе.

60. Проблема, связанная с радоном, получила более четкое признание в докладе за 1982 год при расчете эффективной эквивалентной дозы. Согласно оценкам, общий вклад различных этапов топливного цикла (исключая глобальное загрязнение) составил 5,7 чел-Зв/ГВт в год (0,57 чел-бэр/МВт в год). Кроме того, вклад глобального загрязнения тритием и криптоном-85 оценивался приблизительно в 2 чел-Зв/ГВт в год. Вклад профессионального облучения оценивался менее чем в 30 чел-Зв/ГВт в год. Отсюда общая оценка дала около 35 чел-Зв/ГВт в год (3,5 чел-бэр/МВт в год), то есть несколько меньше, чем оценка 1977 года.

61. Кроме того, Комитет произвел оценку ожидаемого вклада наиболее долгоживущих радионуклидов, таких, как углерод-14 (период полураспада 5700 лет) и йод-129 ($1,6 \cdot 10^7$ лет); вклада в результате эманации радона, источником эмиссии которого является в основном торий-230 ($8 \cdot 10^4$ лет); и вклада долгоживущих актинидов, поступающих в результате утечки из захоронений высокоактивных отходов. За исключением углерода-14, не ожидалось, что эти радионуклиды приведут к какой-либо существенной накопленной коллективной дозе в течение любого 1000-летнего периода (что касается углерода-14, то он приведет к дозе 10 чел-Зв/ГВт в год за первые 100 лет). Однако через миллион лет (если предположить численность населения Земли 10^{10} человек) коллективная доза за счет долгоживущих радионуклидов составит, согласно оценке, около 3400 чел-Зв/ГВт в год по следующей схеме:

радон из хвостохранилищ заводов	2800
уран из хвостохранилищ заводов	460
углерод-14	110
высокоактивные отходы	30
йод-129	28

Соответствующие дозы облучения любого индивидуума в течение всей жизни будут пренебрежимо малыми, поскольку, например, в сравнении с естественной фоновой радиацией высокие приведенные показатели связаны лишь с большой длительностью периодов облучения. Вопрос о том, в какой степени облучение за такие длительные периоды времени способно повлиять на принятие решений, не является научным вопросом.

62. Используя концепцию неполной ожидаемой дозы, Комитет в конечном итоге произвел оценку годовой эффективной эквивалентной дозы на душу населения (25 мкЗв в год, то есть около 1 процента годовой дозы за счет естественного радиационного фона) в условиях предполагаемого производства электроэнергии на АЭС порядка 10 000 ГВт в год.

4. Медицинское облучение

63. В 1957 году при подготовке своего доклада за 1958 год Комитет сделал важное заявление: "Представляется чрезвычайно важным ..., чтобы медицинское облучение в любых его видах ограничивалось только целесообразными и важными случаями в ходе исследований или лечения, с тем чтобы облучение населения могло быть сведено к минимуму без какого-либо ущерба для эффективности применения ионизирующих излучений в медицинских целях". В заявлении также содержалась просьба о представлении дальнейшей информации о медицинском облучении, которое, как было признано, составляет значительную долю глобального облучения человечества.

64. В докладе за 1958 год Комитет отдал приоритет оценке генетически значимой дозы. Было признано, что причиной наиболее высоких генетически значимых доз является облучение в ходе рентгенодиагностики, которая в то время зачастую проводилась путем преимущественного использования флюороскопии, а не рентгенографии. Диагностические процедуры были классифицированы по 23 видам; по нескольким странам были представлены данные об облучении в ходе этих обследований, что позволило произвести сравнение доз, обусловленных разными процедурами. Кроме того, были произведены приблизительные оценки средней костномозговой дозы на душу населения в результате этих процедур. Как показал анализ, более 80 процентов величины генетически значимой дозы формировалось за счет только шести или семи процедур, которые, взятые вместе, составляли лишь около 10 процентов всех обследований. Эти данные указывали на возможность существенного снижения доз только за счет надлежащего соблюдения методики. Общая генетически значимая доза, обусловленная рентгенологическими обследованиями, по оценкам разных стран, находилась в диапазоне от 17 до 150 мбэр в год.

65. В докладе за 1966 год Комитет продолжил обзор представленных национальных данных. Комитет получил подробные данные от 12 стран. Полученные результаты были аналогичны результатам, изложенным в докладе за 1958 год. Согласно проведенным оценкам, величины генетически значимой дозы находились в диапазоне от 7 до 58 мбэр в год. В докладе обсуждались вопросы снижения доз облучения пациентов и были перечислены наиболее эффективные защитные меры, такие, как использование наименьших возможных полей облучения и сокращение экспозиции при проведении флюороскопии. Таким образом, фактически, была предложена рекомендация по радиационной защите еще до того, как МКРЗ опубликовала какие-либо специальные рекомендации по защите пациента.

66. Следующий обзор медицинского облучения был представлен в докладе за 1972 год. Основное внимание по-прежнему уделялось генетически значимой дозе, величины которой, согласно оценкам, находились в диапазоне от 5 до 75 мрад в год, хотя число рентгенологических обследований, согласно докладам стран, возрастало на 2-6 процентов в год. Комитет считал, что к этому времени он, наконец, располагал достаточной информацией из промышленно развитых стран, чтобы создать предпосылки для попыток исключить из практики нежелательное облучение. Он отметил, что большая доля населения мира лишена свободного доступа к современной рентгеновской аппаратуре и не может воспользоваться преимуществами, которые она обеспечивает в плане охраны здоровья.

67. В докладе за 1977 год Комитет обсудил проблемы сопоставления доз от таких различных источников, как естественное излучение, ядерные взрывы, производство электроэнергии на АЭС и медицинское облучение. Что касается последнего, то дозы на орган, обусловленные рентгенодиагностикой, могут находиться в диапазоне от нескольких мрад до нескольких десятков рад, при этом они обычно характеризуются большими мощностями дозы. Распределение доз характеризуется неравномерностью и в организме человека, и среди всего населения. Повышенный интерес, который до этого момента проявлялся в отношении генетически значимой дозы, мог также отвлечь внимание от возможного значительного облучения других органов, и поэтому Комитет распространил круг своих оценок на большее число органов, не ограничиваясь только гонадами и активным костным мозгом.

68. В своих попытках найти основу для сравнения доз Комитет изыскивал пути приемлемого сведения доз на различные органы в некоторую взвешенную дозу на все тело, которая могла бы быть использована для оценок риска возникновения рака, однако сделать это ему не удалось. В качестве компромисса Комитет в своем докладе за 1982 год принял решение производить оценку эффективной эквивалентной дозы, которая, при всех своих недостатках, более всего отвечала его целям.

69. Оценка, приведенная в 1982 году, подтвердила тот факт, что медицинское облучение вносит наибольший вклад в дозы искусственного облучения, получаемые населением, и что в некоторых промышленно развитых странах этот вклад по своей величине приближается к дозе, получаемой от естественных источников. Тем не менее Комитет напомнил, что медицинское облучение отличается от облучения за счет других искусственных источников тем, что выгоду в результате этой практики получают непосредственно лица, подвергаемые облучению. В докладе указывалось, что в промышленно развитых странах ежегодное число рентгенодиагностических обследований, исключая массовые и стоматологические, составляет от 300 до 900 обследований в год на тысячу человек населения. Рентгенологические обследования вносят наибольший вклад в коллективную эффективную эквивалентную дозу за счет медицинских процедур, а вклад лучевой терапии и ядерной медицины является небольшим.

70. Комитет выразил разочарование по поводу того, что он располагает весьма незначительной информацией в отношении двух третей населения мира, проживающего в странах, где частота рентгенологических обследований на порядок ниже, чем в более развитых странах. Для развитых стран общая коллективная эффективная эквивалентная доза в результате медицинских процедур составила, согласно оценке Комитета, около 1000 чел-Зв на миллион человек населения, то есть около 50 процентов облучения от естественных источников.

5. Профессиональное облучение

71. Комитет обсуждал вопрос о профессиональном облучении в своих докладах за 1958, 1972, 1977 и 1982 годы и неоднократно указывал, что по ряду причин представленные данные с трудом поддаются анализу. Представляемые в сообщениях дозы определяются по показаниям индивидуальных дозиметров, и фактически измеренные величины зависят как от типа дозиметра, так и от его калибровки. Эти зарегистрированные дозы зависят от местоположения дозиметра на теле человека, и при анализе приходится допускать, что они приблизительно показывают однородную дозу на все тело. Численность персонала, подвергающегося профессиональному облучению, не соответствует числу лиц, подвергающихся радиационному контролю, при этом разница зависит от национальных правил радиационного контроля. Цель большинства программ радиационного контроля заключается не в получении данных для целей, аналогичных целям Комитета, а в проверке того, не превышаются ли установленные пределы доз.

При этом обычно применяются так называемые контрольные уровни, ниже которых дозы не учитываются или регистрируются как равные нулю. Поэтому информация в отношении диапазона малых доз крайне скудна.

72. В докладе за 1958 год этому вопросу было уделено мало внимания. Численность медицинских работников в странах, представивших данные, составляла, согласно оценкам, от 0,2 до 0,7 на тысячу населения. Обсуждение вопроса о профессиональном облучении было кратким и в докладе за 1962 год. Было установлено, что число медицинских работников в области стоматологии почти в два раза превышало число всех медицинских работников, а число лиц, подвергающихся профессиональному облучению в промышленности и научных учреждениях, было значительно меньшим. Вклад профессионального облучения в годовую генетически значимую дозу оценивался в 0,2–0,5 мбэр.

73. На момент подготовки доклада за 1972 год в публикациях все еще содержалось очень мало данных о профессиональном облучении. В странах, по которым имелись данные, число работников в области медицины составляло в этот период 0,3–0,5 на тысячу населения, а общее число лиц, подвергшихся профессиональному облучению, составляло, согласно полученным сообщениям, 1–2 на тысячу человек всего населения. Анализ показал, что средние зарегистрированные дозы для большинства работников, подвергающихся облучению, находились в диапазоне от 0,2 до 0,6 рад в год, однако для некоторых работников сферы промышленной радиографии средние дозы достигали 2,7 рад. Годовая доза облучения экипажей сверхзвуковых самолетов оценивалась приблизительно в 1 бэр. Дозы профессионального облучения в ядерной энергетике выражались на единицу произведенной электроэнергии и составляли, согласно расчетам, 2–3 чел-рад/МВт в год (1,6 чел-рад в результате переработки топлива и 0,7 чел-рад в результате эксплуатации реакторов).

74. В докладе за 1977 год профессиональному облучению было отведено отдельное приложение. Комитет впервые провел систематический обзор целей и методов оценки. Анализ показал, что распределение доз внутри профессиональных групп, подвергавшихся облучению, было преимущественно логарифмически нормальным, и на этой основе было определено стандартное распределение доз. Во избежание проблем, связанных с определением действительного количества работников, подвергнутых облучению, и, следовательно, средних доз, Комитет уделил главное внимание коллективным дозам, оценка которых во многом не зависела бы от установленных в каждой стране требований в отношении уровня радиационного контроля. Комитет рассчитал также долю коллективной дозы, обусловленную индивидуальными дозами, превышающими 1,5 рад. На этой основе был произведен анализ представленных данных. Для большинства видов работ средняя доза находилась в диапазоне 0,1–1,0 рад в год. В докладе содержалось подробное математическое описание логарифмически нормального распределения и стандартного распределения. Был произведен расчет коллективных доз для каждого этапа ядерного топливного цикла, составивших в сумме около 4 чел-рад/МВт в год (см. главу II раздела С.3). Коллективная поглощенная доза в легких шахтеров урановых рудников оценивалась в 0,1 чел-рад/ГВт в год; были приведены также примеры высоких уровней радона на неурановых шахтах.

75. В своем докладе за 1982 год Комитет продолжил анализ на основе большего количества данных. Он с удовлетворением отметил, что предложенные им в 1977 году методы анализа были приняты несколькими организациями и что представление информации с учетом его предложения способствовало повышению эффективности анализа. Однако Комитет обнаружил, что его идея в отношении стандартного распределения дозы излучения в некоторых случаях была понята неправильно, и поэтому он ограничился представлением средней дозы, коллективной дозы и доли коллективной дозы, превышающей 15 мЗв (что соответствовало прежней величине 1,5 рад).

76. Было установлено, что в странах с высоким уровнем развития здравоохранения медицинские работники получали коллективную эквивалентную дозу около 1 чел-Зв на миллион человек населения. После 1977 года число работников ядерной промышленности значительно выросло. Была произведена более полная оценка доз профессионального облучения на каждом этапе ядерного топливного цикла, и полученные результаты показали, что общая коллективная эффективная эквивалентная доза могла составить около 30 чел-Зв/ГВт в год (3 чел-бэр/МВт в год). Однако половина этой дозы формировалась за счет переработки облученного топлива и проведения ядерных исследований, и было неясно, следует ли ожидать таких высоких вкладов в будущем. В ходе эксплуатации реакторов наибольшему облучению подвергались ремонтники и персонал службы радиационной защиты при выполнении специальных операций по ремонту и техническому обслуживанию.

6. Облучение из прочих источников

77. Кроме основных источников излучения, рассматривавшихся выше, Комитет еще в своем докладе за 1958 год определил ряд других источников. В то время они были объединены под общим названием прочие источники, которое сохраняется и сейчас. К их числу в докладе за 1958 год были отнесены часы с люминесцентным циферблатом, телевизоры, способные испускать мягкое рентгеновское излучение, а также оборудование для примерки обуви с использованием рентгеновской флюороскопии. Считалось, что вклад любого из этих источников в генетически значимую дозу не превышает 1 мбэр в год, хотя оборудование для примерки обуви могло способствовать формированию высоких местных доз. В докладе за 1962 год упоминалось об облучении пассажиров самолетов в результате повышенного космического излучения, однако считалось, что его вклад был незначительным. Комитет считал, что общая генетически значимая доза от всех этих источников не превысит 2 мбэр в год, при этом наибольший вклад в указанную дозу будут вносить часы с люминесцентным циферблатом.

78. В докладе за 1972 год прочим источникам облучения было отведено отдельное приложение. В качестве дополнительных источников облучения населения упоминались непредвиденные случаи, аварии при транспортировке и случаи утери радиоактивных веществ. Был определен также ряд товаров широкого потребления, связанных с радиоактивностью, таких, как часы с радиолюминесцентными циферблатами и другие люминесцентные устройства, керамическая глазурь с содержанием урана, а также покрытые торием электроды сварочных прутков. В числе дополнительных источников упоминались также радиоактивные вещества в организме пациентов, выписавшихся из больниц, стимуляторы ритма сердечных сокращений с ядерными батарейками, а также некоторые школьные демонстрационные материалы. Вновь обсуждались телевизоры, особенно цветные, характеризующиеся высоким напряжением на электронно-лучевой трубке. Наконец, признавалось, что источником проблем могут стать повышенные уровни излучения от естественных источников, например при использовании радиоактивных строительных материалов. В последующих докладах этот источник рассматривался в числе основных и более не включался в категорию прочих.

79. В докладе за 1977 год прочие источники излучения обсуждались в приложении, посвященном технологически повышенному уровню радиации. К перечню товаров широкого потребления были добавлены многие наименования, в том числе детекторы дыма с ионизационными камерами. Однако основное внимание было уделено обсуждению облучения за счет повышенного естественного радиационного фона. Подробно рассматривались вопросы повышенного облучения за счет космического излучения в сверхзвуковых пассажирских самолетах, а также облучения экипажей космических кораблей. Другим рассматриваемым вопросом являлось облучение населения за счет естественных радионуклидов, содержащихся в выбросах тепловых электростанций, работающих на угле. Третьим вопросом являлось облучение, обусловленное

промышленным использованием фосфатных руд, содержащих уран-238 и радий; в этом случае источниками облучения были фосфорные удобрения и фосфогипс, используемый в качестве строительного материала. Нормальное облучение от радиоактивных строительных материалов, будь то непосредственно (за счет гамма-излучения) или косвенно (за счет поступления дочерних продуктов радона), обсуждалось при рассмотрении естественных источников.

80. В докладе за 1982 год прочие источники вновь рассматривались совместно с вопросами облучения за счет технологически измененного радиационного фона. В основном обсуждались те же товары широкого потребления, что и в предыдущих докладах. Было отмечено, что радий в наручных часах почти полностью заменен тритием, так что этот источник внешнего облучения ликвидирован, а внутренняя эффективная эквивалентная доза за счет протечек трития ограничена величиной 1 микрозиверт. Средняя эффективная эквивалентная доза облучения авиапассажиров, проходящих в аэропортах через рентгеновские флюорографические сканирующие системы, оценивалась еще более низкой величиной и составляла около 7 нанозивертов на одну проверку. Была произведена повторная оценка облучения от теплоэлектростанций, работающих на угле, и полученные результаты показали, что ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза составила в среднем около 2 чел-Зв/Гвт год (это составляет 50 процентов локальной и региональной коллективной дозы от производства такого же количества энергии на АЭС, см. таблицу 6). Производство фосфорных руд в 1977 году привело, согласно оценке, к ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозе порядка 300 000 чел-Зв, главным образом за счет использования фосфогипса при строительстве жилых зданий; общий вклад других видов их использования составил, как считалось, лишь 6000 чел-Зв.

7. Аварии и происшествия

81. Вопросы радиационных аварий рассматривались Комитетом в его докладах за 1962, 1972, 1977 и 1982 годы. В докладе за 1962 год был проведен обзор восьми наиболее крупных аварий, о которых к тому времени было известно Комитету; эти аварии привели по меньшей мере к четырем смертным случаям. Семь из этих аварий были связаны с переходом границ критичности (пять аварий произошло в США, одна - в СССР и одна - в Югославии). Восьмая авария была связана с импульсным рентгеновским излучением неэкранированной электронной трубки на радиолокационной установке. Достаточно подробно рассматривался сам ход аварий и проявление клинических симптомов у облученных лиц.

82. В докладе за 1972 год содержалось только краткое рассмотрение аварий. Комитет отметил, что за период с 1954 по 1968 год поступили сообщения о почти 100 происшествиях, имевших место при транспортировке радиоактивных веществ в различных частях мира. За этот период было отмечено 14 аварий, связанных с самолетами-носителями ядерного оружия или его компонентов. Было зарегистрировано исчезновение двух атомных подводных лодок; в верхних слоях атмосферы сгорел изотопный генератор с плутонием-238. Имелись сообщения о ряде происшествий, связанных с утерей или хищением радиоактивных веществ. Анализ 115 происшествий с радием, имевших место с 1966 по 1969 год, показал, что 55 процентов из них были связаны с утерей. Как показало другое исследование, из 299 случаев, связанных с утерей или хищением радия, 66 процентов источников было найдено. В том же докладе содержалось краткое обсуждение случаев аварийного облучения, которое показало, что такие случаи особенно часто имели место в ходе исследовательских работ, связанных с рентгеновским излучением, и в промышленной радиографии.

83. В докладе за 1977 год Комитет впервые рассмотрел аварии на атомных электростанциях. В своем обзоре ожидаемых коллективных доз для различных этапов ядерного топливного цикла Комитет столкнулся со сложной проблемой оценки ожидаемых доз за счет аварий, которые еще не произошли. Любая ядерная энергетическая программа вносит вклад в повышение вероятности возникновения аварий; в этом смысле, как указал Комитет, существует также ожидаемая аварийная доза.

84. В 1982 году Комитет отметил, что к этому времени имели место только две реакторные аварии, которые, как известно, привели к измеримым дозам облучения населения: авария на военном заводе в Уиндскейле, Соединенное Королевство, в 1957 году и авария на АЭС Тримайлайленд, Пенсильвания, Соединенные Штаты, в 1979 году. В последнем случае, согласно оценкам, коллективная доза облучения всего тела в пределах 50-мильной зоны находилась в диапазоне от 16 до 35 чел-Зв, причем основной вклад внес ксенон-133; вклад за пределами этой зоны оценивался примерно в такую же величину. Коллективная эффективная эквивалентная доза в результате аварии в Уиндскейле составила, согласно оценке, около 1300 чел-Зв, причем почти половина этой дозы была обусловлена изотопами йода и облучением щитовидной железы. Комитет принял решение, что вероятностные подходы, прогнозирующие степень риска реакторных программ путем экстраполяции на будущее, не должны служить основой для оценки будущих составляющих ожидаемой коллективной дозы.

85. В другой части своего доклада за 1982 год Комитет рассмотрел информацию об аварийном профессиональном облучении. Он перечислил в таблицах те аварии, о которых были получены сообщения, или материалы о которых были опубликованы в открытой литературе. Комитет отметил, что серьезные аварии имели место на ранних этапах развития ядерной технологии и что с середины 60-х годов не было ни одного сообщения о каких-либо серьезных авариях при эксплуатации ядерных реакторов. После 1960 года радиационные аварии, имевшие место в других отраслях промышленности, привели только к одному смертельному исходу, а именно в 1975 году в результате облучения оператора установки с кобальтом-60. Как отмечалось в предыдущих докладах, промышленная радиография является, по-видимому, весьма важным потенциальным источником возникновения аварий. Имел место ряд случаев с серьезными клиническими последствиями, когда люди, не сознавая опасности, подбирали утерянные радиографические источники.

D. Оценки риска

1. Наследственный вред

86. Используя до сего времени методы количественной оценки генетического риска можно сгруппировать в широком плане под двумя рубриками: метод удваивающей дозы (или относительного риска мутации) и прямой метод (или абсолютного риска мутации). Метод удваивающей дозы преследует цель выразить риск по отношению к естественной распространенности генетических болезней во всей популяции; прямой метод дает возможность выразить абсолютный риск с точки зрения ожидаемого роста распространенности генетических болезней. В связи со скудостью прямых, полученных на человеке, данных об индуцируемых излучением генетических повреждениях, ведущих к болезненным состояниям, оценка частоты случаев индукции генетических повреждений соответствующего типа (мутаций и хромосомных аберраций) основывается на экспериментальных данных, полученных благодаря опытам на животных. Эта частота индукции с помощью ряда допущений и корректирующих коэффициентов преобразуется в ожидаемое число дополнительных случаев генетических заболеваний у человека.

