

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

ГЕНЕРАЛЬНАЯ АССАМБЛЕЯ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОТЧЕТЫ • ТРИДЦАТЬ СЕДЬМАЯ СЕССИЯ

ДОПОЛНЕНИЕ № 45 (A/37/45)



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

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

ГЕНЕРАЛЬНАЯ АССАМБЛЕЯ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОТЧЕТЫ • ТРИДЦАТЬ СЕДЬМАЯ СЕССИЯ

ДОПОЛНЕНИЕ № 45 (A/37/45)



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Нью-Йорк • 1982

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.

Подлинный текст на английском языке
9 августа 1982 года

СОДЕРЖАНИЕ

	<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
I. ВВЕДЕНИЕ	1 - 10	1
II. РЕЗЮМЕ ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ	11 - 62	4
A. ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ И ДОЗ РАДИАЦИИ	12 - 39	4
1. Естественные источники радиации	15 - 19	5
2. Искусственные источники радиации	20 - 39	6
B. НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В РАДИОБИОЛОГИИ	40 - 62	13
1. Генетические последствия облучения	43 - 48	13
2. Соматические последствия радиации	49 - 62	15
III. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ ДОКЛАДА	63 - 235	19
A. ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ	64 - 70	19
B. УРОВНИ И ДОЗЫ РАДИАЦИИ	71 - 169	21
1. Модели оценок дозы облучения	71 - 77	21
2. Облучение от естественных источников радиации, включая технологически измененные источники, и от потребительских товаров, испускающих радиацию	78 - 116	24
3. Облучение, вызываемое ядерными взрывами	117 - 123	38
4. Облучение в результате производства электроэнергии с помощью ядерных установок	124 - 138	41
5. Профессиональное облучение	139 - 145	47
6. Облучение, связанное с медициной	146 - 156	50
7. Резюме и выводы	157 - 169	53

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

	<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
С. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ	170 - 235	57
1. Генетическое действие радиации	170 - 188	57
2. Нестохастическое действие облучения на нормальные ткани	189 - 206	64
3. Укорочение продолжительности жизни под действием радиации	207 - 221	70
4. Биологическое действие радиации в совокупности с другими агентами	222 - 232	74
5. Резюме и выводы	233 - 235	77

ДОБАВЛЕНИЯ

I. Список членов национальных делегаций	79
II. Список научных сотрудников и консультантов, оказавших Комитету помощь в подготовке настоящего доклада	81
III. Список полученных Комитетом докладов	82

I. ВВЕДЕНИЕ

1. С момента своего учреждения в 1955 году Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКАР) 1/ готовил годовые доклады Генеральной Ассамблее и время от времени представлял более всеобъемлющие доклады с приложениями, содержащими подробную научную информацию. Настоящий доклад является восьмым из серии таких всеобъемлющих докладов 2/. Он состоит из резюме и основного текста с описанием выводов, сделанных в ходе работы Комитета, а также двенадцати научных приложений, в которых представлен довольно подробный обзор процедур и научной информации, на которой строятся эти выводы.

1/ Научный комитет был учрежден Генеральной Ассамблеей на ее десятой сессии. Круг ведения Комитета излагается в резолюции 913 (X). Первоначально в состав Комитета входили следующие государства-члены: Австралия, Аргентина, Бельгия, Бразилия, Египет, Индия, Канада, Мексика, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Соединенные Штаты Америки, Союз Советских Социалистических Республик, Франция, Чехословакия, Швеция и Япония. В соответствии с резолюцией 3154 С (XXVIII) состав Комитета был впоследствии расширен; в него стали входить следующие государства: Индонезия, Перу, Польша, Судан и Федеративная Республика Германии.

2/ Предыдущие всеобъемлющие доклады, представленные Научным комитетом Генеральной Ассамблее, содержатся в следующих документах: Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, тринадцатая сессия, Дополнение № 17 (A/38/38); там же, семнадцатая сессия, Дополнение № 16 (A/52/16); там же, девятнадцатая сессия, Дополнение № 14 (A/58/14); там же, двадцать первая сессия, Дополнение № 14 (A/63/14 и Corr.1); там же, двадцать четвертая сессия, Дополнение № 13 (A/76/13 и Corr.1); там же, двадцать вторая сессия, Дополнение № 25 (A/87/25 и Corr.1); там же, тридцать вторая сессия, Дополнение № 40 (A/34/40). В данном тексте эти документы будут упоминаться как доклады соответственно за 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972 и 1977 годы. Доклад за 1972 год с добавлениями и научными приложениями был опубликован также в качестве следующих документов: Ионизирующая радиация: уровни и последствия, том I: Уровни (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № E.72.IX.17) и том II: Последствия (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № E.72.IX.18). Доклад за 1977 год с добавлениями и научными приложениями опубликован в качестве документа: Источники и воздействие ионизирующей радиации (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № E.77.IX.1).

2. Хотя Комитет попытался дать определенный систематический обзор вопросов, находящихся в его ведении, однако не все источники информации о случаях облучения и последствий облучения были включены в данный доклад. С учетом предыдущей работы настоящий доклад посвящен именно тем вопросам, которые, по-видимому, нуждались в рассмотрении в связи с развитием соответствующей области научных знаний. Таким образом, некоторые приложения, содержащиеся в докладе 1977 года, были просто обновлены; другие были в значительной степени переработаны с учетом многолетнего опыта развития науки; некоторые материалы рассматриваются в основном впервые.