87. Для применения метода удваивающей дозы необходимо иметь: а) оценку удваивающей дозы, т.е. дозы излучения, необходимой для индуцирования стольких же мутаций, сколько происходит спонтанно в данном поколении; б) информацию о распространенности генетических болезней, возникших в популяции естественным путем, и о той степени, в которой эта распространенность поддерживается мутациями; и с) оценку дозы, получаемой популяцией. Используемые на протяжении многих лет оценки удваивающей дозы основаны на данных экспериментов с мышами; показатели распространенности возникающих естественным путем генетических болезней собраны в ходе нескольких эпидемиологических исследований. При использовании метода удваивающей дозы риск оценивается как произведение следующих величин: распространенность естественно возникающих генетических болезней; мутационная компонента; обратная величина удваивающей дозы; доза, получаемая популяцией.

88. За последние три десятилетия произошел сдвиг акцентов в использовании этих методов, а также имели место ряд уточнений, что подробно обсуждается в приложении Е. Принципы, которыми руководствовались НКДАР ООН и другие научные органы в своих ранних оценках индуцируемого излучением наследственного риска, производившихся в 50-х годах, вытекали из большого объема экспериментов с дрозофилой, из предварительных данных по млекопитающим, особенно мышам, и из немногих данных по человеку. Среди этих общих принципов были следующие два: а) мутации, индуцированные или спонтанные, в основном вредоносны; и б) число мутаций, индуцируемых излучением, растет с увеличением дозы по линейному беспороговому принципу.

89. В свете новых данных экспериментов с мышами (самцами), свидетельствующих о том, что хроническая доза гамма-излучения эффективна лишь на одну треть по сравнению с той же дозой, отпущенной с высокой мощностью (и еще меньше для самок), в докладе за 1962 год высказывалась мысль, что ранее использовавшаяся удваивающая доза 30 Р, вероятно, занижена в три-четыре раза. После подтверждения и расширения полученных результатов и других данных, свидетельствующих о разительном воздействии промежутка времени между облучением и зачатием на частоту мутаций у самок мыши (все мутации обнаруживались в потомстве, зачатом в период первых семи недель после облучения), Комитет в 1966 году отказался от метода удваивающей дозы в пользу других методов, два из которых будут упомянуты ниже. Один из них заключался в том, что оцененная частота видимых доминантных мутаций у мыши (диапазон: 10^{-9} – 10^{-7} на locus на рад) умножалась на предположительное число локусов, определяющих доминантные расстройства у человека (50–500) для получения общего риска ($5 \cdot 10^{-8}$ – $5 \cdot 10^{-5}$). Согласно второму методу оцененная частота индукции видимых рецессивных мутаций у мыши (10^{-7} на locus на рад) умножалась на предположительное общее число генных локусов у человека (20 000) для получения оценки общего риска в результате индукции этих точковых мутаций ($2 \cdot 10^{-3}$). Риск для первого поколения потомства был вычислен как доля (2–5 процентов) вышеприведенной цифры.

90. В докладе за 1972 год Комитет вновь проявил интерес к методу удваивающей дозы, но уже в меньшей степени. Было принято, что удваивающая доза составляет 100 рад, а число дополнительных случаев тяжелых наследственных заболеваний на миллион живорожденных на рад излучения с низкой ЛПЭ было оценено примерно в 300 при облучении отцов; было оценено, что 6–15 таких случаев проявятся в первом поколении после облучения, а остальные – в последующих поколениях.

91. К 1977 году были получены новые данные о естественной распространенности генетических и частично генетических болезней. Кроме того, к середине 70-х годов были расширены прежние данные, полученные в середине 60-х годов, о том, что индукция доминантных мутаций в основном воздействует на скелет мыши, и были продемонстрированы схемы трансмиссии. Кроме того, к 1982 году появились новые

данные об индукции доминантных мутаций иного рода, а именно мутаций, приводящих к катаракте глаза мыши. Все эти данные позволили Комитету прийти к прямым оценкам генетического риска. Заслуживает упоминания тот факт, что начиная с 1977 года использовались как метод удваивающей дозы, так и прямые методы.

92. В 1977 году, используя значение удваивающей дозы 100 рад, Комитет оценил, что в популяции, подвергающейся непрерывному облучению из источников излучения с низкой ЛПЭ в дозе 1 рад на поколение, будут иметь место в общей сложности примерно 185 случаев менделевских, хромосомных и других расстройств на миллион живорождений в состоянии равновесия, из которых примерно одна треть проявится в первом поколении. Увеличение в первом поколении составит, согласно оценке, примерно одну треть от показателя для состояния равновесия.

93. Эти оценки, а также оценки, приведенные в докладах за 1982 и 1986 годы, подытожены в таблице 1; для удобства они выражены в расчете на 1 зиверт. Из таблицы видно, что: а) оценка для доминантно наследуемых болезней в основном осталась неизменной; б) оценка для хромосомных болезней снизилась вследствие исключения заболеваний, связанных с численными аномалиями (таких, как синдром Дауна), в отношении которых пока еще нет надежных сведений о том, что они индуцируются излучением; и с) если в 1977 и 1982 годах Комитет дал оценки риска врожденных аномалий и других болезней сложной этиологии, используя для этого определенные допущения, то в 1986 году это сделано не было в связи с неизменным присутствием неопределенностей в отношении применяемых допущений.

94. Оценки риска, сделанные в период с 1977 по 1986 год с помощью прямых методов, приведены в таблице 2 и включают риски от: а) индукции генетических изменений, влекущих за собой доминантные эффекты в потомстве первого поколения (т.е. доминантных мутаций, а также рецессивных мутаций, делеций и сбалансированных реципрокных транслокаций с доминантными эффектами); и б) несбалансированных продуктов сбалансированных реципрокных транслокаций, способных привести к рождению детей с врожденными уродствами.

95. Первая из этих оценок (пункт 94а) основана на доминантных скелетных и катарактных мутациях у мыши, вторая (пункт 94б) – на цитогенетических данных по приматам. Эти оценки, полученные благодаря опытам на мышах, не включают индуцированных генетических изменений, являющихся настолько тяжелыми, что они приводят к смерти испытуемых особей еще до их обнаружения. Можно увидеть, что изменения в оценках риска в период с 1977 по 1986 год относительно малы. Кроме того, сопоставление этих оценок с оценками, полученными с использованием метода удваивающей дозы (таблица 1) в отношении первого поколения, покажет, что это величины одного и того же порядка, несмотря на то, что для каждого из этих методов применялись разные допущения и корректирующие коэффициенты.

2. Рак

96. Уже в докладе за 1958 год Комитет подчеркивал, что любая попытка оценить биологические эффекты излучения, воздействующего на население мира, может дать лишь приблизительную оценку, чреватую значительной степенью неопределенности. Тем не менее в доклад были включены оценки возможного годового числа случаев заболевания лейкозом и раком кости в результате воздействия естественных источников излучения и радиоактивных выпадений. Данные, связывающие частоту лейкозов с облучением, поступали в основном в результате исследования лиц, выживших после атомных бомбардировок, и больных анкилозирующим спондилитом.

Таблица 1. Оценки риска тяжелых генетических болезней на миллион живорожденных в популяции, облучавшейся генетически значимой эквивалентной дозой 1 Зв на поколение при низких мощностях дозы и низких дозах (определено методом удваивающей дозы на основе данных, содержащихся в докладах НКДАР ООН за 1977, 1982 и 1986 годы)

(В этих расчетах эквивалентная удваивающая доза принята равной 1 Зв)

Классификация болезней	Текущая частота на миллион живо- рожденных	Эффект дозы 1 Зв на поколение	
		Первое поколение	Равновесие
<u>1977 год</u>			
Аутосомные доминантные и сцеплен- ные с X-хромосомой болезни	10 000	2 000	10 000
Аутосомные рецессивные болезни	1 100	Относительно невелик	Очень медленное увеличение
Хромосомные болезни (вследствие численных и структурных аномалий)	4 000	3 800	4 000
Врожденные аномалии и другие	43 000)	450	4 500
многофакторные болезни	47 000)		
<u>1982 год</u>			
Аутосомные доминантные и сцеплен- ные с X-хромосомой болезни	10 000	1 500	10 000
Аутосомные рецессивные болезни	2 500	Относительно невелик	Очень медленное увеличение
Хромосомные болезни			
вследствие структурных аномалий	400	240	400
вследствие численных аномалий	3 000	Вероятно, очень мал	
Врожденные аномалии и другие	43 000)	450	4 500
многофакторные болезни	47 000)		
<u>1986 год</u>			
Аутосомные доминантные и сцеплен- ные с X-хромосомой болезни	10 000	1 500	10 000
Аутосомные рецессивные болезни	2 500	5	1 500
Хромосомные болезни			
вследствие структурных аномалий	400	240	400
вследствие численных аномалий	3 400	Вероятно, очень мал	
Врожденные аномалии и другие	60 000)	Оценка отсутствует по причинам, изложенным в пункте 186	
многофакторные болезни	600 000)		

Примечание: Порядок расчета приведенных выше показателей изложен в приложении Е; см. также пункт 93.

Таблица 2. Оценки риска (для эквивалентной генетически значимой дозы 1 Зв) генетической болезни в первом поколении на миллион живорожденных при облучении родительского поколения в низких дозах и с низкой мощностью дозы

(Определено прямым методом на основе данных, содержащихся в докладах НКДАР ООН за 1977, 1982 и 1986 годы)

Риск, ассоциированный со следующими факторами	Ожидаемая частота рождений генетически аномальных детей в первом поколении на миллион живорожденных после облучения	
	Мужчин	Женщин
<u>1977 год</u>		
Индуктированные мутации с доминантными эффектами	2 000	Не приводится
Несбалансированные продукты индуцированных хромосомных перемещений	200-1 000	Не приводится
<u>1982 год</u>		
Индуктированные мутации с доминантными эффектами	1 000-2 000	0-900
Несбалансированные продукты индуцированных хромосомных перемещений	30-1 000	0-300
<u>1986 год</u>		
Индуктированные мутации с доминантными эффектами	1 000-2 000	0-900
Несбалансированные продукты индуцированных хромосомных перемещений	100-1 500	0-500

Примечание: порядок расчета приведенных выше показателей изложен в приложении Е; см. также пункты 94 и 95.

97. В тот период сделанная Комитетом оценка общей вероятности индуцирования лейкоза в течение 15 лет составила 12 на миллион человек на 1 бэр. Отмечалось, однако, что в Хиросиме вероятность на единицу дозы заметно снижалась по мере снижения дозы и что частота лейкозов в этом городе не выглядела как линейно связанная с дозой. Комитет также провел, по его выражению, грубую оценку риска заболевания лейкозом для больных анкилозирующим спондилитом, которые лечились с помощью рентгенотерапии. Оценка риска индукций за 15-летний период составила примерно 20 на миллион человек на 1 бэр. Однако в условиях длительного облучения с пониженными мощностями дозы период в состоянии риска может достигать 35 лет, т.е. равняться средней остающейся продолжительности жизни популяции, и в этом случае оценка риска составляла 52 на миллион человек на 1 бэр.

98. Обсуждая предполагаемую гипотезу о беспороговой линейной зависимости между дозой и заболеваемостью раком, Комитет заявил в своем докладе за 1962 год, что соматические эффекты менее вероятны при низких мощностях дозы, чем при высоких мощностях дозы, используемых во многих экспериментах. Единственным оправданием применения к низким дозам тех зависимостей, которые наблюдались при высоких дозах, была быстрота такой процедуры и последовательность допущений в отношении механизмов, действующих в обоих дозовых диапазонах. Тем не менее Комитет не мог

указать, приводит ли такая процедура к занижению или к завышению оценки риска. По этой причине он решил не проводить оценку абсолютного риска, а дать оценки сравнительного риска для гонад (генетические эффекты), костного мозга и клеток, выстилающих костные поверхности, на основе доз и ожидаемых доз на эти ткани из естественных источников излучения, медицинского, профессионального и прочего облучения, а также в результате ядерных испытаний.

99. Для оценки риска при низких дозах необходимо было учитывать три момента: тип эффекта; критическую ткань для каждого из этих типов; функцию дозы, мощность дозы и распределение дозы, которая должна учитываться в качестве важного параметра в отношении каждого из этих эффектов. В отношении соматических эффектов было принято, что критические ткани включают активный костный мозг и соединительную ткань, выстилающую поверхности эндоста или трабекул.

100. Хотя в отношении генетических эффектов экспериментальные данные оправдывали допущение о беспороговой линейной зависимости при низких дозах и мощностях дозы, такое обобщение не могло быть сделано в отношении отдаленных соматических эффектов, поскольку индукция опухолей при высоких уровнях дозы могла быть описана лишь очень сложной функцией дозы и других факторов облучения. Тем не менее можно было ожидать, что при низких уровнях дозы механизмы, приводящие к возникновению отдаленных эффектов, должны быть значительно проще и что любые эффекты, которые могли бы возникнуть, явились бы следствием специфических изменений, индуцированных в отдельных клетках. В отношении определенных эффектов, для которых характерна нелинейная зависимость при высоких уровнях дозы, было сочтено вероятным, что участок кривой доза-эффект вблизи от точки пересечения координат мог иметь линейную форму. Таким образом, протрагированием облучения и неравномерностью распределения дозы можно было пренебречь. Комитет обсудил также роль учета того, каким именно образом проявляется эффект по истечении определенного периода времени.

101. Обращаясь к проблемам оценок абсолютного риска, Комитет в 1964 году отметил, что ранее он решил ограничиться оценкой сравнительных рисков за исключением лейкоза. Проведя обзор имеющейся информации, Комитет не считал возможным изменить эту процедуру в своем докладе за 1964 год. Однако он тут же указал, что данные, опубликованные после 1962 года, дают основания полагать, что для нескольких тканей и главным образом в диапазоне высоких доз имеется возможность провести оценку абсолютного риска, которая была бы верной в пределах наблюдаемого диапазона доз и данных условий облучения. Было сочтено маловероятным, что риск на единицу дозы при очень низких дозах будет выше, чем при высоких дозах; фактически при низких дозах риск, вероятнее всего, должен быть намного ниже.

102. К 1964 году поступили предварительные оценки доз в результате обследования нескольких пациентов, переживших бомбардировку Хиросимы и Нагасаки, и, по мнению Комитета, погрешность их почти точно составила не выше двух- или трехкратной. Новые дозовые оценки дали возможность заключить, что годовая заболеваемость лейкозом, индуцированным излучением приблизительно пропорциональна дозе в диапазоне примерно от 100 до 900 рад с коэффициентом пропорциональности порядка одного-двух заболеваний на миллион человек на рад. Комитет предупредил, что, поскольку пережившие бомбардировку японцы могут представлять собой селективную группу, образовавшуюся под действием летальных эффектов облучения как такового, оценка риска в применении ко всему населению требует осторожности. Оценка, полученная на основании исследований лиц, оставшихся в живых после атомных взрывов, соответствовала оценке, полученной по данным больных, облучившихся с терапевтическими целями по поводу анкилозирующего спондилита дозами от 300 до 1500 рад. Однако, поскольку эти пациенты также представляли собой в высшей степени селективную группу, эта оценка в строгом смысле слова касается только больных спондилитом.

103. Новая информация свидетельствовала о том, что для детей, подвергшихся внутриутробному облучению, риск заболевания лейкозом на единицу дозы может быть в несколько раз выше, чем для взрослых. Полученные дозы составляли порядка только нескольких рад, а это свидетельствовало о том, что при определенных условиях низкие дозы способны индуцировать злокачественные заболевания. Как и в отношении больных анкилозирующим спондилитом, имелаась вероятность того, что выборка облучавшихся детей может не быть репрезентативной в отношении всех детей.

104. Оценка риска заболевания раком щитовидной железы была получена в результате исследования вопросов индуцирования рака облучением области щитовидной железы в детстве. Для диапазона в 100–300 рад годовой риск, согласно оценке Комитета, составляет примерно один случай на миллион человек на рад на протяжении приблизительно 16 лет после облучения. И в этом случае Комитет указал, что субъекты исследования могли представлять собой в высшей степени селективную группу.

105. Было известно, что облучение приводит и к другим злокачественным заболеваниям, в том числе к опухолям костей, печени, кожи и легких; однако эта информация не была сочтена достаточно надежной, чтобы сделать оценки риска. Комитет не испытывал уверенности, что он сумеет получить такие оценки в отношении всех или хотя бы многих тканей человеческого организма. И действительно, он заключил, что лейкоз вполне может оказаться доминирующим типом индуцируемых излучением злокачественных заболеваний и что общий риск в отношении всех злокачественных заболеваний навряд ли многократно превысит риск заболевания лейкозом.

106. В 1972 году Комитет решил вновь рассмотреть вопрос о радиационном канцерогенезе у человека. Проведенный им обзор показал, что для оценки степени воздействия радиационных эффектов на человека важно располагать эмпирической информацией, получаемой в результате эпидемиологических исследований. При оценке таких исследований необходимо иметь в виду ряд свойственных им трудностей, таких, как проблема размера изучаемой популяции, дозиметрии, латентного периода, взаимосвязи с естественной частотой злокачественных заболеваний, статистики смертности и заболеваемости, эффектов различных болезней, искажающих общую картину, а также редкого характера случаев подлинного равномерного облучения всего тела. Каждое из этих положений было детально обсуждено. Комитет подробно рассмотрел все эти вопросы, а также впервые обсудил вопрос об абсолютном и относительном риске. Было подчеркнуто, что количество людей, облученных значительными дозами, было настолько невелико, что зависимость между дозой и частотой злокачественных заболеваний у человека можно было изучать лишь в отношении наиболее радиочувствительных тканей.

107. Данные об индуцировании лейкозов указывали на то, что частота этих заболеваний увеличивалась с дозой в диапазоне 50–500 рад и что при более высоких дозах эта частота имела тенденцию к снижению, возможно, в результате эффекта гибели клеток при высоких дозах. Индуцированные излучением лейкозы обычно возникали чаще в пределах нескольких лет после облучения; через 25 лет их частота обычно возвращалась к норме и к этому времени наблюдалось примерно 15–40 заболеваний на миллион человек на рад.

108. Рак легких, очевидно, индуцировался в Хиросиме внешним гамма-излучением в дозах примерно 30–100 рад. Эти данные указывали на коэффициент риска от 10 на миллион на рад (при дозе 250 рад) до 40 на миллион на рад (при дозе 30 рад) в течение первых 25 лет после облучения; эта оценка риска в некоторой степени подтверждалась данными о пациентах, лечившихся по поводу анкилозирующего спондилита. Комитет отметил, что оценку риска можно получить также по данным о шахтерах урановых рудников, однако такая оценка не является вполне надежной.

109. Комитет оценил коэффициент риска индукции рака молочной железы среди женщин, облучившихся в Хиросиме, в размере от 6 до 20 заболеваний на миллион человек на рад в течение первых 20 лет после облучения в дозовом диапазоне 60–400 рад. Эти оценки основаны на данных дозиметрического обследования 1965 года. В отношении индуцирования рака щитовидной железы был получен средний коэффициент риска, равный приблизительно 40 на миллион на рад в дозовом диапазоне 60–400 рад. В отношении всех других злокачественных заболеваний без четкого определения их типов Комитет дал предварительную оценку риска индукции в размере 40 на миллион на рад на протяжении первых 25 лет после облучения в дозе 250 рад. По ряду причин Комитет считал, что эти коэффициенты риска, по всей вероятности, будут превышать оценки риска облучения из окружающих человека источников, т.е. облучения в низкой дозе со стороны естественных и искусственных источников.

110. Кроме того, доклад за 1977 год содержал широкий обзор радиационного канцерогенеза у человека. После широкого обсуждения достоверности данных, на которых могут основываться оценки риска, Комитет представил свои оценки коэффициентов риска в отношении лейкозов и опухолей ряда органов. Он отметил, что риск развития злокачественного заболевания при уровнях дозы порядка 100 рад может изменяться в зависимости от ЛПЭ излучения, а иногда и от возраста и пола индивидуума, и, вероятно, от мощности дозы и числа фракций, которыми отпускается эта доза. В этом докладе Комитет впервые коснулся вопроса об индуцированной смертности от лейкоза и других видов рака. До этого он всегда представлял свои оценки риска заболеваемости раком без учета летальности.

111. Как представлялось, щитовидной железе и молочной железе были свойственны наиболее высокие показатели индуцирования рака с коэффициентом риска порядка 100 на миллион на рад. Было сочтено, что низкий показатель смертности от индуцированного излучения рака щитовидной железы и умеренно низкий показатель смертности от рака молочной железы снижают риск смертности примерно до одной десятой и половины их соответственных значений. Коэффициент индуцирования рака легких для мужчин старше 35 лет также был высоким, если судить по данным о шахтерах урановых рудников. По мнению Комитета, для рака легких вероятен средний коэффициент для всех возрастов порядка 25–50 на миллион на рад.

112. Представлялось, что риск индуцирования лейкозов, особенно относящихся к острым и хроническим гранулоцитарным (но не хроническим лимфоцитарным) формам, снижается примерно от 50 на миллион на рад при умеренно высоких дозах примерно до 20 на миллион на рад при более низких уровнях дозы. Комитет был уверен в том, что эта оценка включает все вероятные случаи заболевания, поскольку при индуцированных излучением лейкозах средний срок от облучения до смерти, как представлялось, составлял лишь около 10 лет. В отношении других видов рака с латентными периодами 25 лет и более оценить общее число заболеваний, которые, вероятно, могут быть индуцированы, было труднее.

113. Были также представлены коэффициенты риска для рака желудка, печени, толстого кишечника, головного мозга и слюнных желез, значения которых составляли порядка 10–15 на миллион на рад; для рака кости, пищевода, тонкого кишечника, мочевого пузыря, поджелудочной железы, прямой кишки и лимфоидной ткани со значениями 2–5 на миллион на рад; и для рака кожи, риск индуцирования которого и смертность от которого, как считалось, были низкими.

114. Комитет рассмотрел также вопросы оценки общего риска всех летальных злокачественных заболеваний, исходя из данных о том, что этот риск может в 4–6 раз превосходить риск смертности только от лейкоза. При дозах в несколько рад, для которых может быть применим коэффициент индукции лейкоза около 20 на миллион на рад, общий коэффициент для всех индуцированных летальных злокачественных заболеваний, включая лейкоз, может составить примерно 100 на миллион на рад, а при

высоких дозах, согласно предположениям, – примерно 250 на миллион на рад. Коэффициент риска злокачественных заболеваний, не являющихся летальными, как предполагалось, был примерно равен коэффициенту риска летальных заболеваний. Комитет вновь указал, что такая оценка для низких доз была выведена на основании данных о смертности, индуцируемой дозами свыше 100 рад. Значение, соответствующее уровням дозы, которые имеют место при профессиональном облучении и тем более при облучении из естественных источников, может быть значительно ниже.

115. Имелась вероятность того, что злокачественные заболевания могут индуцироваться в результате внутриутробного облучения плода средними дозами в диапазоне от 0,2 до 20 рад, которое имеет место при диагностических рентгенологических процедурах. Определить коэффициент индукции с какой-либо степенью достоверности было трудно, однако, согласно оценке, он равнялся порядка 200 на миллион на рад.

116. Ввиду ограниченного количества новых эпидемиологических данных, появившихся после выхода в свет доклада за 1977 год, а также вследствие начавшегося пересмотра дозиметрических оценок в отношении лиц, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, Комитет решил не включать обзор канцерогенеза у человека в доклад за 1982 год. Он заявил, однако, что, по его мнению, пересмотр не приведет к изменению предыдущих оценок риска более чем вдвое. Полученные Комитетом до 1977 года оценки риска заболевания раком сведены в таблицу 3, где они приведены в расчете на 1 зиверт для облегчения сопоставлений с более поздними оценками.

Таблица 3. Резюме оценок Комитета в отношении коэффициента риска индуцирования летального рака
(в процентах на зиверт)

Ткань	Доклад			
	1958 год	1964 год	1972 год	1977 год
Костный мозг	0,2–0,5	0,01–0,02 <u>a/</u>	0,15–0,40	0,20–0,50
Молочная железа	–	–	0,06–0,20	0,50
Легкие	–	–	0,10–0,40	0,25–0,50
Щитовидная железа	–	0,16	0,40	0,10
Желудок	–	–)		0,10–0,15
Печень	–	–)		0,10–0,15
Головной мозг	–	–)		0,10–0,15
Слюнные железы	–	–)		(0,10–0,15) <u>b/</u>
Толстый кишечник	–	–)		0,10–0,15
Тонкий кишечник	–	–)		(0,02–0,05)
Кости	–	–)	0,40	(0,02–0,05)
Пищевод	–	–)		(0,02–0,05)
Мочевой пузырь	–	–)		(0,02–0,05)
Поджелудочная железа	–	–)		(0,02–0,05)
Прямая кишка	–	–)		(0,02–0,05)
Слизистая черепных пазух	–	–)		(0,02–0,05)
Лимфатическая ткань	–	–)		(0,02–0,05)
Кожа	–	–)		низкий
Всего (оценка)	–	–	–	1,0–2,5

a/ В год.

b/ Цифры в скобках показывают общую заболеваемость, оценка летальности не проводилась.

3. Нестохастические эффекты

а) Облучение взрослых

117. Комитет неоднократно, в различные периоды времени рассматривал вопрос об индуцировании соматических эффектов у лабораторных животных и у человека. Впервые эти эффекты рассматривались в докладе за 1958 год, в котором была предпринята попытка подытожить все знания, полученные за 60 лет, причем это было сделано в период, когда информация о радиационных поражениях и их патогенезе была еще достаточно скудной. Подробные данные, на которых могло основываться обсуждение, были немногочисленны, однако выявляющаяся общая картина представлялась стабильной, особенно в отношении эффектов, индуцируемых высокими дозами. В тот период Комитет уже знал об основных физических факторах, влияющих на индуцирование этих эффектов, таких, как доза, мощность дозы, фракционирование дозы и качество излучения, а также изложил основные биологические переменные, такие, как биологический вид, возраст, пол и облучение части тела.

118. В этом докладе за 1958 год излагались основные радиобиологические понятия, такие, как чувствительность клеток и реакция ткани в той мере, в какой они взаимосвязаны через посредство скорости деления и дифференциации клеток, хотя концепция летальности клеток еще не могла быть выражена количественно ввиду отсутствия методов выращивания единичных клеточных культур. Термин "восстановление" также использовался весьма расплывчато, без идентификации разнообразных механизмов, лежащих в его основе. Классификация эффектов от морфологических до функциональных также вызывала некоторые проблемы, однако Комитет даже на том раннем этапе правильно определил трудности оценки существования порогов, особенно в отношении низких доз и отдаленных эффектов.

119. Многие из этих критериев использовались и в 1962 году при классификации соматических эффектов на ранние и отдаленные, в результате чего эффекты, весьма отличные по своей природе от злокачественных опухолей и лейкоза, такие, как помутнение хрусталика, индуцирование стерильности или неспецифическое укорочение продолжительности жизни, в итоге были классифицированы в одной группе с опухолями и лейкозом лишь потому, что они проявлялись в отдаленном периоде. Доклад за 1962 год не содержал серьезного отхода от описанных выше обобщений, в частности в отношении формы зависимостей доза-эффект, причем имелись неопределенности в отношении точной формы таких зависимостей при дозах ниже тех, которые испытывались непосредственно, а эффекты в заметной степени зависели от мощности дозы при облучении.

120. Промежуток времени между этим докладом и следующим, выпущенным в 1982 году и содержащим объемное приложение с обсуждением нестохастических эффектов излучения в нормальных тканях, составил 20 лет. Новый подход отражал впечатляющие перемены в понимании соматических эффектов, которые произошли за это время. Само название приложения говорит о реклассификации соматических эффектов на стохастические и нестохастические. К первому классу относятся те эффекты, в отношении которых только вероятность индукции представляет собой (линейную) функцию дозы; ко второму классу относятся те, в отношении которых тяжесть эффекта (а также его вероятность для данной степени тяжести) представляет собой (сигмовидную) функцию дозы. В этом докладе в основном обсуждались эффекты облучения отдельных тканей и органов и проводился обзор многочисленных данных о человеке, интерпретируемых в свете опыта, полученного на экспериментальных животных.

121. Комитет рассмотрел природу этих эффектов, их патогенез, вытекающий из взаимодействия гибели клеток и тканевой кинетики, а также количественные зависимости между этими эффектами и временем и степенью проявления нестохастических клинических повреждений. Наиболее общие выводы, сделанные Комитетом, относятся к существованию дозового порога для индукции этих эффектов и изменчивости этого порога в соответствии с каждым конкретным описываемым типом эффекта. В приложении содержался также детальный анализ того, каким образом дозовый порог в отношении каждого конкретного типа эффекта может колебаться в зависимости от важных радиобиологических переменных, таких, как качество излучения, доза, мощность дозы, фракционирование и протрагирование дозы.

b) Пренатальное облучение

122. Первое упоминание о том, что ткани эмбриона и плода могут обладать особой чувствительностью к воздействию излучения и что облучение беременных женщин может повлечь за собой индукцию тератологических эффектов в продукте зачатия, относится ко времени первого доклада НКДАР ООН (1958 год). Кроме того, в то время уже нашло признание понятие о критических периодах развития, в течение которых некоторые структуры могут быть особо уязвимы от специфического воздействия внутреннего или внешнего облучения. И наконец, в этом докладе обсуждалась также проблема формы зависимостей доза-эффект в отношении эффектов внутриутробного облучения без конкретного указания на природу или механизмы их индукции, хотя и подразумевалось, что такие зависимости могут относиться к пороговому типу.

123. В докладе за 1962 год подтверждались идеи об особой чувствительности структур эмбриона и плода и указывалось, что незначительные повреждения в ходе развития могут усиливаться вследствие роста соответствующих структур, что приведет к крупным аномалиям. На основании данных об облучении мышей после имплантации указывалось, что дозы на эмбрион 0,25 Гр могут оказаться летальными для 40 процентов животных. Основываясь на достаточно обширной группе имевшихся тогда материалов о результатах экспериментов, Комитет также заявил, что облучение в период основного органогенеза может привести к порокам развития и что существует стабильное соответствие между уродствами различных структур у животных и человека на сопоставимых стадиях развития. Пороки развития у человека чаще всего обнаруживались в ЦНС, органах зрения и скелете.

124. В контексте специального обсуждения вопросов воздействия излучения на нервную систему, содержащегося в докладе за 1969 год, Комитет обратил особое внимание на эффект разрушения структур головного мозга млекопитающих в стадии развития. Он подтвердил, что пренатальное облучение может привести к тяжелым аномалиям развития в период дифференциации соответствующих структур. В зависимости от срока облучения у человека могли возникать конкретные аномалии (микроцефалия, энцефалоцел, гидроцефалия), что, вероятно, происходило в соответствии с кинетикой порогового типа, проявляющейся как функция дозы. У животных была описана дезорганизация кортикальной архитектуры, сопровождаемая функциональными нарушениями в виде потери визуальной, обонятельной и дистанционной дискриминационной способности. Другие процессы обучения были нарушены у животных после доз 1 Гр или более, отпускавшихся в течение второй или третьей недели беременности у крыс, а эффекты доз ниже 0,5 Гр рассматривались как неопределенные. Хотя у животных, облучавшихся незадолго до родов такими низкими дозами, как 0,01 Гр, были описаны изменения условных рефлексов, значение этих эффектов для оценки риска у человека также сомнительно. В качестве подлинных эффектов у человека Комитет признал уменьшение размера головы и индуцирование умственной отсталости, однако он не смог идентифицировать какую бы то ни было корреляцию между такими морфологическими и функциональными аномальностями и любыми структурными изменениям в центральной нервной системе.

Комитет даже попытался вывести коэффициент риска для умственной отсталости среди лиц, переживших бомбардировку Хиросимы и Нагасаки, и оценка его составила один случай на тысячу человек на 1 рад для доз свыше 50 рад, полученных с высокими мощностями дозы.

125. Признавая важность дальнейшего наблюдения за воздействием излучения на рост и развитие ввиду его важного значения для рассмотрения вопросов облучения всего населения и работающих женщин, Комитет предпринял еще один обзор по этому предмету в приложении J к своему докладу за 1977 год. Он включал информацию об экспериментах на животных, являвшуюся единственной доступной информацией, и данные о механизмах индукции эффектов при внутриутробном облучении; в нем также содержалось описание зависимостей доза-время, полученных на основании данных, более всего приближающихся к количественным.

126. В приложении J к докладу за 1977 год содержалось обобщение данных в отношении так называемых "периодов максимальной чувствительности" различных анатомических структур, совпадающих со "спуртом" роста; там содержалось также межвидовое обобщение идеи о том, что летальные эффекты типичны для предимплантационного периода, тератогенные эффекты – для периода основного органогенеза, а нарушения роста – для плодного периода. Анализ зависимостей доза-эффект в основном показал их криволинейный характер. Комитет подтвердил ранее выдвинутый им коэффициент риска умственной отсталости и, основываясь на данных по мышам, высказал ту мысль, что коэффициент риска приращения числа случаев гибели эмбриона вскоре после оплодотворения может быть принят равным 1 проценту на рентген.

127. На основании этого исследования Комитет заключил, что, хотя данные в отношении радиационного индуцирования пороков развития у человека чрезвычайно скудны, данные по другим видам животных являются настолько однозначными и единообразными, указывая на значительную чувствительность к таким эффектам, что просто невозможно ожидать, чтобы человек явился исключением. Комитет считал невозможным вывести надежные количественные оценки риска пренатального облучения человека, осуществляемого на сопоставимых стадиях развития, основываясь на ограниченных данных по человеку, особенно при низких дозах и мощностях дозы; однако он считал возможным, исходя из данных об экспериментах на животных, исключить вероятность того, что видовая чувствительность человека может в десять раз превышать ту, которая ожидается.

4. Другие виды вредного воздействия

128. В различные периоды времени и в различных докладах, помимо тех видов вредного воздействия, о которых шла речь выше, Комитет уделял особое внимание и другим его видам, которые нелегко классифицировать. Одним из этих видов является сокращение продолжительности жизни, которое, как упоминалось в докладе за 1958 год, является результатом острых или отдаленных индуцируемых излучением изменений как конкретных, например лейкозов у радиологов, так и патологически диффузных, затрагивающих все органы и ткани. Эти последние состояния, как предполагалось, приводят к ускорению нормальных процессов старения, что получило название неспецифического сокращения продолжительности жизни.

129. Специальное исследование так называемых эффектов старения под воздействием излучения было выполнено Комитетом в его докладе за 1982 год. Как представлялось, для определения старения в точных биологических единицах не было достаточных оснований, в результате чего было невозможно постулировать неспецифические эффекты облучения при низких дозах и мощностях дозы, которые могли бы приводить к преждевременному старению животного. Поэтому Комитет сосредоточил внимание на

действию излучения, укорачивающем продолжительность жизни, то есть на эффекте, поддающемся более объективному определению. При дозах, представляющих наибольший практический интерес, т.е. дозах значительно ниже диапазона ЛД₅₀ и вплоть до самых низких доз и мощностей дозы, имеющиеся данные в подавляющем большинстве случаев показывали, что облученные животные в среднем живут на несколько лет меньше, чем необлученные контрольные животные.

130. Этот эффект сокращения продолжительности жизни в точности соотносится с дозой и временем. Весьма значительный объем данных по экспериментальным животным позволил сделать в докладе вывод, что сокращение продолжительности жизни в результате воздействия доз и мощностей дозы от низких до промежуточных происходит главным образом вследствие индуцирования злокачественных заболеваний на уровне, превышающем естественный уровень, характерный для исследуемых видов. Этот вывод касается экспериментальных животных и, насколько можно судить на основе более ограниченного объема данных по человеку, он касается также и человека.

131. В своем докладе за 1969 год Комитет представил специальное исследование о воздействии излучения на нервную систему. Оно также охватывало аспекты, касающиеся морфологических и функциональных расстройств после облучения в пренатальных стадиях. Облучение нервной системы взрослых может дать эффекты лишь при высоких дозах, влекущих за собой глубокие структурные и функциональные изменения. Был, однако, признан тот факт, что даже такие низкие дозы, как 0,1 Гр или ниже, способны индуцировать реакции "физиологического характера". Наиболее примечательным результатом оставался, однако, разительный контраст в отношении чувствительности пренатальных и постнатальных стадий, причем первая из этих стадий значительно чувствительнее второй.

132. Тот же доклад содержал отдельное приложение об индукции хромосомных aberrаций в клетках человека, относящихся как к герминативным, так и к соматическим линиям. Что касается соматических клеток, то индукция хромосомных aberrаций представляет собой интересный эффект с точки зрения его потенциального использования в качестве дозиметра *in vivo* и с точки зрения его биологической значимости как причины индуцирования злокачественных новообразований (или корреляции с таким индуцированием). В этом приложении были охвачены в полном объеме зависимости доза-время для индуцирования хромосомных повреждений и вариативности aberrаций в зависимости от воздействия других физических и биологических агентов. В выводах указывалось, что, помимо практического применения в биологической дозиметрии, хромосомный анализ мало что может дать для оценки риска неопластических, иммунологических или сокращающих продолжительность жизни эффектов излучения. Оценки риска по-прежнему придется основывать на наблюдаемых частотах конкретных клинических состояний в зависимости от дозы, причем этот вывод сохраняет свою значимость и до настоящего времени.

133. Доклад за 1972 год содержал специальное исследование относительно эффектов излучения, касающихся иммунологической реакции, в котором Комитет, основываясь главным образом на экспериментальных данных, предпринял попытку обсудить роль иммунной системы в развитии ранних и отдаленных эффектов облучения, особенно эффектов нестохастического типа. В выводах к исследованию указывалось, что иммунная система содержит в себе мощные внутренние факторы самозащиты, так что она способна выдержать значительную степень радиационного поражения и восстановить свои функции. Комитет заявил, что после доз на все тело около 0,1 Гр можно наблюдать повреждение иммунной системы, однако такое повреждение не вызывает особого беспокойства. Дозы на все тело на порядок величины выше могут повысить восприимчивость к инфекции, а дозы 2 Гр и выше способны привести к значительному возрастанию риска смерти от инфекции. В отношении нестохастических эффектов эти выводы представляются действенными до сего времени.

134. Еще одно специальное исследование касалось возможного взаимодействия между излучением и другими агентами, широко распространенными в окружающей среде. Такое же исследование содержалось и в докладе за 1982 год, и в нем Комитет уделил особое внимание таким условиям облучения, которые способны влиять на большое количество людей и тем самым влиять на средние коэффициенты риска, значительно изменяя их.

135. Комитет пришел к выводу, что имеется мало систематической информации для подтверждения данных о неаддитивном взаимодействии излучения с другими агентами в том, что касается эффектов, которые могут иметь широкое практическое значение (индукция рака, генетических эффектов или пороков развития). Проведенный теоретический анализ с иллюстративными примерами из экспериментальных и эпидемиологических работ показал всю сложность глубокого изучения данного вопроса в связи с различной природой взаимодействующих агентов, разнообразием механизмов их действия, различиями в уровнях дозы и видах постулирования дозы; все это может повлечь за собой значительное многообразие возможных видов взаимодействия в смысле их аддитивной, ингибирующей или синергической роли, однако хорошо документирован только один случай синергизма – это взаимодействие табачного дыма и облучения продуктами распада радона у шахтеров урановых рудников. Такое взаимодействие не допускает прямой экстраполяции данных, касающихся шахтеров, на все население.

III. ПОЛОЖЕНИЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

136. В настоящей главе описываются результаты и выводы, приведенные Комитетом в его самых недавних докладах. По большинству вопросов самой последней информацией является та, которая содержится в настоящем докладе (1988 год); однако по некоторым вопросам, которые здесь не освещены (например, облучение в результате ядерных взрывов) самой последней информацией является та, которая изложена в докладе за 1982 год.

А. Уровни и дозы ионизирующего излучения

1. Естественные источники ионизирующего излучения 3/

137. Оценка доз облучения человека из естественных источников ионизирующего излучения приобретает особо важное значение, поскольку естественное излучение вносит наибольший вклад в коллективную дозу, которую получает население мира. Естественные источники излучения можно классифицировать следующим образом:

а) внешние источники внеземного происхождения (т.е. космическое излучение) и излучение земного происхождения (т.е. радиоактивные нуклиды, присутствующие в земной коре, в строительных материалах и в воздухе);

б) внутренние источники, представленные встречающимися в природе радионуклидами, поступающими в человеческий организм.

138. В некоторой своей части общее облучение от природного радиационного фона весьма постоянно в пространстве и времени и практически не зависит от деятельности человека. Например, так обстоит дело с дозами от перорального поступления в организм ^{40}K , которое контролируется гомеостатически, а также с дозами от вдыхания и перорального поступления космогенных радионуклидов, которые относительно равномерно распределены по поверхности земного шара. Другие виды облучения в высшей степени зависят от человеческой деятельности и практики и поэтому весьма разнообразны. Типичными примерами могут служить дозы от вдыхания внутри помещений продуктов распада радона и торона: на их концентрацию внутри помещений влияет

конструкция здания, выбор строительных материалов и вентиляционных систем, а это означает, что дозы, получаемые в результате вдыхания радона изменяются по мере того, как меняются методы и практика строительства. В промежутке между этими двумя экстремальными видами облучения имеют место также следующие разновидности: дозы внешнего облучения из источников космического излучения, на которые влияет деятельность человека и которые вполне предсказуемы, но неконтролируемы (если не считать возможности переезда в другой район, где доза ниже); дозы от вдыхания и перорального поступления долгоживущих нуклидов – продуктов цепи распада ^{238}U и ^{232}Th , которые вносят небольшой вклад в общую дозу от естественных источников и относительно постоянны в пространстве; и дозы, получаемые под воздействием внешнего излучения из земных источников, которые также подвержены значительным изменениям в результате деятельности человека, причем особенно это касается облучения внутри помещений.

139. Комитет провел переоценку доз, получаемых в глобальном масштабе из естественных источников излучения (таблица 4). Получаемая среднегодовая эффективная эквивалентная доза составляет, согласно оценке, 2,4 мЗв; она касается взрослой части населения. Колебание этого среднего показателя происходит, главным образом, по причине изменения условий облучения из источников земного происхождения и внутреннего облучения (вдыхания) от продуктов распада изотопов радона с коротким периодом жизни. Облучение из внешних источников обычно отличается от среднего в 1,5 раза, а внутреннее – в 2,5 раза. Для обоих видов облучения крайние показатели отличаются от среднего в 100 раз.

140. По сравнению с оценками, приведенными в докладе за 1982 год, произошло несколько изменений:

а) в отношении внешнего облучения из источников космического излучения новая оценка годовых эффективных эквивалентных доз стала выше на 50 мкЗв в связи с тем, что теперь учтено географическое распределение мирового населения (удаление по высоте), а также экранирующий эффект строительных материалов;

б) в отношении внешнего облучения из земных источников излучения оценка годовой эффективной эквивалентной дозы увеличена на 60 мкЗв как следствие того, что теперь лучше известны поглощенные дозы в воздухе гамма-излучения в закрытых помещениях;

с) оценки годовых эффективных эквивалентных доз от внутреннего облучения за счет примордиальных радионуклидов несколько снижены для цепочек ^{238}U и ^{210}Pb , а также для продуктов распада ^{220}Rn , тогда как для короткоживущих продуктов распада ^{222}Rn они увеличены примерно на 300 мкЗв на основе результатов обследований облучения внутри помещений, проведенных в различных странах.

Чистый результат этих корректировок выражается в том, что оценка годовой эффективной эквивалентной дозы облучения из естественных источников ионизирующего излучения увеличена на 20 процентов.

141. Приведенные в таблице 4 данные свидетельствуют о важнейшем значении доз от вдыхания ^{222}Rn и его короткоживущих продуктов распада. Промышленная деятельность с выбросом материалов, содержащих повышенные концентрации встречающихся в природе радионуклидов, не приводит к значимому изменению оценок общего облучения.

Таблица 4. Годовые эффективные эквивалентные дозы на душу населения из естественных источников

Источники облучения	Годовая эффективная эквивалентная доза (мЗв)		
	Внешнее облучение	Внутреннее облучение	Всего
Космическое излучение			
Прямоионизирующая компонента	0,30	—	0,30
Нейтронная компонента	0,055	—	0,055
Космогенные радионуклиды	—	0,015	0,015
Примордиальные радионуклиды:			
^{40}K	0,15	0,18	0,33
^{87}Rb	—	0,006	0,006
Цепочка ^{238}U :	0,1	1,24	1,34
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$		0,005	
^{230}Th		0,007	
^{226}Ra		0,007	
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$		1,1	
$^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$		0,12	
Цепочка ^{232}Th :	0,16	0,18	0,34
^{232}Th		0,003	
$^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$		0,013	
$^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$		0,16	
Всего	0,8	1,6	2,4

2. Ядерные взрывы

142. В своем докладе за 1982 год Комитет привел оценку облучения населения всего мира в результате выброса в окружающую среду радиоактивных материалов от ядерных взрывов в атмосфере, проводившихся с 1945 года. После 1980 года никаких ядерных испытаний в атмосфере не производилось, и эта оценка полностью сохраняет свое значение.

143. В таблице 5 приводятся суммарные данные о ядерных взрывах в атмосфере; они показывают, что большинство программ испытаний осуществлялись в 1957–1958 и в 1961–1962 годах. Взрывы большой мощности приводят к выбросу радиоактивных продуктов взрыва в стратосферу, откуда происходит их глобальная дисперсия и отложение на земную поверхность (известно под названием радиоактивных выпадений). Наивысшие уровни облучения населения имеют место в умеренных зонах и в северном полушарии, где проведено большинство испытательных взрывов. Ожидаемая доза для южной умеренной зоны составляет примерно 70 процентов от дозы для северной умеренной зоны. Дозы облучения в основном связаны с пероральным поступлением радионуклидов в организм с пищевыми продуктами и с внешним облучением от отложений на поверхности земли.

Таблица 5. Количество и мощность ядерных взрывов в атмосфере

Годы	Количество взрывов	Оценка мощности взрывов (Мг)	
		Реакция деления	Всего
1945-1951	26	0,8	0,8
1952-1954	31	37,0	60,0
1955-1956	44	14,0	31,0
1957-1958	128	40,0	81,0
1959-1960	3	0,1	0,1
1961-1962	128	102,0	340,0
1963	0	0,0	0,0
1964-1969	22	10,6	15,5
1970-1974	34	10,0	12,2
1975	0	0,0	0,0
1976-1980	7	2,9	4,8
1981-1987	0	Испытания не проводились	

144. Важнейшие радионуклиды, вносящие свой вклад в оценку ожидаемой дозы для различных районов мира в результате всех проведенных до сего времени испытаний в атмосфере, перечислены ниже в убывающем порядке значимости: ^{14}C , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{144}Ce и ^3H . Из этого числа радионуклидов нынешнему и будущим поколениям всего мира остается получить от ^{14}C , ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H лишь остаточную дозу. Дополнительная доза в размере около 0,1 процента от общей ожидаемой эффективной эквивалентной дозы будет получена от ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am , что будет происходить с очень малой мощностью дозы на протяжении тысячелетий.

145. Ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза в результате всех проведенных ядерных взрывов в атмосфере была оценена в докладе за 1982 год как равная $3 \cdot 10^7$ чел-Зв, и эта оценка сохраняет свою значимость. Это значение, в котором учтен прогноз будущего роста численности населения мира, как было найдено, эквивалентно примерно четырем годам облучения из естественных источников населения конца 70-х годов, если учитывать годовую экспозиционную дозу на душу населения из естественных источников 2 мЗв и численность населения мира в размере $4 \cdot 10^9$ человек. В связи с ростом к настоящему времени численности мирового населения до $5 \cdot 10^9$ человек и с учетом пересмотренной оценки годовой дозы на душу населения из естественных источников, равной 2,4 мЗв, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза в результате всех атмосферных ядерных взрывов сейчас оценивается как эквивалентная примерно трем годам облучения из естественных источников населения всего мира в его нынешней численности.

3. Производство электроэнергии на атомных электростанциях 4/

146. Число ядерных реакторов, эксплуатируемых с целью производства электроэнергии, после издания доклада за 1982 год увеличилось. В конце 1987 года в 26 странах эксплуатировалось в общей сложности 417 реакторов общей установленной мощностью 298 ГВт. Это означает, что установленная мощность увеличилась на 100 процентов по сравнению с последними данными, приведенными в докладе Комитета за 1982 год, когда установленная мощность составляла 144 ГВт. Прогноз на 2000 год все еще носит в некоторой степени умозрительный характер и составляет около 500 ГВт, т.е. прирост установленной мощности по сравнению с нынешними данными составит 80 процентов.

147. Ядерный топливный цикл включает несколько этапов: добычу и переработку урановой руды; для реакторов некоторых типов – обогащение изотопного содержания урана-235; изготовление топливных элементов; производство энергии в реакторах; переработку (хотя она и не всегда осуществляется) облученного топлива и рециклирование полученных нуклидов, способных служить ядерно-топливным сырьем; перевозку ядерных материалов между установками ядерного топливного цикла; и наконец, удаление радиоактивных отходов. Хотя большинство радиоактивных материалов, связанных с производством электроэнергии на атомных электростанциях, остается в облученном топливе, небольшие их количества выбрасываются в окружающую среду на каждом из этапов цикла. Большинство этих выбросов имеет лишь местное или региональное значение из-за короткого периода полураспада этих нуклидов и их ограниченной мобильности в окружающей среде. Однако некоторые нуклиды вследствие их длительного периода полураспада или быстрого переноса в окружающей среде могут вносить свой вклад в облучение человека в глобальном масштабе.

148. Комитет провел оценку доз, получаемых работниками ядерных установок и населением в результате выбросов радиоактивных материалов, отдельно по каждому этапу топливного цикла. В его оценках учитывались четыре группы населения: лица, подвергающиеся облучению в результате работы на объектах топливного цикла; население, проживающее в пределах примерно 100 километров от установок; население в пределах нескольких тысяч километров; и наконец, население всего мира.

149. Концентрация радионуклидов в выбросах обычно является низкой, при этом едва ли возможно и к тому же непрактично контролировать население на предмет оценки поглощаемых радионуклидов. Поэтому для оценки доз на больших расстояниях от установки применяется метод экологического моделирования. Перенос радионуклидов между элементами окружающей среды может прогнозироваться исходя из измеренных величин, получаемых в ходе радиационного контроля пищевых продуктов и воды и на основе экспериментальных исследований.

150. Исходной точкой экологического моделирования на больших удалениях являются данные о количестве и концентрации радиоактивных материалов в составе выбросов из различных ядерных установок. Эта информация обычно поступает в Комитет от стран, осуществляющих ядерные энергетические программы; такая информация была собрана за 6-летний период 1980-1985 годов. Поскольку масштабы каждого конкретного этапа в ядерно-топливном цикле пропорциональны связанному с ним энергетическому потенциалу, выбросы выражаются в расчете на 1 ГВт в год произведенной электроэнергии, что позволяет проводить сопоставления и использовать средние показатели по рассматриваемому периоду и по всем установкам данной основной конструкции; такие результаты не являются репрезентативными для какой-то конкретной площадки, а лишь указывают на общее воздействие установок каждого типа. Результаты усредняются по всей сумме произведенной электроэнергии и установкам определенного типа и поэтому отражают те выбросы, которые могут иметь место и в периоды отключения установок в связи с работами по техническому обслуживанию, когда электроэнергии производится мало или она не производится вообще.

151. Для оценки коллективных доз, соответствующих нормализованным выбросам, Комитет ранее дал спецификацию гипотетических промплощадок, обладающих широко репрезентативными характеристиками по каждому из следующих этапов топливного цикла: добыча и начальная переработка руды, обогащение руды и изготовление тепловыделяющих элементов, эксплуатация реакторов и переработка облученного топлива. Комитет также исходил из предположения, что окружающая среда, куда попадают выбросы из каждой моделируемой установки, будет представлять собой гипотетическую среду, включающую все основные характеристики существующих площадок, с тем чтобы было охвачено большинство наиболее распространенных путей поступления

нуклидов в организм человека. Эти же модели вновь использованы Комитетом, поскольку, по мнению Комитета, они по-прежнему соответствуют своему назначению, а также потому, что это облегчает сопоставление нынешнего воздействия ядерного топливного цикла с данными предыдущей оценки за период 1974–1979 годов.

152. В результате функционирования урановых рудников образуются выбросы, которые поступают, главным образом, вместе с воздухом из вентиляционных систем в случае подземных рудников, или же выносятся в шлаковые отвалы в случае открытой разработки. Дополнительные выбросы образуются во время первичного измельчения руды с целью извлечения урана. Насыпи руды и других извлеченных материалов являются источником воздушного загрязнения во время функционирования рудников и данный источник сохраняется даже после их закрытия. Рудные хвосты, удаляемые с предприятий, также становятся долгосрочными источниками воздушного загрязнения. Наиболее важным радионуклидом, содержащимся во всех этих воздушных выбросах, является ^{222}Rn . В результате использования тех же общих моделей, что и в докладе за 1982 год, была произведена оценка доз как за период функционирования, так и на долгосрочную перспективу (10^4 лет). Кроме того, была дана оценка доз для этапа производства топлива и транспортировки, однако, поскольку они намного меньше доз со стороны других компонентов ядерно-топливного цикла, эти дозы отдельно не рассматриваются.

153. В ходе функционирования АЭС и установок по переработке образуются твердые отходы, подлежащие удалению. Для целей анализа эти отходы описываются с точки зрения физического объема и концентрации активности важных радионуклидов на единицу произведенной энергии. Для расчета мощности выброса радионуклидов и образующихся в результате этого эффективных эквивалентных доз были выделены два типичных вида захоронений (сухопутные поверхностные захоронения) и использовались модели наземного распространения.

154. Действующие коммерческие установки по переработке топлива имеются только в Селлафилде в Соединенном Королевстве, а также в Кап-де-ла-Аг и в Маркуле во Франции. В своем докладе за 1982 год Комитет оценил воздействие переработки топлива, используя гипотетическую установку, репрезентативную в отношении тех, на которых будет производиться переработка оксидного топлива в будущем. В настоящее время объем перерабатываемого топлива на этих трех перерабатывающих заводах равнозначен производству энергии, эквивалентной примерно 5 процентам электроэнергии, производимой на атомных электростанциях. Поэтому Комитет решил оценить воздействие фактических выбросов, о которых имеются сообщения, с действующих коммерческих предприятий по переработке топлива с последующим взвешиванием получаемых коллективных доз по доле переработанного топлива, чтобы получить нынешний показатель экспозиционной дозы в расчете на 1 ГВт в год произведенной электроэнергии.

155. Вычисление коллективной дозы для населения всего мира и его различных подгрупп требует допущений относительно размеров соответствующих популяций, привычек в области рациона питания и других привычек, а также относительно практики ведения сельского хозяйства и рыболовства. Ранее Комитет использовал значения, репрезентативные в широком плане, и они сохранены для оценки радиологического воздействия каждого этапа топливного цикла.

156. В таблице 6 приведены оценки коллективных эффективных эквивалентных доз для местного населения и населения региона, а также для населения всего мира под воздействием широко диспергированных радионуклидов. Дозы профессионального облучения в расчете на 1 ГВт в год приблизительно втрое превышают дозы, получаемые местным населением и населением региона.

Таблица 6. Коллективные дозы на единицу производства
электроэнергии на АЭС
(чел-Зв на 1 ГВт в год)

	В течение последующих 100 лет	На протяжении всего времени
Хвостохранилища предприятий (радон), в долгосрочном плане	1,5	150 <u>а/</u>
Глобально диспергированные нуклиды и отходы	6,0	60
Местные и региональные дозы	4,0	4
Профессиональные дозы	12,0	12
Всего	24,0	230

а/ В течение 10 000 лет.

157. Оценки дозы облучения населения снизились, отчасти в результате того, что выбросы в окружающую среду из реакторов также в целом снизились и была дана гораздо более низкая оценка в отношении углерода-14, обуславливающего половину дозы облучения населения в результате выбросов в ходе обычной эксплуатации реакторов; эта цифра значительно меньше той, которая фигурировала в докладе Комитета за 1982 год, в связи с тем, что были получены новые, более низкие величины измеренных выбросов углерода-14 из тяжеловодных реакторов.

158. В настоящее время доза облучения населения мира от выбрасываемых радионуклидов, которые подвергаются глобальной дисперсии, значительно меньше дозы, получаемой населением данной местности или региона. Только в том случае, если сохранятся нынешние уровни выброса этих радионуклидов, а все реакторное топливо будет перерабатываться, глобальный компонент годовой коллективной эффективной эквивалентной дозы сможет со временем сравниться с местной и региональной дозами.

159. Коллективные дозы и дозы на душу населения в результате производства электроэнергии на атомных электростанциях можно сопоставить с дозами, которые получает население всего мира от естественных источников ионизирующего излучения. Согласно оценке, немедленно поступающий в организм компонент нормализованной коллективной эффективной эквивалентной дозы от радионуклидов, содержащихся в выбросах установок современного ядерного топливного цикла, составляет 4 чел-Зв на 1 ГВт. Для нынешнего годового уровня производства электроэнергии на атомных электростанциях в размере примерно 180 ГВт в год годовая коллективная доза оценивается в 760 чел-Зв. Если разделить этот показатель на численность мирового населения ($5 \cdot 10^9$ человек), то получим оценку годовой дозы на душу населения, равную 0,15 мкЗв. Эти дозы составляют примерно 0,01 процента коллективных доз и доз на душу населения из источников естественного радиационного фона.

4. Медицинское облучение 5/

160. Надежные данные о частоте проводимых обследований и о поглощенных дозах в результате медицинских обследований имеются в основном из развитых стран, в которых проживает менее 25 процентов всего мирового населения. В отношении примерно еще 25 процентов населения имеются отрывочные данные о частоте обследований или числе диагностических рентгеновских аппаратов, но практически никаких данных о поглощенных дозах. В отношении половины населения земного шара не имеется вообще никаких данных. По этой причине Комитет разработал модель, основанную на отмечающейся во многих странах устойчивой корреляции между численностью населения в расчете на одного врача (по этому вопросу имеется больше информации) и использовании излучений в медицинских целях.

161. Средства радиодиагностики в настоящее время распределены во всем мире крайне неравномерно: в некоторых странах имеется один рентгеновский аппарат на 2000 человек населения, в других один такой аппарат приходится на 100-600 тысяч человек. Частота процедур также крайне неодинакова: в некоторых районах она составляет 15-20 процедур в год на 1000 человек населения, тогда как в других она достигает 1000-2000 процедур в год. В настоящее время, когда численность населения всего мира составляет $5 \cdot 10^9$ человек, некоторые оценки показывают, что более трех четвертей населения мира не имеют никаких шансов пройти хоть какое-нибудь радиологическое обследование независимо от того, какие у них болезни.

162. Хотя в отношении многих стандартных рентгенографических процедур и процедур ядерной медицины имеются данные о поглощенных дозах, текущая информация свидетельствует о том, что прежние оценки поглощенных доз для населения всего мира могут оказаться несколько заниженными. Основная причина этого заключается в широком применении флюорографии в развивающихся странах. Кроме того, имеется большое количество неисправно работающей аппаратуры, дающей высокие дозы. Ни один из этих факторов не нашел широкого признания в прошлом.

163. Эффективная эквивалентная доза от диагностических рентгенологических процедур значительно выше, чем доза от стоматологических или диагностических обследований с использованием методов ядерной медицины. Годовая эффективная эквивалентная доза на душу населения может оказаться не ниже 0,4 мЗв (предыдущая оценка Комитета), но она может достигать и 1,0 мЗв. Аналогичным образом годовая генетически значимая доза может составлять от 0,1 до 0,3 мЗв. Однако если учитывать возрастную структуру населения, то оценка коллективной эффективной эквивалентной дозы может оказаться завышенной. Это особенно касается тех стран, где большая часть облучения населения с медицинскими целями приходится на людей более старшего возраста.

164. Коллективная эффективная эквивалентная доза для всего мира оценивается как равная от 2 до $5 \cdot 10^6$ чел-Зв. От 90 до 95 процентов этой величины связано с диагностическими рентгенологическими процедурами. Стоматологическая рентгенография, ядерная медицина и радиотерапия (если игнорировать целевые дозы) взятые вместе составляют лишь 5-10 процентов коллективной дозы. В развитых странах этот вклад в коллективную эффективную эквивалентную дозу составляет примерно 0,001 чел-Зв на одно обследование.

165. Имеется множество возможностей снизить дозу, не уменьшая пользы от радиологических процедур. В развитых странах эффективная эквивалентная доза на душу населения может быть снижена вдвое по сравнению с нынешней величиной. В менее развитых странах снижение дозы в расчете на одно обследование может быть достигнуто путем использования рентгенографии вместо флюорографии, надлежащей коллимации и проявления снимков, а также путем калибрации и надлежащего технического обслуживания

аппаратуры, однако возможности, стоимость и необходимые масштабы таких мероприятий в настоящее время неизвестны. Генетически значимая доза может быть значительно снижена путем экранирования гонад: такой метод практичен и обходится дешево. И все же в ряде стран коллективные эффективные эквивалентные дозы могут увеличиваться в связи с ростом доступности рентгенологических обследований, и такое увеличение фактически может быть вполне приемлемым.

166. Ожидается, что в ближайшие несколько десятилетий общее использование излучений в медицинских целях и частота обследований будут увеличиваться вследствие общего старения населения всего мира, роста численности населения и тенденции к урбанизации в развивающихся странах. К 2000 году коллективная доза, вероятно, увеличится на 50 процентов; а к 2025 году она более чем удвоится.

5. Профессиональное облучение 6/

167. Облучению подвергаются две категории работников: работники ядерной промышленности и лица, работающие в тех областях медицины, где приходится иметь дело с источниками излучений, а также работники других профессий (например, экипажи воздушных судов и шахтеры, не связанные с добычей урана), которые трудятся в условиях высоких уровней фоновой радиации. Полная оценка профессионального облучения была проведена Комитетом в его докладе за 1982 год. Обновленные оценки доз облучения работников установок ядерного топливного цикла (среднегодовые дозы порядка 3–8 мЗв на действующий реактор и коллективная доза 12 чел–Зв на каждый Гвт в год произведенной электроэнергии; в целом по всем видам работы в рамках всего ядерно–топливного цикла см. таблицу 6) и медицинского персонала (среднегодовые дозы порядка 0,3–3 мЗв, коллективная доза около 1 чел–Зв на млн. населения, см. также пункт 166; в развитых странах средняя профессиональная доза около 1 мкЗв на обследование), а также доз облучения населения можно найти в соответствующих приложениях, касающихся этих вопросов.

168. Облучение работников, имеющих дело с излучениями, является предметом детально разработанных мер регламентации и контроля во всех странах, и в большинстве случаев получаемые дозы составляют лишь небольшую долю от установленных пределов, что отчасти является результатом нынешних широких мер по оптимизации радиационной защиты. Согласно оценке, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза работников всех установок ядерного топливного цикла на единицу произведенной энергии мало изменилась по сравнению с предыдущими оценками Комитета, однако этого и следовало ожидать, если снижение доз облучения уравнивается большим числом работников, занятых в этой растущей отрасли.

169. Профессиональное облучение в результате медицинской практики включает такие компоненты, как диагностическая рентгенология, стоматологическая радиография, ядерная медицина и радиотерапия. Среднегодовая коллективная эффективная эквивалентная доза профессионального облучения в результате этой практики составляет около 1 чел–Зв на 10^6 населения. Несмотря на то, что в большинстве стран практика использования излучения в медицинских целях расширяется, ограниченные данные указывают, что индивидуальная и коллективная дозы среднегодового профессионального облучения сокращаются на 10–20 процентов каждое десятилетие. В развитых странах среднее профессиональное облучение составляет около 1 мкЗв на обследование.

6. Облучение из прочих источников излучения

170. Облучение из разнообразных прочих источников излучения оценивается Комитетом по мере необходимости в связи с новой информацией и развитием событий. Последняя оценка, содержащаяся в докладе за 1982 год, касается различных устройств широкого потребления, содержащих радиоактивные материалы, а также электронного и электротехнического оборудования, испускающего рентгеновское излучение. Индивидуальные дозы в связи с наличием этих разнообразных источников, как правило, очень малы. По мнению Комитета, это отражает нынешнее положение дел и не требует никаких новых оценок.

7. Аварии и происшествия

171. Наличие в некоторых странах мощной ядерной энергетики и использование многочисленных источников излучения для промышленных и медицинских целей приводит к тому, что аварии и происшествия все-таки имеют место. Общая типология аварий и происшествий, имевших место до сего времени, включает аварии с превышением критичности и другие промышленные аварии, в результате которых дозы облучения получают один или несколько работников; транспортные аварии, включая аварии на спутниках, летательных аппаратах и подводных лодках; случаи утери или хищения источников излучения; и аварии на реакторах.

172. Население подвергалось облучению в поддающихся измерению дозах в результате трех аварий на реакторах: в Уиндскейле в 1957 году, в Тримайл-Айленде в 1979 году и в Чернобыле в 1986 году. Авария на ядерном реакторе в Чернобыле была значительным событием, и детальное обсуждение этого вопроса Комитетом содержится в двух приложениях (приложение D "Облучение в результате чернобыльской аварии" и приложение G "Ранние эффекты облучения человека высокими дозами ионизирующего излучения").

173. В целом после 1982 года, когда Комитет дал последний обзор по этому вопросу, имело место шесть серьезных аварий и происшествий:

1983 год: Конституентес, Аргентина. Аварийный скачок мощности реакторов при проведении работ по модификации активной зоны, что привело к гибели оператора, находившегося всего в трех-четыре метрах от реактора. Оценка дозы пострадавшего составила от 5 до 20 Гр гамма-излучения и от 14 до 17 Гр нейтронов.

1983 год: Сьюдад-Хуарес, Мексика. В результате неправильного удаления источника, содержащего кобальт-60, он попал в партию металлолома, в результате чего произошло загрязнение грузового автомобиля, обочин дорог и произведенной стальной продукции. Облучению подверглись примерно от 300 до 500 человек, причем 10 из них в дозах от 1 до 3 Гр. Смертельных исходов не было.

1984 год: Мохаммедия, Марокко. Источник с иридием-192, который использовался для радиографической проверки сварочных швов на строительной площадке, выпал из крепления, ведущего к экранированному контейнеру и упал на землю. Это заметил прохожий, который подобрал его и отнес домой. Вся семья в составе восьми человек погибла от чрезмерно высоких доз облучения в пределах 8-25 Гр.

1986 год: Техас, Соединенные Штаты. Авария на линейном ускорителе привела к гибели двух человек в результате облучения в чрезмерно высоких дозах.

1986 год: Чернобыль, Советский Союз. Авария на атомной электростанции привела к немедленной гибели двух человек из состава эксплуатационников в результате взрыва. Примерно 145 пожарных и работников аварийных служб заболели острой лучевой болезнью и 28 из них умерли на протяжении трех месяцев после аварии. В общей сложности имело место 30 смертельных исходов; один работник погиб от механического повреждения и еще один - от ожогов. Местное население было эвакуировано, никто из населения не получил высоких доз. Широко распространившаяся дисперсия радиоактивных материалов привела к облучению в низких дозах в основном населения западных районов Советского Союза и других европейских стран.

1987 год: Жоана, Бразилия. В жилом районе был размонтирован источник с цезием-137, в результате чего радиоактивному загрязнению подверглись 240 человек; 54 человека из этого числа были госпитализированы и четыре умерли.

8. Чернобыльская авария 7/

174. Авария на ядерном реакторе в Чернобыле, Советский Союз, которая произошла 26 апреля 1986 года, привела к интенсивному загрязнению местного района, к широкой дисперсии радиоактивных материалов и их выпадению в европейских странах и по всему северному полушарию. Подобная степень загрязнения столь обширного региона в результате события подобного типа была неожиданной. Для оценки уровней радиации были приняты интенсивные меры радиационного контроля.

175. Вскоре после прекращения выбросов из реактора стало ясно, что радиологическое воздействие аварии с точки зрения индивидуального риска является незначительным, за исключением ограниченного района в пределах Советского Союза, либо потому, что уровни загрязнения в целом были низкими, либо потому, что были приняты предупредительные меры против употребления наиболее загрязненных пищевых продуктов, что предотвратило облучение в высоких дозах.

176. Авария на чернобыльском реакторе произошла в ходе инженерных испытаний реактора на малой мощности, в ходе которых системы безопасности были отключены. Реактор перешел в неконтролируемый нестабильный режим, что привело к взрывам и пожару, которые повлекли за собой повреждение реактора и выход в окружающую среду радиоактивных газов и твердых частиц. Пожар был потушен, а активная зона реактора герметизирована на десятый день после аварии.

177. В результате аварии по истечении трех месяцев погибло 30 человек из числа операторов реактора и пожарных. Два человека погибли на месте, 28 умерли от лучевой болезни. Дозы облучения местного населения были значительно ниже тех, которые могли привести к немедленному эффекту. Была проведена эвакуация местного населения из зоны радиусом в 30 км вокруг реактора. Были прекращены сельскохозяйственные работы и проведены широкие мероприятия по дезактивации местности.

178. Начальный выброс радиоактивных материалов после аварии распространялся по ветру в северном направлении. В дальнейшем выбросы распространялись на запад и юго-запад, а также в других направлениях. Выпадение на земную поверхность происходило в основном вследствие дождевых осадков, которые в этот период спорадически выпадали в европейском регионе. Характер выпадений, а следовательно и переноса радионуклидов в пищевые продукты и облучения людей был крайне неравномерным, что потребовало порайонного подхода к вычислению доз.

179. Проведенные после аварии измерения показали, что основной вклад в дозу приходится на радионуклиды ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs , а путями поступления в организм человека являлись внешнее облучение от выпавших материалов и потребление загрязненных пищевых продуктов. Эти основные радионуклиды и пути их распространения и были отражены в проведенной Комитетом оценке доз.

180. Для проведения расчетов доз радиации за первый год в отношении территории Советского Союза и каждой европейской страны у Комитета имелась подробная информация. С целью подтверждения этих результатов и оценки предполагаемых доз от выпадаемых в осадок материалов была произведена оценка более обширных регионов. Поскольку перемешивание выброшенных в тропосферу материалов между двумя полушариями происходит в крайне незначительных масштабах, страны южного полушария могли как-то пострадать только в результате импорта продовольствия, и этот фактор был учтен путем выяснения общего объема производства продовольствия и его потребления в странах северного полушария.

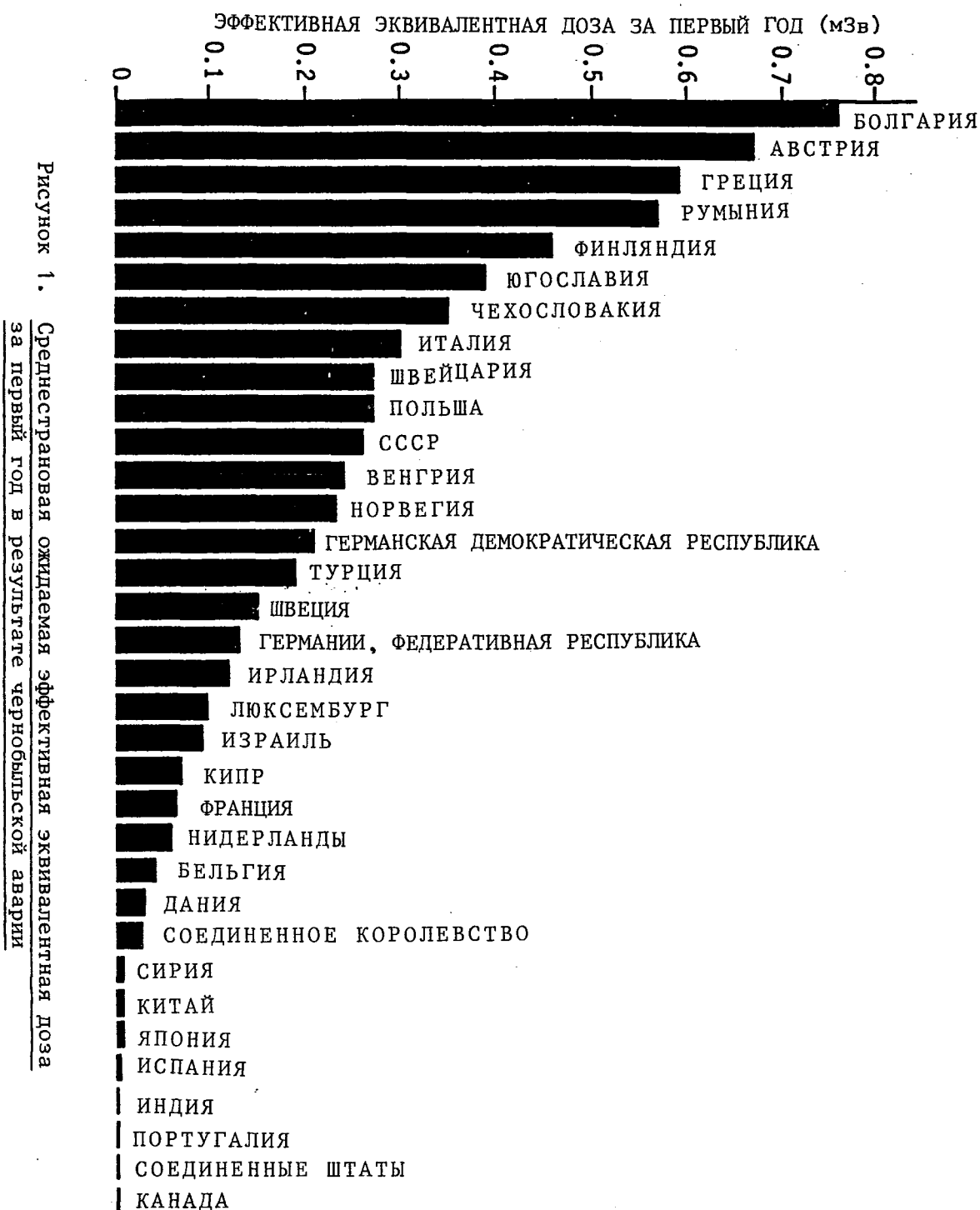
181. В исходных данных для расчета полностью использованы результаты измерений, проводившихся на протяжении первого года после аварии. В дальнейшем, для оценки последующего вклада в дозу, главным образом от ^{137}Cs , необходимо прогнозирование. Такие прогнозы основываются на опыте, приобретенном в ходе проведенных ранее исследований радиоактивных выпадений после испытаний ядерного оружия в атмосфере.

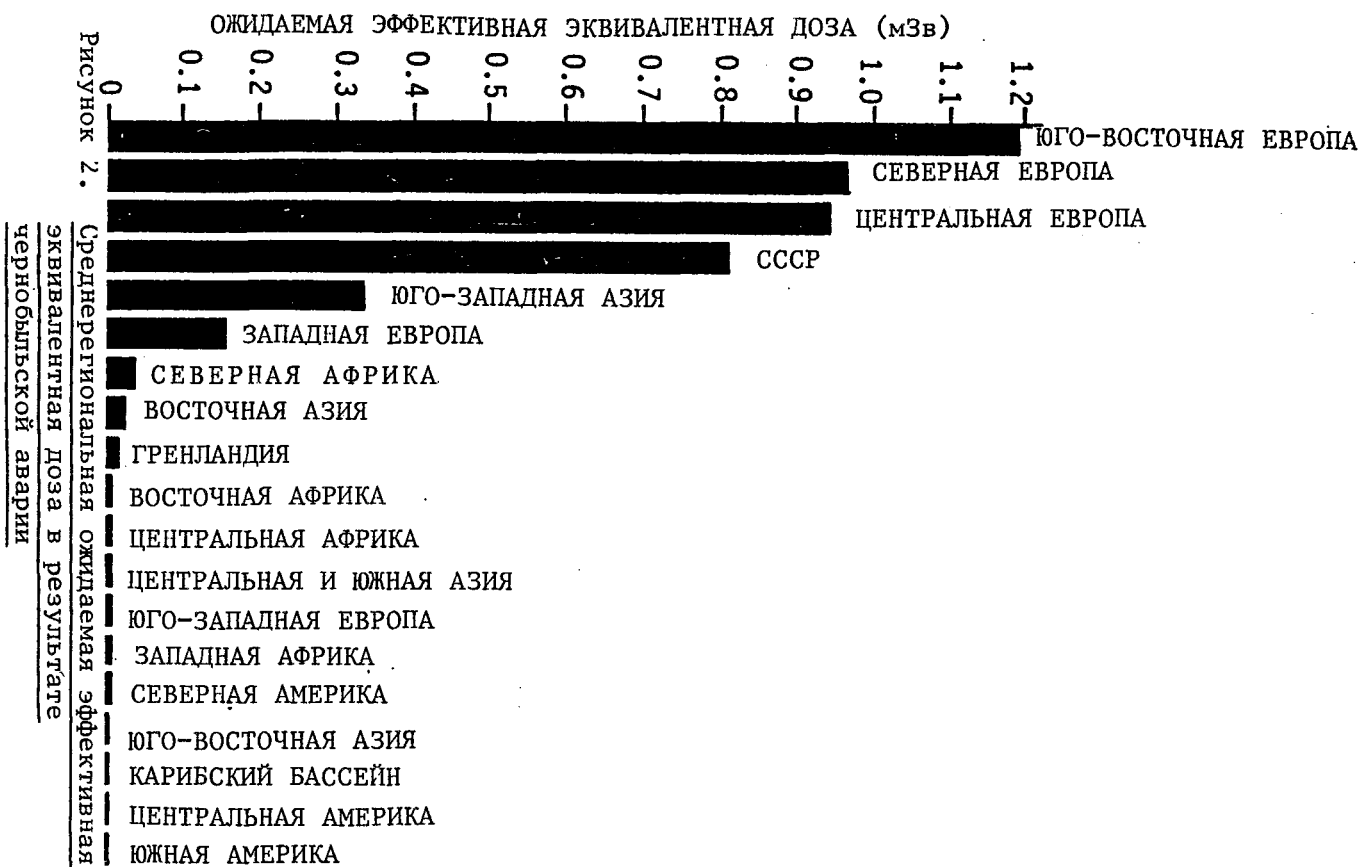
182. Результаты расчета ожидаемых эффективных эквивалентных доз за первый год по 34 странам показаны на рис. 1. Наиболее высокие показатели соответствуют таким странам, как Болгария, Австрия, Греция и Румыния, за которыми следуют другие страны северной, восточной и юго-восточной Европы. Менее затронутыми оказались европейские страны, расположенные далее на запад, а также страны Азии, Северной Африки, Северной и Центральной Америки, что соответствует схеме выпадения осадков.

183. Ожидаемые в результате аварии дозы поступают в организм на протяжении нескольких лет, главным образом как следствие продолжающегося облучения от ^{137}Cs . В среднем в течение первого года после аварии уже поступило 30 процентов ожидаемых эффективных эквивалентных доз. Ожидаемые дозы за весь период времени в более обширных регионах мира показаны на рис. 2.

184. Основной результат оценки доз выражен ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозой. Она оценена приблизительно в 600 000 чел-Зв. Сорок процентов этой дозы получит население Советского Союза и 57 процентов – население Европы. Оставшиеся 3 процента получит население других стран северного полушария.

185. В целях сопоставления с рис. 1 одногодичная эффективная эквивалентная доза облучения из естественных источников принята за 2,4 мЗв. В целях сопоставления с рис. 2 следует учитывать, что основная часть ожидаемой дозы будет получена в течение 30 лет после аварии. Эффективная эквивалентная доза из естественных источников за 30-летний период составляет около 70 мЗв. Используя эти сравнения, следует учитывать, что дозы являются средними показателями для обширных географических регионов, в которых будут наблюдаться местные отклонения в уровне доз в результате черновыльської аварии и от естественных источников.





В. Радиационные эффекты

1. Наследственный вред 8/

186. Несмотря на достигнутый за последние несколько лет значительный прогресс в понимании процессов мутации, никаких серьезных концептуальных изменений в оценке риска в период между изданием доклада за 1986 год и подготовкой настоящего доклада, которые оправдывали бы пересмотр оценок естественных или индуцированных облучением менделевских и хромосомных расстройств с использованием метода удваивающей дозы, не произошло. Однако была сделана попытка дать количественную оценку риска рецессивных заболеваний с помощью данного метода. Новые данные, касающиеся распространенности врожденных аномалий и аномалий сложной этиологии (обсуждавшиеся в докладе за 1986 год), поднимают вопросы в отношении того, может ли удваивающая доза 1 Гр с уверенностью применяться к расстройствам сложной этиологии; в отношении точного цифрового показателя, характеризующего мутационную компоненту в этих расстройствах; и в отношении того, имеет ли смысл продолжать оценивать эти расстройства в условиях неизменного отсутствия экспериментальных данных или данных, касающихся человека, характеризующих механизмы сохранения этих аномалий в популяции и их возможной реакции на облучение. В ожидании поступлений новых данных Комитет предпочел констатировать тот факт, что в настоящее время он не имеет возможности дать значимые оценки риска в отношении этих расстройств. Однако, даже при крайних предположениях, например при 100-процентной мутационной компоненте, риск серьезного наследственного вреда для облученного индивидуума в первом поколении потомства, как представляется, не будет выше, чем нынешняя оценка риска заболевания раком. Такая ситуация сохраняется и в 1988 году, и поэтому рекомендуемые в настоящее время Комитетом оценки риска наследственных эффектов – это оценки, представленные в таблице 7.

187. Используя прямые методы, Комитет дал оценку 10–20 детей с генетическими расстройствами на 10^{-2} Гр на миллион живорожденных вследствие индукции доминантных мутаций. Комитет также оценил, что следует ожидать еще около 10 случаев рождения генетически аномальных детей на миллион живорожденных на 10^{-2} Гр на протяжении жизни первых десяти поколений вследствие рецессивных мутаций. И наконец, в отношении сбалансированных хромосомных транслокаций Комитет оценил риск в размере от 1 до 15 случаев рождения детей с врожденными уродствами на миллион живорожденных на 10^{-2} Гр облучения отцов (0–5 случаев на такую же дозу облучения матерей). Считается, что эти цифры (см. таблицу 2) в настоящее время также сохраняют свою значимость.

188. Комитет всегда осознавал (хотя до 1982 года прямо не упоминал об этом), что просто показать число серьезных генетических болезней значит дать неполную оценку риска. Без каких-либо объективных количественных показателей степени тяжести заболевания трудно оценить полное воздействие радиационных рисков с точки зрения индивидуального, семейного или общественного бремени, проистекающего из таких заболеваний. Поэтому начиная с доклада за 1982 год Комитет приступил к проведению систематических обзоров данных, относящихся к этим проблемам, с тем чтобы получить более четкое представление о действительном ущербе, связанном с наследственными заболеваниями. Хотя он уверен, что это даст возможность более утонченной оценки влияния индуцируемых облучением расстройств, Комитет считает, что этот метод еще не готов для использования.

Таблица 7. Оценки риска тяжелых генетических заболеваний на миллион живорожденных в популяции, подвергшейся генетически значимой дозе ионизирующего излучения малой мощности и дозы, эквивалентной 1 Зв на поколение, в соответствии с методом удваивающей дозы

(Основано на докладе НКДАР ООН за 1986 год
и результатах последующей работы)

(Для целей расчета за удваивающую эквивалентную дозу принят 1 Зв)

Классификация заболевания	Текущая распростра- ненность на млн. живорожденных	Эффект 1 Зв на поколение		
		Первое поколение	Второе поколение	Баланс
Автосомно-доминантные и X-связь	10 000	1 500	1 300	10 000
Автосомно-рецессивные	2 500	5	5	1 500
Хромосомные				
в результате структурных аномалий	400	240	96	400
в результате количественных аномалий	3 400	Вероятно, крайне мал		
Врожденные аномалии	60 000)			
Прочие многофакторные заболевания	600 000)		Оценка отсутствует	
Раннедействующие доминанты)				
Наследственные злокачественные)	Неизвестно		Оценка отсутствует	
опухоли)				
Итого, оценка риска		1 700	1 400	12 000

189. Комитет желает подчеркнуть, что прямые данные о радиационной индукции наследственных болезней у человека до настоящего времени отсутствуют. До тех пор пока такие данные не будут получены, не будет другой альтернативы, кроме как продолжить использование данных, полученных на других видах млекопитающих, с надлежащей их коррекцией на основании знаний о генетике человека, с тем чтобы можно было прийти к оценке риска наследственных заболеваний у человека.

190. Все обсуждавшиеся до сих пор оценки генетического риска были получены на основе генетически значимых доз, т.е. в допущении, что люди получают дозы до или во время репродуктивного периода жизни. Ясно, что при облучении всего населения генетически значимые дозы значительно ниже общих доз, получаемых на протяжении всей жизни: повреждение половых клеток индивидуумов, для которых репродуктивный период закончился или которые отказываются от деторождения по другим причинам, не приводит к какому-либо генетическому риску. Если предположить, что средний репродуктивный возраст составляет 30 лет, а средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении в популяции составляет 75 лет, то доза, полученная к 30 годам, составит 40 процентов общей дозы.

191. Поэтому, чтобы вывести коэффициенты генетического риска в популяции, необходимо умножить обсуждавшиеся выше оценки генетического риска на 0,40. В приводимых ниже вычислениях используются новейшие оценки риска, представленные в таблице 7 приложения Е "Генетические опасности", а коэффициенты риска приводятся в расчете на зиверт:

- a) Коэффициент риска на основе гонадной дозы той части населения, которая находится в репродуктивном возрасте (из приложения Е, таблица 7); только в отношении повреждений, которые могут быть выражены количественно, для всех поколений: 12 000/10⁶, или 1,2 процента
- b) Коэффициент риска для всего населения, а не только для той его части, которая находится в репродуктивном возрасте, для всех поколений (0,4 x 1,2 процента): 0,5 процента
- c) Коэффициенты риска для первых двух поколений, но в остальном при тех же условиях, что и в пункте а, выше: 3 100/10⁶, или 0,3 процента
- d) Коэффициент риска для всего населения (первые два поколения) (0,4 x 0,3 процента): 0,1 процента

2. Радиационный канцерогенез у человека 9/

192. Новейшие данные в области индуцируемых облучением злокачественных заболеваний у человека рассматриваются в свете следующих факторов:

- a) впечатляющие достижения в понимании молекулярных механизмов индукции рака;
- b) анализ, содержащийся в приложении В доклада НКДАР ООН за 1986 год "Зависимости доза-реакция в отношении индуцируемого излучения рака";
- c) обширные дополнительные данные, полученные в ходе эпидемиологических исследований, например, в ходе обследования лиц, переживших бомбардировку Хиросимы и Нагасаки;
- d) пересмотренная система дозиметрии в отношении лиц, переживших атомную бомбардировку Хиросимы и Нагасаки, позволяющая лучше проанализировать эту важную серию эпидемиологических наблюдений.

193. На вероятность того, что у облученных людей могут развиваться раковые заболевания, влияют несколько факторов. Некоторые из них, индивидуальные факторы, касаются самого индивидуума, получившего дозу, т.е. его генетической конституции, возраста, пола и состояния здоровья; другие касаются условий облучения, например полученной дозы, периода времени, в течение которого поступала эта доза, и качества излучения; с облучением могут взаимодействовать и другие факторы, влияющие на восприимчивость индивидуума, такие, как жизненные привычки или подверженность воздействию других токсических агентов. Таким образом, единого и простого способа оценки эффектов не имеется; для достижения этой цели было принято несколько подходов.

194. Один такой подход заключается в изучении воздействия различных условий облучения или состояния организма данного индивидуума на биологические модели канцерогенеза. Этот подход дает возможность проанализировать какой-либо аспект риска, например, его зависимость от времени или от возраста облученных индивидуумов. Другой подход связан с анализом зависимостей доза-реакция и прогнозированием риска. Третий подход заключается в прямом регрессионном анализе эпидемиологических данных, особенно с помощью современных методов множественной регрессии, которые особенно хорошо соответствуют всей сложности рассматриваемых явлений.

195. Наибольшую информативную ценность представляют серии эпидемиологических исследований по следующим группам: а) людей, подвергавшихся хроническому облучению в высоких или промежуточных дозах в период, когда опасность такого рода облучения была неизвестна; б) людей, подвергавшихся хроническому облучению в низких дозах по профессиональным или медицинским причинам или ввиду особенностей окружающих условий; в) людей, получавших высокие дозы на протяжении коротких периодов жизни и только на какую-либо часть тела в терапевтических целях; д) людей, облучавшихся и облучающихся в настоящее время в малых дозах в целях медицинской диагностики; е) особых групп людей, получивших дозы внешнего облучения в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки или внутреннего облучения в результате радиоактивных выпадений после испытаний ядерного оружия; и наконец, ф) отдельных индивидуумов, получивших достаточно высокие дозы вследствие различного рода аварий и происшествий.

196. В ходе эпидемиологических исследований перечисленных выше групп использовались два метода: а) сопоставление контингентов, с помощью которого производился ретроспективный анализ облученных индивидуумов на предмет выявления у них раковых заболеваний, а результаты сопоставлялись с надлежащим образом подобранной контрольной группой лиц, не подвергавшихся облучению; и б) индивидуальное контрольное исследование, в ходе которого ведется перспективное наблюдение за популяцией облучаемых индивидуумов в сравнении с не подвергающейся облучению контрольной группой. Второй метод имеет явные преимущества, но, естественно, может применяться только в особых случаях.

197. Большинство ретроспективных исследований, обсуждавшихся в докладе за 1977 год, продолжают вплоть до настоящего времени, и имеются сообщения о новых результатах. В нескольких случаях, например в серии исследований индуцированного облучения рака молочной железы, были уточнены ранее полученные данные и зависимости доза-реакция; это было достигнуто путем объединения данных, полученных в ходе нескольких исследований. В других случаях, например в серии исследований больных, подвергавшихся облучению на область таза для лечения опухолей шейки матки, полученные ранее результаты были поставлены под сомнение по крайней мере частично. В ряде случаев, например в серии исследований групп, подвергавшихся профессиональному облучению, полученные ранее результаты после более тщательного изучения и новой интерпретации были подвергнуты критике в связи с воздействием различного рода неучтенных факторов при проведении исследования и представлении сообщений. К числу таких проблем относятся неопределенность дозиметрии, неправильный подбор контрольных групп, потенциальные или фактические трудности выявления опухолей.

198. Все основные перспективные исследования, проводившиеся в 1977 году, все еще находятся в активной стадии. В рамках исследования лиц, переживших бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, сделано три новых сообщения о смертности и имеются дополнительные данные о заболеваемости, что улучшило оценки зависимостей доза-реакция в отношении некоторых типов опухолей, а к перечню ранее известных видов индуцируемых облучением опухолей были добавлены новые (рак ободочной кишки, яичников, множественная миелома). Получены некоторые новые данные в ходе исследований лиц, подвергшихся облучению на ядерном объекте в Хэнфорде, облучившихся от радиоактивных выпадений на Маршалловых островах, а также лиц, облучающихся в целях лечения различных заболеваний, таких, как анкилозирующий спондилит, мастит, пневмоторакс или болезни, связанные с вилочковой железой. Абсолютные и относительные значения риска в этих контингентах продолжают увеличиваться (за исключением, может быть, пациентов, страдающих анкилозирующим спондилитом, и контингентов лиц, находившихся в самом молодом возрасте при бомбардировках Хиросимы и Нагасаки). Эти исследования должны, очевидно,

продолжаться на протяжении всего периода жизни наблюдаемых индивидуумов, с тем чтобы можно было получить полные данные о зависимостях доза-реакция и время-реакция в отношении индуцируемого облучения рака. Для целей обобщения соответствующей информации важно также знать, до какой степени эти контингенты схожи с другими популяциями; как и с какими последствиями мог измениться риск воздействия нерадиационных факторов; и каким образом риск данной дозы облучения соотносится с общим риском естественной индукции рака среди всего населения. Одной из центральных проблем оценки риска по-прежнему остается форма зависимости доза-реакция, т.е. проблема, исчерпывающим образом освещенная в докладе за 1986 год. Хотя для анализа риска может использоваться целый ряд моделей, каждая из них дает не более чем приближение к истинной зависимости доза-реакция и связана с потенциальными ограничениями или ошибками.

199. Важнейшим источником информации о радиационном риске индукции рака явились данные о смертности лиц, переживших бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Недавно проведенная переоценка поглощенных доз в ткани среди этого контингента прояснила тот факт, что их дозы облучения нейтронами были значительно ниже, чем это считалось ранее, так что соответствующие данные, особенно по Хиросиме, как теперь считается, значительно менее информативны в отношении эффекта нейтронов, чем это предполагалось ранее. Поэтому необходимо провести тщательный пересмотр большого объема экспериментальных данных и ограниченного количества эпидемиологических свидетельств об относительной биологической эффективности (ОБЭ) нейтронов, с тем чтобы прийти к какой-либо оценке риска в отношении этого типа излучения.

200. Благодаря новому международному исследованию пациентов, прошедших курс лечения на предмет раковых новообразований в области шейки матки, были получены новые данные о повторном раке конкретных органов.

201. Данные о заболеваемости раком на протяжении всей жизни пока еще не получены ни в одном из проводящихся эпидемиологических исследований. Поэтому для прогнозирования общего риска заболевания раком в облученной популяции необходимо использовать модели экстраполяции во времени данных, основанных лишь на коротком отрезке жизни облученных индивидуумов. Особое внимание привлекли две такие прогностические модели: а) аддитивная модель, в которой постулируется, что годовой избыточный риск возникает после периода скрытого течения и затем остается постоянным; и б) мультипликативная модель, согласно которой распределение по времени избыточного риска аналогично модели распределения по времени риска естественного заболевания раком, т.е. избыточность (после периода скрытого течения) получается путем умножения показателя возрастной зависимости естественной заболеваемости раком в популяции на постоянный коэффициент. В настоящее время имеются данные, позволяющие глубже понять вопросы применимости этих двух моделей, и последние результаты, полученные в Японии, свидетельствуют о том, что более применима прогностическая модель относительного риска, по крайней мере в отношении некоторых наиболее распространенных видов рака. Возможно, вскоре можно будет сделать более твердые выводы.

202. В основном считается, что процесс развития рака проходит ряд стадий. Иными словами, чтобы произошло злокачественное перерождение клеток, они должны претерпеть целый ряд событий и, как считается, частота этих событий и влечет за собой с течением времени появление злокачественных заболеваний в данной популяции. Анализ различных серий эпидемиологических исследований в рамках такой концепции выявил ряд непоследовательностей, так что в настоящее время еще не представляется возможным оценить, на какие именно стадии канцерогенеза может воздействовать облучение, может ли оно воздействовать более чем на одну стадию и вообще подходит ли многостадийная

модель для объяснения фактического процесса. Все эти варианты могут до некоторой степени оказаться действенными. Может даже оказаться, что события, постулируемые на клеточном и субклеточном уровнях, не просто будет увязать с клиническими данными о радиационном канцерогенезе.

203. Доказано, что в злокачественной трансформации нормальных клеток участвует ограниченное число генов, известных под названием онкогенов. Способы активации этих онкогенов излучением точно не известны, однако полученные до настоящего времени данные не вскрыли каких-либо особых изменений, которые могли бы либо свидетельствовать об особой роли излучения в индуцировании рака, либо содействовать тому, чтобы можно было отличить на генетическом уровне индуцированные излучением опухоли от опухолей, возникающих под воздействием других канцерогенов.

204. Комитет провел детальный обзор имеющейся информации о подверженности заболеванию радиогенным раком в различном возрасте и рассмотрел отдельно данные в отношении облучения детей и взрослых. Данные по детям свидетельствуют о том, что щитовидная железа, кости, костный мозг и молочная железа определенно подвержены канцерогенному воздействию облучения. Большинство детей, успешно облучавшихся в целях лечения рака (т.е. локализованных первичных опухолей), у которых появились вторичные опухоли, – это дети, первичные опухоли которых характеризовались значительной наследственной компонентой. Эти дети, очевидно, были более склонны к заболеванию раком, чем нормальный ребенок. В целом уязвимыми являются определенные ткани и органы, и генетические данные свидетельствуют о том, что это связано с участками генов, экспрессирующимися как в ткани, где возникает первоначальная опухоль (например, ретинобластома), так и в ткани, где образуется вторичная опухоль (например, костная саркома). Известно, что у людей, страдающих наследственной формой ретинобластомы, развивается остеосаркома вне поля облучения или вообще в отсутствие облучения. Спонтанный риск вторичных опухолей у больных ретинобластомой связан с соматическим развитием гомозиготности у тех детей, которые наследуют единственную копию соответствующей мутации, однако пока еще неизвестно, участвует ли этот механизм в индуцировании вторичных опухолей под воздействием излучения. В отношении вторичных опухолей после ретинобластомы имеются указания на то, что здесь может быть применима мультипликативная прогностическая модель, как и в отношении большинства опухолей взрослого возраста.

205. Можно сделать ряд общих выводов относительно радиационного индуцирования злокачественных опухолей. Излучение имеет видимый канцерогенный характер в случае достаточно повышенной дозы, однако раковых заболеваний, индуцируемых исключительно излучением, не существует. Основным видом индуцируемого ракового заболевания является лейкоз (за исключением хронического лимфатического лейкоза); однако могут индуцироваться также злокачественные опухоли молочной железы, щитовидной железы, легких, костного мозга и ряда других органов и тканей. Частота идукции на Гр варьируется в зависимости от органа и ткани. Некоторые злокачественные образования, например хронический лимфатический лейкоз, плоскоклеточный рак шейки матки и болезнь Ходжкина излучением не индуцируются. Индуцированные злокачественные опухоли проявляются некоторое время спустя после облучения; период скрытого течения составляет по крайней мере 2-5 лет в случае лейкоза и около 10 лет или более в случае других злокачественных опухолей. Наиболее важным фактором является возраст индивидуума, однако определенную роль играют и другие факторы, например генетические особенности. Эти вопросы более подробно излагаются в приложении F.

206. В целом в отношении характера пострадиационного риска результаты наблюдения за больными раком аналогичны результатам, полученным при исследовании других облучавшихся групп. Однако в некоторых случаях представляется, что риск для больных раком отличается от риска, существующего для всей популяции. Это может быть связано с различиями в подверженности заболеванию раком, но это может быть также следствием различий в отношении воздействия факторов риска окружающей среды, например курения. Избыточные случаи рака отмечаются как у облучавшихся, так и у необлучавшихся пациентов, что делает оценку радиогенных рисков проблематичной и свидетельствует о том, что популяционные показатели здесь неприменимы.

207. Зависимости доза-реакция для различных видов злокачественных образований широко обсуждались в приложении В к докладу за 1986 год. Был сделан вывод о том, что каждому виду злокачественной опухоли может соответствовать характерная для него зависимость доза-реакция и что по-прежнему трудно дать удовлетворительную оценку такой зависимости в отношении большинства опухолей. Однако было найдено возможным сделать общий вывод о том, что в случае излучений с пониженной ЛПЭ большинство графиков зависимости доза-реакция представляют собой идущую вверх кривую, достигающую максимального значения и затем отражающую понижение реакции при дальнейшем повышении дозы. Как представляется, такое замедление роста и дальнейшее понижение кривой при высоких дозах связано с гибелью облученных клеток, в результате которого впоследствии образуются злокачественные опухоли.

208. В 1986 году Комитет пришел к выводу, что в случае некоторых злокачественных опухолей, например рака женской молочной железы и, возможно, щитовидной железы, вполне применима линейная зависимость при низких и средних дозах излучения и пониженной ЛПЭ; в других случаях нет статистических оснований для того, чтобы отказаться от линейной зависимости, однако другие модели, например линейная квадратичная и квадратичная, в равной степени применимы для получения приближенных данных. Считается, что эти наблюдения по-прежнему в основном верны, хотя в последнее время Комитету были представлены данные, указывающие на то, что фракционированные дозы (при крайне низком уровне дозы на фракцию), возможно, менее эффективны с точки зрения индуцирования рака молочной железы, чем показывали предыдущие расчеты на основе линейной зависимости и без учета эффекта фракционных доз. Недавние эпидемиологические обследования пациентов, употреблявших йод-131 и его производные в диагностических целях, показывают, что излучение при низкой мощности дозы и пониженной ЛПЭ также значительно менее эффективно, чем излучение при средних и высоких дозах с повышенным уровнем дозовой мощности. Вероятно, это указывает на то, что зависимость доза-реакция при индуцировании рака щитовидной железы также носит нелинейный характер (идущая вверх кривая), как это предполагалось в докладе за 1986 год.

209. Известно, что многие биологические различия между людьми модифицируют их уязвимость от индуцируемого излучением рака, и Комитет изучил эти факторы человеческого организма. Имеющаяся информация в основном свидетельствует о том, что влияние пола на радиационный канцерогенез является незначительным или вообще отсутствует в том смысле, что соотношение полов среди лиц, заболевших радиационно-индуцируемыми злокачественными заболеваниями (щитовидная железа, молочная железа, легкие, лейкоз), аналогично этому соотношению для тех же самых злокачественных заболеваний в необлучавшейся популяции. Что касается возраста в момент облучения, то, по имеющимся данным, подверженность радиогенным опухолям снижается по мере увеличения возраста, а латентные периоды связаны не столько с возрастом в момент облучения, сколько с затрагиваемой тканью. Средний возраст и повозрастное распределение случаев заболевания среди взрослых, облучавшихся в однократных дозах, в целом схожи с этими же показателями для всей популяции. Данные о влиянии генетической конституции указывают на возможность наличия небольшой, но отнюдь не

пренебрежимо малой доли населения, предрасположенной к заболеванию раком, которая, следовательно, может быть более уязвима в результате облучения или воздействия других канцерогенных агентов. Чтобы улучшить оценки риска, следует разработать более качественные средства выявления уязвимых индивидуумов, чем те, которые имеются сейчас.

210. Заключительный раздел исследования, проведенного Комитетом, содержит общий аналитический обзор эффектов, связанных с радиогенным раком, по данным из наиболее всеобъемлющих источников. Лишь несколько эпидемиологических исследований – исследования лиц, переживших атомные бомбардировки или облучавшихся в целях лечения анкилозирующего спондилита или рака шейки матки (только лейкоза) – дают возможность оценить риск канцерогенного воздействия излучений в отношении многих различных органов или тканей. Все три исследования охватывают крупные контингенты людей, облучавшихся из источников рентгеновского или гамма-излучения на протяжении короткого периода и наблюдавшихся в течение длительного времени; однако каждая такая группа данных имеет свои особые характеристики. Комитет рассмотрел результаты этих серий исследований в отношении опухолей в различных тканях также в свете оценок риска, полученных в различные периоды времени другими исследователями. Мнение Комитета в отношении оценок риска обсуждается в главе III раздела С.2.

3. Ранние эффекты облучения человека высокими дозами ионизирующего излучения 10/

211. Комитет рассмотрел накопленные знания в отношении эффектов, имеющих место у человека в пределах двух-трех месяцев после равномерно распределившихся доз облучения всего тела свыше примерно 1 Гр рентгеновского или гамма-излучения. Такие данные собирались из трех различных источников: пострадавшие в авариях и происшествиях, жертвы атомных бомбардировок и пациенты, облучавшиеся с радиотерапевтическими целями. Важная информация по этому вопросу недавно была получена в связи с ядерной аварией на Чернобыльской атомной электростанции, в ходе которой около 100 человек получили дозы внешнего и внутреннего облучения 1 Гр или выше. Советская делегация подготовила специально для НКДАР ООН подробный доклад, озаглавленный "Острые радиационные эффекты у пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС", который включен в приложение G в качестве добавления.

212. Ранние продромальные реакции в течение первых 48 часов после облучения проявляются через посредство автономной нервной системы и выражаются в виде желудочно-кишечных и нервно-мышечных симптомов. Частота этих эффектов и длительность латентного периода зависят от дозы. Так доза, приводящая к рвоте у 50 процентов облученных, составляет примерно 2 Гр, а средний латентный период после этой дозы – около трех часов.

213. Дозы свыше 50 Гр неизменно приводят к смерти в течение двух суток вследствие цереброваскулярных повреждений (так называемый неврологический синдром). Равномерные дозы на все тело от 10 до 50 Гр приводят к желудочно-кишечному синдрому, который, как правило, является смертельным, причем в большинстве случаев смерть наступает в течение второй недели после облучения. Несмотря на имеющиеся данные об умерших после атомных бомбардировок, для точной оценки взаимосвязи между дозой и вероятностью смертельного исхода вследствие этого синдрома имеющаяся информация по-прежнему недостаточна. Время наступления смерти в результате желудочно-кишечного синдрома зависит от времени восстановления функций клеток, выстилающих внутреннюю поверхность кишечника, на что влияют вторичные факторы, такие, как инфекция, кровоизлияния, потеря жидкости, белков и электролитов.

214. Равномерные дозы на все тело менее 10 Гр, но выше 1 Гр приводят к костно-мозговому синдрому, сам факт и степень тяжести которого зависят от дозы. Начальное поражение костного мозга после низких доз приводит к снижению уровня содержания белых кровяных телец в крови, причем наиболее чувствительным индикатором поражения служит количество лимфоцитов. Дозы в пределах 1-2 Гр снижают концентрацию лимфоцитов в крови примерно до 50 процентов нормы в пределах 48 часов после облучения. В концентрации нейтрофилов вначале, в течение первых нескольких дней, происходит подъем, за которым следует зависящее от дозы снижение. Через 10 дней после дозы 2-5 Гр происходит второй абортный подъем, однако в отсутствие восстановления костного мозга после этого наблюдается окончательное снижение. Падение концентрации нейтрофилов коррелирует с наступлением лихорадки и с вероятностью выживания. Картина снижения концентрации тромбоцитов во времени аналогична картине, касающейся гранулоцитов, однако второго абортного подъема не происходит. Концентрация тромбоцитов в крови ниже 30-50 тыс. на мкл ассоциируется с кровотечениями. У людей с костно-мозговым синдромом отмечается повышенная уязвимость от инфекции в связи с поражением кроветворной и иммунной систем.

215. Помимо вышеописанных системных эффектов, облучение может также привести к поражению многих других, отдельно облучавшихся тканей и органов. Соответствующие клинические симптомы неодинаковы по времени проявления и степени тяжести. Они могут быть, а могут и не быть частью вышеописанных синдромов в зависимости от того, какая ткань подверглась облучению, от уровня дозы, особенностей облучения и других физических и биологических условий.

216. Облучение кожи приводит к повреждениям, которые хорошо известны и во многом зависят от дозы и облученной поверхности в том смысле, что для получения одного и того же уровня поражения требуются более низкие дозы, но на более значительную площадь поверхности тела. Повреждения кожи включают эритему, аномальный рост волосяного покрова, эпиляцию, десквамацию, а также поражение сосудов и дермы. Доза, приходящаяся на базальный слой эпидермиса, определяет объем гибели клеток и, следовательно, степень десквамации.

217. Поражение мембран слизистой в ротовой полости и горле приводит к воспалению и припухлости, а после высоких доз - к изъязвлению и некрозу. Поражение слизистой наиболее значительно на внутренних поверхностях щек, на мягком небе и в подъязычной области. Острые эффекты в органах зрения также хорошо описаны и во многом зависят от пораженных структур и полученных доз.

218. Самым ранним признаком поражения легких после облучения грудной клетки является пневмония. Она проявляется через 1-3 месяца после доз свыше 8 Гр. После доз от 6 до 12 Гр время наступления пневмонии мало зависит от дозы. После черновыбской аварии у нескольких потерпевших возникла ранняя реакция на легкие. Это отклонение, по-видимому, носило многофакторный характер.

219. Высокие острые дозы до 4 Гр приводят к временной стерильности некоторых лиц мужского пола, а доза, приводящая к постоянной стерильности у всех облученных мужчин составляет не менее 6 Гр. Хотя некоторые дифференцирующиеся формы сперматогоний реагируют очень рано и очень радиочувствительны, концентрация сперматозоидов в сперме начинает снижаться лишь по истечении 6 недель. У женщин временная стерильность индуцируется дозами до 4 Гр, а постоянная - дозами 4-10 Гр. Женщины более старших возрастов более чувствительны, вероятно, в связи с уменьшением числа фолликулов в яичниках с возрастом.

220. Полезно знать дозу облучения, способную привести к гибели 50 процентов облученных в течение 60 дней (ЛД_{50/60}). Величина ЛД₅₀ отражает концепцию, нашедшую широкое применение в экспериментальной работе, однако есть сомнения относительно ее применимости к радиобиологии человека, за исключением случаев применения в статистических целях. Серии эпидемиологических исследований, которые можно использовать для оценки этой дозы у человека, включают пациентов, облучавшихся в радиотерапевтических целях, лиц, пострадавших при авариях, а также население Японии, облучившееся при взрывах атомных бомб в ходе второй мировой войны. Уровень ЛД_{50/60} отражает наступление дисфункции костного мозга. Новейшие исследования, проведенные в Японии (после пересмотра), показали величину ЛД_{50/60} порядка 3 Гр. Считается, что эти данные относятся лишь к весьма специфическим условиям, которые имели место после бомбардировок, и применимы для облученных лиц, получавших лишь минимальную медицинскую помощь или не получавших ее вообще.

221. Для оценки ЛД_{50/60} использовались некоторые группы пациентов, подвергавшихся радиотерапии. Ни один из 20 детей и подростков, получивших дозы 3 Гр на все тело в целях лечения саркомы Эвинга, не умер от дисфункции костного мозга. ЛД_{50/60} для групп взрослых, облучавшихся по поводу рассеянного рака, составила 2,9 Гр в одной серии исследований и 3,4 Гр – в другой. Все эти данные указывают на то, что для раковых больных, хотя они и получают поддерживающее лечение, ЛД_{50/60}, вероятно, составляет примерно 3 Гр, тогда как для здоровых людей, получающих после облучения обычное поддерживающее лечение, эта доза может составлять 4–5 Гр.

222. Во время аварии в Чернобыле 43 человека получили дозы, оценка которых составила от 2 до 4 Гр; из этого числа умер один человек. Из группы численностью 21 человек, получивших дозы от 4,2 до 6,3 Гр, умерло семь человек. Из 20 пациентов, получивших дозы в пределах от 6 до 16 Гр, умерло 19 человек. Поскольку многие пострадавшие во время аварии имели осложняющие последствия, такие, как ожоги и повреждение кожного покрова, по этим данным трудно вывести величину ЛД_{50/60}.

223. В результате обзора и обсуждения вышеприведенных данных Комитет пришел к заключению, что единую величину ЛД₅₀ для человека привести невозможно; она может значительно меняться в зависимости от возраста, состояния здоровья облученных индивидуумов и профилактических или терапевтических мер, принимаемых до или после облучения. При планировании мероприятий в чрезвычайных обстоятельствах важно знать, какие значения ЛД₅₀ будут действовать в разных ситуациях. Однако Комитет подчеркивает чисто статистическое значение величины ЛД₅₀ и предупреждает, что эта величина совершенно непригодна для прогнозирования шансов на выживание в каждом индивидуальном случае.

224. Нейтроны примерно в 2–3 раза более эффективны при индукции поражений, чем рентгеновское или гамма-излучение, если речь идет об однократных дозах. Опыт в отношении летальных эффектов после нейтронного облучения человека невелик, за исключением нескольких изолированных случаев аварийного облучения. Нейтронный компонент в дозах, полученный теми, кто пережил атомные бомбардировки, по новейшим данным, значительно ниже, чем это считалось ранее, и поэтому данные по этой группе лиц мало что дают для оценки эффекта нейтронов.

225. Как свидетельствуют общие радиобиологические данные, протрагирование и фракционирование дозы дает меньший эффект, чем та же доза, полученная однократно. Ранние эффекты высоких доз у человека не составляют исключения из этого общего правила. Так, протрагирование или фракционирование дозы несколько смягчает продромальные реакции. Аналогичным образом, низкая мощность дозы или облучение в

виде множества фракций значительно снижает поражение кишечника и костного мозга у всех видов, включая человека. Для оценки изменения дозы или эффекта в результате протрагирования предложены различные количественные формулы; однако они предназначены лишь для самого общего руководства в прогностических целях, поскольку база данных в отношении многих тканей скудна. Более того, существует орган, не подпадающий под это общее правило протрагирования и фракционирования, – яичко – поскольку прогрессия клеток в чувствительные фазы делает этот орган более чувствительным к протрагированным, чем к однократным дозам.

226. В целом, чтобы у человека проявились ранние эффекты, необходимо большое количество внутренних излучателей. Депрессия костного мозга наблюдается уже после больших однократных доз йода-131 и цезия-137. Применение радиоколлоидов золота приводит к слабой лучевой болезни и гематологическим осложнениям, равно как и введение фосфора-32 и серы-35. Сведений о тяжелом поражении кишечника у человека от внутренних излучателей не имеется, а случаи поражения легких отмечались редко. Лечение в случае поступления в организм радиоактивных веществ основывается на локальном извлечении, снижении удержания их в организме, увеличении экскреции или снижении степени перемещения их в организме.

227. Незначительная доля населения может обладать особой чувствительностью к ранним радиационным повреждениям в связи с наследственными генетическими расстройствами, такими, как атаксия телангиэктазия. Люди, страдающие этим заболеванием, более радиочувствительны, чем остальное население. Многие другие генетические расстройства служат фактором предрасположения к повышенным хромосомным или клеточным поражениям, однако количественных оценок степени повышения такой предрасположенности не имеется.

228. Прогноз в лечении облученных пациентов затруднен, если исходить только из оценки дозы. Имеется множество модифицирующих факторов, в том числе другие параллельно протекающие заболевания, протрагирование дозы и качество излучения. Прогнозу могут способствовать тип и длительность продромальных симптомов, включая эритему. Хорошими прогностическими индикаторами являются гематологические признаки, особенно лимфоцитарная формула. Важную роль играют также самые низкие показатели формулы крови (для различных видов кровяных телец) и сроки, когда это имеет место, равно как и продолжительность аплазии костного мозга после высоких доз. Появление и устойчивое наличие незрелых клеток в крови обычно является благоприятным признаком восстановления костного мозга. Значимый прогноз должен основываться на широком круге данных различного типа и должен постоянно обновляться.

229. Представленная Советским Союзом информация о пострадавших при аварии в Чернобыле, содержащаяся в добавлении к приложению G, является исчерпывающей и ценной. Природа наблюдавшихся повреждений не была неожиданной, однако достигнутая степень точности в анализе времени их проявления, их масштабов и степени длительности значительно расширяет наше понимание биологических эффектов высоких доз облучения человека. Определенно оправдан и дальнейший анализ полученных данных, особенно в отношении следующих вопросов: точная оценка доз, полученных пострадавшими; корреляция различных симптомов и признаков с причинными факторами (облучение носило сложный характер, включало как внутреннее, так и внешнее облучение, а также тепловое поражение). Эти новые исследования значительно увеличат объем нынешних знаний и в дальнейшем позволят объединить данные, полученные в Чернобыле, с другими результатами, которые обсуждаются в приложении G. Комитет считает, что он в долгу перед всеми авторами добавления за их готовность поделиться своим опытом, и желает особо отметить их профессиональное мастерство и человеческое сострадание, проявленные в связи со столь трагическими обстоятельствами.

4. Эффекты пренатального облучения

230. В своем последнем исследовании биологических эффектов пренатального облучения, которое содержится в докладе за 1986 год, Комитет привел обзор новейших данных в области развития организма, особенно головного мозга эмбрионов и плодов млекопитающих; облучения экспериментальных животных до рождения; исследования детей, подвергшихся пренатальному облучению при атомных бомбардировках Хиросимы и Нагасаки. Этот обзор в максимально возможной степени был сконцентрирован на опыте, накопленном в связи с облучением человека, и включал эффекты, которые до этого не рассматривались в таком свете, например канцерогенные эффекты внутриутробного облучения.

231. Данные за 1986 год показали, что отставание в умственном развитии представляет собой наиболее вероятный тип аномалий развития у человеческого вида. В основе своей анализ этого явления как функции времени показал, что вероятность умственной отсталости в результате облучения в основном равна нулю, если облучение имело место до истечения 8-й недели беременности, достигает максимума при облучении в период между 8-й и 15-й неделями и вновь снижается в период от 16-й до 25-й недели. По истечении 25 недель и при дозах ниже 1 Гр никаких случаев тяжелой умственной отсталости не отмечалось. Если исходить из того, что индуцирование эффекта происходит в линейной зависимости от дозы (как на это, по-видимому, указывают имеющиеся данные), то вероятность индукции на единицу поглощенной дозы в период максимальной чувствительности оценена величиной 0,4 на 1 Гр, а для периода 16–25-й недель беременности – величиной 0,1 на Гр.

232. Исходя из всего комплекса имеющихся данных, Комитет попытался дать количественные оценки риска для радиационных эффектов, в отношении которых имеется позитивная информация, или по крайней мере дать разумно обоснованное допущение относительно вероятности индукции эффектов. Помимо умственной отсталости, эти эффекты включают смертность, а также индукцию врожденных уродств, лейкоза и других злокачественных заболеваний. С учетом ряда ограничивающих допущений Комитет оценил, что доза 0,01 Гр на продукт зачатия, получаемая на протяжении всего срока беременности, добавила бы вероятность неблагоприятных эффектов для здоровья у живорожденных детей в размере менее 0,002. Обычный риск таких же болезней среди живорожденных детей, не подвергавшихся облучению, составляет примерно 0,06. Поступающая новая информация дает основания полагать, что, возможно, потребуется существенно пересмотреть в сторону понижения оценки риска, содержащиеся в двух последних пунктах (особенно для низких доз). Комитет намерен провести такой пересмотр в ближайшем будущем.

С. Вычисление коэффициентов риска

233. В ситуациях, которые описываются в приложениях, индивидуумы подвергаются облучению различных видов, в результате чего поглощаемые телом дозы зачастую не являются единообразными. Для того чтобы получить суммарный показатель доз со стороны различных групп источников, например естественных источников, необходимо использовать количественный показатель, который учитывал бы эти различные виды излучения и схемы распределения дозы в теле. Комитетом используется показатель эффективной эквивалентной дозы. Этот показатель выводится путем взвешивания поглощенной дозы в той или иной ткани тела сначала относительно коэффициента, отражающего эффективность данного вида излучения, а затем коэффициента, отражающего различные степени биологической чувствительности этих тканей. Сумма этих взвешенных поглощенных доз и является эффективной эквивалентной дозой.

234. Значения этих двух серий взвешивающих коэффициентов рекомендованы МКРЗ. В ряде случаев Комитет рассматривал возможность использования других систем расчета, однако пока он считает, что показатель эффективной эквивалентной дозы по-прежнему соответствует его целям. Применение эффективной эквивалентной дозы ограничивается оценками долгосрочных эффектов, таких, как раковые заболевания. Для оценки ранних эффектов облучения высокими дозами подходящим показателем является поглощенная доза.

235. Применяя термин "риск" (в количественном плане), Комитет имеет в виду вероятность вредных последствий, например смерти в результате облучения, и часто выражает эту вероятность в процентах. Количество предполагаемых последствий в пределах популяции выражается либо в случаях на тысячу населения, либо в случаях на миллион населения. Термин "коэффициент риска" используется в общем смысле для обозначения риска на единицу дозы (риск на 1 Гр в случае поглощенной дозы или риск на 1 Зв в случае эффективной эквивалентной дозы). Поскольку зависимость между дозой и риском не всегда пропорциональна, иногда необходимо также конкретно указывать ту дозу или дозовый диапазон, которым соответствует коэффициент.

236. Помимо оценки риска, Комитет также давал оценку предполагаемого количества лет, на которое сокращается общая продолжительность жизни подвергшегося облучению населения в результате смертельных случаев, индуцированных излучением. Этот показатель, а также предполагаемое количество смертельных случаев среди населения, подвергшегося облучению, иногда называются показателями коллективного ущерба.

1. Наследственный вред

237. Коэффициенты генетического риска могут быть определены как относящиеся либо к гонадной эквивалентной дозе, либо к эффективной эквивалентной дозе. Необходимо также решить, следует ли относить их и к генетически значимым дозам (т.е. к дозам, получаемым индивидуумами детородного возраста), или же к средним дозам для всего населения. Последнее может представляться абсурдным с научной точки зрения, однако иногда известны лишь средние дозы или общие коллективные дозы; кроме того, коэффициенты риска в отношении рака часто относятся к средним дозам.

238. В своем докладе за 1986 год и в приложении Е "Генетические опасности" к настоящему докладу Комитет дает обзор нынешнего уровня знаний о наследственных эффектах ионизирующего излучения. Суммарное изложение этих обзоров см. в главе II раздела D.1. Имеется несколько общепринятых способов представления научной информации. Один из них заключается в оценке ситуации в состоянии равновесия, когда стабильная популяция облучалась на протяжении жизни многих поколений определенной единичной дозой на гонады каждого индивидуума в детородном возрасте, будь то мужчина или женщина, с последующей оценкой той доли потомства, которая, как можно ожидать, испытает на себе наследственный вред. Другой способ заключается в оценке пораженного количества потомков в популяции, в которой поколение родителей – мужчин или женщин, или же тех и других вместе – получило данную коллективную дозу.

239. В обоих случаях эта информация может быть преобразована в коэффициент риска, который выражал бы либо вероятность того, что у какого-либо индивидуума в детородном возрасте родится ребенок, которого коснется наследственный вред, либо указывал бы на ожидаемое число пораженных детей в расчете на единицу индивидуальной или коллективной дозы на гонады лиц детородного возраста. Этот коэффициент риска может также быть расширен, с тем чтобы он включал показатель вреда во всех будущих поколениях.

240. Такие коэффициенты риска могут применяться непосредственно к оценкам генетически значимой дозы, например к тем, которые были сделаны в отношении различных медицинских диагностических рентгеновских процедур. Однако они не могут применяться к эффективным эквивалентным дозам, если не имело место равномерное облучение всего тела. В других случаях применимый коэффициент генетического риска может иметь любую величину от нуля (если гонады не облучались) до четырехкратного коэффициента риска, применимого к гонадной дозе (в случае если облучались только гонады), поскольку взвешивающий коэффициент для гонад составляет 1/4.

241. Если эффективная эквивалентная доза оценивается не для лиц детородного возраста, а для среднего индивидуума во всей популяции, то соответствующий коэффициент риска составит лишь F/L коэффициента генетического риска, который относился бы к лицам детородного возраста, где F – средний детородный возраст, а L – ожидаемая продолжительность жизни при рождении. Если F составляет примерно 30 лет, а L – примерно 75 лет, то коэффициент генетического риска для среднего индивидуума составит 40 процентов от коэффициента для индивидуума в детородном возрасте.

242. В таблице 8 суммированы проведенные Комитетом новые оценки коэффициентов генетического риска. Обширная информация о природе генетического риска содержалась в докладе за 1986 год.

243. Сопоставление с предыдущими оценками (см. таблицу 1) показывает, что нынешние оценки ниже тех, которые были сделаны в 1977 году. Оценки 1977 года использовались в период, когда МКРЗ дала определение эффективной эквивалентной дозы. Коэффициенты риска относятся только к ожидаемому числу тяжелых наследственных болезней, которое может быть выражено количественно. Что это значит с точки зрения ущерба – вопрос, изучение которого будет продолжено Комитетом.

Таблица 8. Пересмотренные коэффициенты генетического риска
(в процентах на зиверт) а/

	Для гонадной эквивалентной дозы		Для эффективной эквивалентной дозы	
	Детородная часть популяции	Вся популяция	Детородная часть популяции	Вся популяция
Первые два поколения	0,3	0,1	0-1,2	0-0,5
Все поколения	1,2	0,5	0-5,0	0-2,0

а/ Риск в результате заболеваний сложной этиологии не учитывался.

2. Рак

244. Коэффициенты риска в отношении рака могут быть выражены либо как а) индивидуальная вероятность заболевания в будущем радиогенным раком данной локализации (или смерти) на единицу дозы или б) коллективный ущерб. Последний может быть выражен либо как ожидаемое число смертных случаев от рака (или заболеваний) в облученной популяции, либо как число потерянных человеко-лет жизни вследствие смертных случаев от рака на единицу коллективной дозы.

245. Новые оценки, содержащиеся в приложении F "Радиационный канцерогенез у человека", относятся к риску рака от дозы 1 Гр при высокой мощности доз и сниженной ЛПЭ. Однако следует отметить, что в Хиросиме и Нагасаки впервые наблюдались статистически значимые показатели избыточной смерти от рака некоторых разновидностей и в некоторых конкретных местах при дозах 0,2–0,5 Гр. Теперь имеются не только достаточно достоверные оценки риска в отношении девяти видов рака, но и произведена независимая оценка общего риска от всех прочих видов рака. Оценки риска включают прогноз на будущее в связи с наблюдением за облученными популяциями в Хиросиме и Нагасаки. В новых оценках учтена пересмотренная дозиметрия. Все это привело к тому, что оценки риска при этих дозах и мощностях теперь выше, чем прежде.

а) Индивидуальный риск данной локализации

246. В таблице 9 подытожены результаты проведенного в Хиросиме и Нагасаки исследования индивидуальной вероятности смерти от индуцированного излучением рака данной локализации. Приведены две группы цифр: одна получена в результате прогнозирования, основанного на аддитивной модели (абсолютного) риска, другая – на мультипликативной модели (относительного) риска.

Таблица 9. Вероятность избыточной смерти от рака в течение жизни в расчете на душу населения после облучения поглощенной дозой на орган 1 Гр при высокой дозовой мощности и низкой ЛПЭ
(в процентах)

(Основано на обследовании населения Японии с применением
средневозрастного коэффициента риска)

	Мультипликативная модель оценки риска	Аддитивная модель оценки риска
Красный костный мозг	0,97	0,93
Все виды рака, за исключением лейкоза	6,1	3,6
Мочевого пузыря	0,39	0,23
Молочной железы а/	0,6	0,43
Толстой кишки	0,79	0,29
Легких	1,5	0,59
Множественная миелома	0,22	0,09
Яичников а/	0,31	0,26
Пищевода	0,34	0,16
Желудка	1,3	0,86
Остальные	1,1	1,08
Итого	7,1	4,5

а/ Показатель делится на 2 для расчета общего риска и риска для других органов.

247. Общий коэффициент риска смертности по раку для среднего индивидуума (усредненный также по лицам обоего пола) составляет 4,5 процента на Гр при вычислении по аддитивной модели риска и 7,1 процента на Гр при вычислении на мультипликативной модели. Эти показатели можно сопоставить с оценкой 1977 года в отношении высоких доз, которая составила примерно 2,5 процента на зиверт на основе аддитивной модели (см. таблицу 3). Другие суммированные оценки коэффициентов риска для других возрастных групп и условий приведены в таблице 10.

248. Проблемы вычисления коэффициентов риска, применимых также к низким дозам, остались прежними. Эти коэффициенты риска можно получить, лишь основываясь на наблюдаемых значениях для средних и высоких доз. В 1977 году, когда общий коэффициент риска раковых заболеваний при высоких дозах был оценен величиной примерно 2,5 процента на зиверт, Комитет указал на некоторые неопределенности; сюда относился и тот факт, что эта оценка являлась завышенной, так как считалось, что риск на единицу дозы при низких дозах ниже величин, оцененных для высоких доз.

249. При подготовке настоящего доклада по-прежнему встречались проблемы, связанные с расчетом коэффициентов риска при низких дозах и низкой дозовой мощности. Комитет пришел к выводу, что существует потребность ввести понижающий коэффициент для пересмотра показателей риска при низких дозах и дозовой мощности, указанных в таблице 9. Комитет указал, что такой коэффициент, несомненно, очень широко варьируется в зависимости от конкретных видов опухолей и колебания дозовой мощности. Однако подходящими пределами, применимыми к показателю общего риска при низких дозах и дозовой мощности, являются 2-10. Комитет намерен подробно изучить данный вопрос в ближайшем будущем.

250. В настоящем докладе Комитет не представил оценок риска в отношении излучения при высокой ЛПЭ в целом (за исключением облучения радоном шахтеров урановых рудников). В случае внешнего излучения при низких дозах и повышенной ЛПЭ необходимо умножать показатель риска для излучения при пониженной ЛПЭ на соответствующий качественный коэффициент. Что касается внешнего излучения при низких дозах и повышенной ЛПЭ, то в этом случае применение понижающего коэффициента для дозы или дозовой мощности считается необязательным.

б) Коллективный ущерб

251. Результат умножения коэффициентов риска, характеризующих индивидуальный риск, на соответствующую коллективную дозу даст число ожидаемых смертных случаев от рака в облученной популяции, если коллективная доза составляет не менее 100 чел-Зв. Если коллективная доза составляет лишь несколько чел-Зв, то наиболее вероятным результатом будет нулевое количество смертных случаев.

252. Комитет оценил также количество потерянных человеко-лет жизни на единицу коллективной дозы вследствие смертности от индуцированного облучением рака. Результаты для высоких доз излучения при высокой дозовой мощности и низкой ЛПЭ приведены в таблице 10. Общее число потерь составляет примерно 1 человеко-год на 1 чел-Зв при расчете по любой из двух прогностических моделей.

Таблица 10. Оценка предполагаемого риска в течение жизни на 1000 чел. (500 мужчин и 500 женщин), подвергшихся облучению 1 Гр высокой дозой мощности и низкой ЛПЭ

(Основано на обследовании населения Японии)

	Модель оценки риска	Избыточные летальные случаи	Потерянные годы жизни
Все население	Аддитивная	30-50	700-1 200
	Мультипликативная	70-100	950-1 400
Работающая часть (18-65 лет)	Аддитивная	40	880
	Мультипликативная	80	970
Взрослое население (старше 25 лет)	Аддитивная	30	510
	Мультипликативная	60	650

D. Сопоставление доз облучения

1. Сопоставления, проводившиеся НКДАР ООН в прошлом

253. Вопрос о том, как лучше показать дозы облучения из различных источников, всегда представлял собой проблему для Комитета. В своем докладе за 1958 год Комитет оценил среднюю дозу на костный мозг в расчете на душу населения, а также генетически значимую дозу для населения всего мира из различных источников и в результате различных видов деятельности человека. В тот период Комитет даже вычислил ожидаемое количество случаев лейкоза и наследственного вреда от естественного радиационного фона и ядерных взрывов.

254. В докладе за 1962 год Комитет оценил дозы облучения из естественных источников в расчете на душу населения, приходящиеся на гонады, поверхностные костные слои и красный костный мозг. Он рассчитал также ожидаемые дозы на эти органы для населения всего мира. Была оценена генетически значимая доза из источников медицинского и профессионального облучения. Однако в этом докладе Комитет считал менее надежными коэффициенты риска, использованные в докладе за 1958 год, и не видел возможности произвести какие-либо оценки ущерба. Вместо этого он указал, что оценки доз и ожидаемых доз могут использоваться для сравнительных оценок риска и выразил этот сравнительный риск по отношению к риску от естественного радиационного фона, который был приравнен к единице. Сравнение было сделано в отношении медицинского облучения и облучения от ядерных взрывов по таким показателям, как лейкоз, костные опухоли и наследственные эффекты. На той же основе Комитет заявил, что ущерб от различных источников может быть выражен в единицах облучения из источников естественного радиационного фона, которые дали бы ту же дозу на душу населения или ту же ожидаемую дозу.

255. В своих докладах за 1964, 1969 и 1972 годы Комитет продолжил практику выражения риска от ядерных взрывов в единицах соответствующего периода облучения от естественного радиационного фона. До 1972 года Комитет рассчитывал дозы или ожидаемые дозы на душу населения для населения всего мира. При известной численности населения это подразумевает оценку суммарной коллективной дозы из каждого источника. В своем докладе за 1977 год Комитет впервые прямо представил оценки коллективной дозы для различных источников излучения и видов человеческой деятельности. Однако параллельно было проведено сравнение на основе эквивалентных периодов облучения из источников естественного радиационного фона. В свой доклад за 1982 год Комитет включил больше информации о различиях в индивидуальных дозах и оценку ожидаемых коллективных доз. В разделе "Резюме и выводы" эти оценки были переведены в эквивалентные периоды облучения от природного радиационного фона.

256. Из этого краткого обзора можно увидеть, что сравнение с дозами естественного фона всегда играло важную роль в представлении Комитетом своих оценок. В 1958 году, когда Комитет оценил число пораженных индивидуумов, он провел сопоставление с естественной заболеваемостью раком и наследственными болезнями. С тех пор дозы на душу населения и коллективные дозы сопоставлялись с аналогичными дозами из естественных источников.

2. Цель сопоставлений

257. Сопоставления обычно преследуют какую-либо цель и могут представляться по-разному в зависимости от этой цели. Сопоставление с дозами из естественных источников излучения или с ущербом от них могут указывать на относительное радиологическое значение других искусственных источников излучений, но дадут мало информации об их оправданности или приемлемости. Информация о том, являются ли дозы низкими или высокими по отношению к естественному радиационному фону, может содействовать выявлению в том или ином случае потенциала для значимых эпидемиологических исследований. Сопоставление доз облучения или рисков при проведении альтернативных процедур для достижения одной и той же цели, например для получения медицинской диагностической информации, может указать на предпочтительную процедуру с точки зрения радиационной защиты, но не выявит других рисков или недостатков. Поскольку в отношении сопоставлений Комитет не преследует никакой непосредственной цели, он намерен представить данные в такой форме, чтобы излагаемая информация могла быть использована в нескольких различных целях.

3. Сопоставление коллективных доз

258. Если коэффициенты риска известны, а пропорциональная зависимость между дозой и реакцией на нее может быть получена предположительно, то радиационный ущерб, например ожидаемое число смертных случаев от рака, может быть вычислен на основании информации об ожидаемой коллективной дозе. Однако для относительных сравнений достаточно сопоставить коллективные дозы или дозы на душу населения (что в конечном итоге даст один и тот же результат) от различных источников, исключив тем самым неопределенность, связанную с оценкой коэффициентов риска. При проведении таких сопоставлений в качестве опорной величины может быть взята годовая коллективная доза от естественных источников излучения; вклад в дозу от других источников может быть выражен в эквивалентных периодах облучения от природного радиационного фона, что и делал Комитет начиная с 1962 года.

259. При сопоставлении коллективных доз от различных источников важно, чтобы оно делалось на соответствующей основе. Этого просто достичь, если сопоставляются источники излучения и виды человеческой деятельности, связанные с достижением одной и той же цели, например цели производства электроэнергии или получения медицинской диагностической информации. Если же дело обстоит иначе, то необходимо тщательно изыскивать общую основу для проведения сопоставлений. Например, сопоставление коллективных доз, получаемых произвольно отобранными популяциями в произвольные периоды времени, будет иметь сомнительное значение. Однако, хотя сопоставления коллективных доз от совершенно разных видов человеческой деятельности часто не дают значимых результатов, в некоторых случаях это может указать на приоритеты с точки зрения обеспокоенности вопросами радиологических последствий.

4. Сопоставление индивидуальных доз

260. Сопоставление доз облучения, получаемых индивидуумом из различных источников, может вполне закономерно охватывать также их сопоставление с вкладом дозы от естественных источников. Любая дополнительная доза, являющаяся малой по сравнению с дозой фонового излучения, не окажет значительного воздействия на индивидуума, т.е. не приведет к заметному изменению общей ситуации в отношении облучения данного индивидуума. Индивидуум может по-прежнему стремиться избежать таких малых доз, хотя и знает, что они не могут составить сколь-нибудь значительную проблему. Такое положение не обязательно означает, что источник малых доз является приемлемым, это зависит от общего уровня вреда, который он способен причинить, а также от отношения общества к проблеме такого вреда.

261. Сопоставление доз на душу населения при неравномерном распределении дозы в популяции может ввести в заблуждение, поскольку может получиться так, что ни один индивидуум не получит среднюю дозу, рассчитанную на душу населения, а получит более высокую или более низкую дозу. В этом случае может оказаться более целесообразным сопоставление типичных, а также экстремальных доз.

5. Резюме сопоставления доз

262. В таблице 11 подытожены различные оценки доз облучения. Как и в предыдущих докладах, помимо ожидаемых коллективных доз приводятся эквивалентные периоды облучения от природного радиационного фона. При сопоставлении этих данных с данными из предыдущих докладов следует не упускать из виду, что оценка годовой дозы от природного радиационного фона увеличилась с менее, чем 100 мрад (что соответствует примерно 1 мЗв) в докладе за 1977 год до 2,4 мЗв в настоящем докладе. Это увеличение объясняется двумя причинами: а) переходом от перечисления доз на различные органы к использованию эффективной эквивалентной дозы и б) признанием большого вклада в дозу, который вносят дочерние продукты радона.

263. В силу необходимости в таблице 11 пришлось привести в значительной степени сжатую информацию. Следует отметить, что почти половину вклада в естественный фон вносит облучение легких дочерними продуктами радона. Профессиональному облучению подвергаются лица, работающие в области медицины, а также в области ядерной энергетики и промышленной радиографии. Облучение в процессе производства ядерной энергии происходит в результате выброса радионуклидов при добыче урана и удалении отходов, а также функционирования реакторов, производящих электроэнергию. Около трети нынешних случаев облучения в процессе производства ядерной энергии связано с выбросами радона из рудных отвалов шахт, и еще треть – с выбросами углерода-14 в результате функционирования реакторов, главным образом реакторов, использующих тяжелую воду.

264. Из всей ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы (не считая углерода-14) в результате всех атмосферных испытательных ядерных взрывов 1,5 млн. чел-Зв приходилось на долю радионуклидов с коротким периодом жизни, а 3,5 млн. чел-Зв – на вклады в нынешние индивидуальные дозы на протяжении жизни, главным образом, со стороны стронция-90 и цезия-137. Поскольку авария в Чернобыле привела, главным образом, к увеличению доз в Европе, учитывается показатель ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы, а не глобальной дозы на душу населения.

Таблица 11. Резюме оценок эффективной эквивалентной дозы

Источник или практика	Нынешние годовые индивидуаль- ные дозы (мЗв)		Ожидаемые коллективные дозы	
	На душу (миро- вого населения)	Типичные (по облученным индивидуумам)	Млн. чел-Зв	Эквивалентное количество лет фоновой радиации
В ГОД			В год практики	
Естественный фон	2,4	1,0-5,0	11	1
Медицинское (диагности- ческое) облучение	0,4-1,0	0,1-10,0	2-5	0,2-0,5
Профессиональное облу- чение	0,002	0,5-5,0	0,01	0,001
Производство ядерной энергии	0,0002	0,001-0,1	0,001 (0,03) <u>а/</u>	0,0001 (0,004) <u>а/</u>
ОДНОКРАТНО			На всю практику	
Все испытательные ядерные взрывы вместе взятые	0,01	0,01	5 (26) <u>а/</u>	0,5 (2,4) <u>а/</u>
Ядерные аварии			0,6	

а/ В скобках приведены дополнительные ожидаемые долгосрочные коллективные дозы от радона и углерода-14 в результате производства ядерной энергии и углерода-14 в результате ядерных испытаний.

6. Прямое сопоставление ущерба

265. В настоящем докладе Комитет дал обзор нынешних знаний относительно радиационных рисков и решил привести величины коэффициентов риска также и для низких и высоких доз облучения. Комитет оценил также коллективные дозы, получаемые из различных источников излучения или вследствие различных видов человеческой деятельности. Соблазнительно было бы объединить все оценки и вычислить ожидаемое число раковых и наследственных заболеваний.

266. Приводилось много оценок подобного типа, причем степень их надежности была различной в зависимости от использовавшихся коэффициентов риска, а их авторы преследовали крайне неодинаковые цели. Полученные результаты характеризуются большим разбросом значений в зависимости от общих допущений. Комитет по ряду причин не решает добавить свои собственные оценки ущерба в дополнение к тем, которые уже даны в отношении различных источников излучения.

267. Во-первых, Комитету приходится учитывать свои полномочия: его цель заключается в оценке доз, а не в определении стандартов или норм. Приведенное в главе III раздела D.4 обсуждение четко показало, что даже внешне научная оценка коэффициентов риска связана с допущениями и решениями, которые не являются научными в строгом смысле слова. Даже в физических величинах, используемых Комитетом, отражаются такого рода допущения. Например, определение эффективной эквивалентной дозы включает взвешивающие коэффициенты, величина которых зависит от решений относительно того, каким является наносимый облучением вред. На каждом последующем этапе обработки основной информации, вероятно, потребуются суждения, не носящие научного характера, или же такие суждения будут подразумеваться.

268. Далее, порядок представления основных научных фактов не может не повлиять на производимое ими впечатление. Например, тысячи смертных случаев от рака в результате одной-единственной аварии – это, несомненно, очень много. Но поскольку ожидается, что эти смертные случаи будут происходить в течение длительного периода времени, годовое их количество будет уже ниже. Это означает, что увеличение обычной заболеваемости раком будет весьма небольшим и, как следует ожидать, не будет заметным в статистике здравоохранения. Это указывает на возможность выбора формы представления данных, с тем чтобы внушить различные впечатления.

269. Наконец, еще одна причина заключается в высокой степени неопределенности таких оценок. В главе III раздела C подчеркивалось, что коэффициенты риска раковых заболеваний вследствие низких доз могут быть выведены лишь на основе наблюдений за воздействием высоких доз и что коэффициенты риска в отношении наследственных эффектов не могут быть получены даже из наблюдений, касающихся человека. Хотя Комитет и считает, что его оценки являются наилучшими из всех возможных при нынешнем уровне научных знаний, они должны быть оговорены информацией относительно допущений и неопределенностей. К сожалению, любая оценка конечного числа смертельных случаев от рака очень скоро выпадает из контекста, а сопровождающие ее оговорки забываются.

270. По этим причинам Комитет предпочитает следовать своей прежней практике сопоставления ожидаемых коллективных доз со стороны основных источников излучения, а не оценки ущерба.

Примечания

1/ Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации был создан Генеральной Ассамблеей на ее десятой сессии в 1955 году. Круг ведения Комитета изложен в резолюции 913 (X) от 3 декабря 1955 года. Первоначально в его состав 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. В соответствии с резолюцией 3154 С (XXVIII) Генеральной Ассамблеи от 14 декабря 1973 года членский состав Комитета был в дальнейшем расширен, и в него были дополнительно включены следующие государства: Индонезия, Перу, Польша, Судан и Германии, Федеративная Республика. В соответствии с резолюцией 41/62 В от 3 декабря 1986 года Генеральная Ассамблея довела членство в Комитете до максимума в составе 21 государства и пригласила Китай стать его членом.

2/ Предыдущие доклады НКДАР ООН Генеральной Ассамблее по существу вопроса см. в Официальных отчетах Генеральной Ассамблеи, тринадцатая сессия, Дополнение № 17 (A/3838); там же, семнадцатая сессия, Дополнение № 16 (A/5216); там же, девятнадцатая сессия, Дополнение № 14 (A/5814), там же, двадцать первая

сессия, Дополнение № 14 (A/6314 и Согг.1); там же, двадцать четвертая сессия, Дополнение № 13 (A/7613 и Согг.1); там же, двадцать седьмая сессия, Дополнение № 25 (A/8725 и Согг.1); там же, тридцать вторая сессия, Дополнение № 40 (A/32/40); там же, тридцать седьмая сессия, Дополнение № 45 (A/37/45) и там же, сорок первая сессия, Дополнение № 16 (A/41/16). Эти документы упоминаются в тексте как доклады за 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972, 1977, 1982 и 1986 годы, соответственно. Доклад за 1972 год с научными приложениями был опубликован под названием: "Ионизирующая радиация: уровни и последствия", том I: "Уровни" и том II: "Последствия" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № E.72.IX.17 и 18). Доклад за 1977 год с научными приложениями был опубликован под названием "Источники и действие ионизирующей радиации" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.77.IX.1). Доклад за 1982 год с научными приложениями был опубликован под названием: "Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.82.IX.8). Доклад за 1986 год с научными приложениями был опубликован под названием "Генетические и соматические эффекты ионизирующего излучения" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № E.86.IX.9).

3/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении А "Облучение со стороны естественных источников излучения".

4/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении В "Облучение в результате производства ядерной энергии".

5/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении С "Облучение в результате использования излучения в медицинских целях".

6/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении В "Облучение в результате производства ядерной энергии" и в приложении С "Облучение в результате использования излучения в медицинских целях".

7/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении D "Облучение в результате аварии в Чернобыле".

8/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении Е "Генетический вред".

9/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении F "Радиационный канцерогенез у человека".

10/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении G "Ранние эффекты высоких доз излучения у человека".

ДОБАВЛЕНИЕ I

Члены национальных делегаций, присутствовавшие на тридцать первой-тридцать седьмой сессиях Комитета

АРГЕНТИНА

Д. Бенинсон (представитель), Д. Кансио, А.Х. Гонсалес, Э. Паласиос

АВСТРАЛИЯ

К.Х. Локэн (представитель)

БЕЛЬГИЯ

М. Эррера (представитель), Ж. Мэзэн (представитель), Ж. Атен, П. Лохман, Ф. Х. Собельс, А. Д. Тэйтс

БРАЗИЛИЯ

Э. Пенна Франка (представитель), Л.Р. Кальдас (представитель)

КАНАДА

Э.Г. Летурно (представитель), А.М. Марко (представитель), У.Р. Буш, Г.К. Батлер, Б.К. Лентль, Д.К. Майерс

ЧЕХОСЛОВАКИЯ

М. Кличек (представитель)

КИТАЙ

Вэй Люцин (представитель), Ли Дэпин, У Дэгэн

ЕГИПЕТ

С. Эддин Хашиш (представитель), Х. Роушди (представитель), М. аль-Харадли

ФРАНЦИЯ

А. Жамме (представитель), А. Бувиль, Р. Кулон, М. Бертэн, Б. Дутрийо, Ж. Ляфюма, Ж. Лемэр, Р. Масс, П. Пеллерэн, М.Р. Тубьяна, Ж. Уззан

ГЕРМАНИИ, ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА

А. Кауль (представитель), У. Элинг, В. Якоби, Г. Кригель, Ф.Э. Штиве, К. Штреффер

ИНДИЯ

Н.К. Нотани (представитель), К. Сундарам (представитель)

ИНДОНЕЗИЯ

С. Вирьосимин (представитель), А. Байкуни (представитель), О. Искандар (представитель), М. Ридван (представитель), К. Дж. Сугиарто

ЯПОНИЯ

Т. Куматори (представитель), Х. Мацудайра (представитель), Т. Терасима (представитель), А. Касаи, А. Ямато

МЕКСИКА

Э. Арайко (представитель), Х.Р. Ортис Маганья (представитель)

ПЕРУ

Л.В. Пинильос Аштон (представитель), М. Захариа (представитель)

ПОЛЬША

З. Яворовский (представитель), Я. Линецкий (представитель), З. Шот

СУДАН

А. Хидаяталла (представитель), А.А. Юсиф

ШВЕЦИЯ

Б. Линделл (представитель), Г. Бентссон, К. Эдварсон, Л.-Э. Хольм, К.Г. Люнинг, С. Маттссон, Я.О. Шнис, Я. Валентин, Г. Валиндер

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

Л.А. Ильин (представитель), А. Гуськова (представитель), К.М. Бархударов, В. Деним, Е. Голубкин, Д.Ф. Хохлова, А.А. Моисеев, Ю.И. Москалев, В. Павлинов, О. Павловский, О. Пятак, В.В. Редькин, В.А. Шевченко

СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ

Дж. Данстер (представитель), Р.Г. Кларк, С.К. Дарби, Дж. Денекамп, Дж.К. Эдвардс, К.Э. Хэллен, П.С. Харпер, А. Сирли

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

Ф.А. Меттлер (представитель), Р.Д. Мосели (представитель), Р.Э. Андерсон, Л.Р. Анспо, Р. Бэйкер, К. Эдингтон, Дж.Х. Карли, Р.К. Рикс, Г.Г. Росси, У.Л. Расселл, П.Б. Селби, У.К. Синклер, Дж.У. Тиссен, Э.У. Вебстер, Г.О. Вайкофф

ДОБАВЛЕНИЕ II

Список научных работников и консультантов, сотрудничавших с Комитетом в ходе подготовки настоящего доклада

Л. Анспо
Б.Г. Беннетт
А. Бувилль
Р.Г. Кларк
Ф. Фанани
Л. Фриттелли
А. Хейген
Дж. Хендри
Б. Линделл
Ф.А. Меттлер
М. Моррей
О. Павловский
У.Й. Шульц
Дж. Силини
Ф.Д. Соуби
К. Санкарарайянан
Г.А.М. Узбб
К. Вейсс

ДОБАВЛЕНИЕ III

Перечень докладов, полученных Комитетом

1. Ниже приводится перечень докладов, полученных Комитетом от правительств 19 апреля 1986 года-17 июня 1988 года.

2. Доклады, полученные Комитетом до 19 апреля 1986 года, перечисляются в предыдущих докладах Комитета Генеральной Ассамблее.

Документ	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
1732	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Программа наблюдения радиоактивного фона окружающей среды: результаты по Соединенному Королевству за 1984 год, 21 апреля 1986 года
1733	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 72, март 1985 года, 16 июля 1986 года
1734	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 73, июнь 1985 года, 16 июля 1986 года
1735	Соединенные Штаты Америки	Лаборатория экологических измерений: сборник научно-исследовательских проектов ЛЭИ, связанных с аварией на Чернобыльской АЭС, 10 декабря 1986 года
1736	Соединенные Штаты Америки	Лаборатория экологических измерений: программа отбора проб в верхних слоях атмосферы: радиоактивность стратосферы, 10 апреля 1987 года
1737	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 74, сентябрь 1985 года, 10 апреля 1987 года
1738	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 75, декабрь 1985 года, 10 апреля 1987 года
1739	Союз Советских Социалистических Республик	Оценка доз облучения населения в результате рентгенологических обследований в СССР (1970-1980 годы), 13 апреля 1987 года
1740	Союз Советских Социалистических Республик	Генетические эффекты распада радионуклидов, 13 апреля 1987 года
1741	Союз Советских Социалистических Республик	Острые радиационные эффекты у человека, 13 апреля 1987 года
1742	Союз Советских Социалистических Республик	Образование и выброс углерода-14 на АЭС с реакторами RBMK, 13 апреля 1987 года

Документ	Страна	Название
1743	Союз Советских Социалистических Республик	Содержание осадочного цезия-137 в организме жителей Москвы, 1980-1983 годы, 13 апреля 1987 года
1744	Союз Советских Социалистических Республик	Дозы облучения жителей Крайнего Севера, 13 апреля 1987 года
1745	Союз Советских Социалистических Республик	Профессиональное облучение работников области радиологии, 13 апреля 1987 года
1746	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 76, март 1986 года, 2 июля 1987 года
1747	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 77, июнь 1986 года, 2 июля 1987 года
1748	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 78, октябрь 1987 года, 18 декабря 1987 года
1749	Япония	Данные обследования радиоактивности в Японии, № 79, октябрь 1987 года, 18 декабря 1987 года
1750	Союз Советских Социалистических Республик	Предложения об установлении возможных ограничений для поглощения трансуранных радионуклидов через желудочно-кишечный тракт, 31 мая 1988 года
1751	Союз Советских Социалистических Республик	Оценка нестохастических эффектов у человека в результате низких доз внутреннего облучения, 31 мая 1988 года
1752	Союз Советских Социалистических Республик	Образование трития на АЭС с графитовыми реакторами на легкой воде и его выброс в окружающую среду, 31 мая 1988 года
1753	Союз Советских Социалистических Республик	Лечение в случае облучения ураном, 31 мая 1988 года
1754	Союз Советских Социалистических Республик	Динамика эффективной эквивалентной дозы в результате поступления в организм стронция-90 и цезия-137, 31 мая 1988 года
1755	Союз Советских Социалистических Республик	Особенности динамики природных радионуклидов в строительных материалах, применяемых в Советском Союзе, 31 мая 1988 года

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم. استعلم عنها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经售处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