3. В соответствии с практикой предыдущих лет Генеральной Ассамблее представляется только резюме и основной текст доклада. Полный текст доклада с научными приложениями публикуется одновременно в качестве отдельного издания ^{3/} для его широкого распространения, как и предыдущие доклады НКАР, в научном мире в качестве авторитетных источников объективной информации и оценки. Комитет желает обратить внимание Генеральной Ассамблеи на тот факт, что основной текст доклада отделен от научных приложений только в целях удобства пользования. Важное значение имеют документальные факты, представленные в приложениях в качестве подтверждения выводов Комитета.

4. Подготовка данного доклада проходила в период между двадцать седьмой и тридцать первой сессиями НКАР. На двадцать седьмой сессии Председателем, заместителем Председателя и Докладчиком являлись соответственно г-н М. Клибек (Чехословакия), г-н Ф.Э. Штиве (Федеративная Республика Германии) и г-н К. Сундарам (Индия). На двадцать восьмой и двадцать девятой сессиях аналогичные функции исполняли г-н Ф.Э. Штиве (Федеративная Республика Германии), г-н Э. Яворовски (Польша) и г-н Д. Бенинсон (Аргентина). И, наконец, на тридцатой и тридцать первой сессиях функции Председателя, заместителя Председателя и Докладчика выполняли соответственно г-н Э. Яворовски (Польша), г-н Д. Бенинсон (Аргентина) и г-н Т. Куматори (Япония). Все эти сессии проводились в Вене.

5. Работа Комитета проводилась в рамках заседаний специалистов-ученых, которые в качестве официальных представителей или научных консультантов национальных делегаций рассматривали, обсуждали и изменяли рабочие документы, подготовленные Секретариатом по просьбе Комитета. Фамилии тех специалистов, которые участвовали в работе одной или более сессий во время подготовки данного доклада, перечислены в Добавлении I.

6. В работе Комитету помогала небольшая группа научных сотрудников и консультанты-эксперты, назначенные Генеральным секретарем. Утверждая настоящий доклад, Комитет берет на себя полную ответственность за его содержание и желает выразить признательность тем ученым, которые оказали помощь в подготовке предварительного

^{3/} Издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R. 82.IX.8.

обзора и анализа данных. Фамилии этих ученых и консультантов представлены в Добавлении II. Комитет выражает им огромную признательность за их помощь и технические консультации.

7. Информация, полученная в период с 23 апреля 1977 года по 26 марта 1982 года секретариатом Комитета от государств-членов Организации Объединенных Наций, членов специализированных учреждений и Международного агентства по атомной энергии, а также и от самих учреждений, представлена в Добавлении III. Информация, полученная до этого периода, представлена в предыдущих докладах Генеральной Ассамблеи. Все эти данные были получены Комитетом официальным путем и были дополнены и объяснены с учетом того огромного объема информации, который был опубликован в открытой научной литературе. В нескольких случаях были использованы также неопубликованные материалы отдельных ученых или информация, полученная от отдельных лиц или организаций в ответ на конкретные просьбы Комитета. Этим источникам выражается признательность за представленные материалы.

8. В отчетный период в работе сессии Комитета принимали участие представители Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Международной комиссии по защите от радиоактивного излучения (МКЗРИ) и Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕИ). Их вклад в работу по подготовке настоящего доклада заслуживает высокой оценки.

9. В соответствии со своим мандатом Комитет разработал планы по продолжению наблюдения за уровнями радиации, облучению которой население земного шара подвергается в настоящее время или может подвергнуться в будущем, а также последствия и риск, связанные с таким облучением. Комитет предлагает внимательно следить за развитием тех областей, которые потребуют особого внимания в связи с их научной ценностью или практическим значением. Комитет считает, что такие исследования обеспечат также значительный вклад в деятельность, осуществляемую Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде, с которой Комитет намеревается поддерживать тесные рабочие отношения.

10. В последующих разделах Комитет дает резюме основных заключений, представленных в настоящем докладе с учетом предыдущих всеобъемлющих докладов, и подробно анализирует далее результаты исследований, которые были проведены в конкретных физических и биологических областях.

II. РЕЗЮМЕ ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ

11. НАСТОЯЩИЙ ДОКЛАД БЫЛ СКОМПАНОВАН ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЧТО С НИМ МОЖНО ЗНАКОМИТЬСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЙ ИЛИ ИНОЙ СТЕПЕНИ ПОДРОБНОСТИ СВЕДЕНИИ И СЛОЖНОСТИ. В НАСТОЯЩЕМ ДОКЛАДЕ ПРЕДСТАВЛЕНО РЕЗЮМЕ ВАЖНЕЙШИХ ВЫВОДОВ, СДЕЛАННЫХ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ШИРОКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ, ОСОБЕННО С УЧЕТОМ ПРЕДЫДУЩИХ ДОКЛАДОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ГЕНЕРАЛЬНОЙ АССАМБЛЕЕ. ЦЕЛЬ НАСТОЯЩЕГО ДОКЛАДА СОСТОИТ В ТОМ, ЧТОБЫ УДЕЛИТЬ ПЕРВООЧЕРЕДНОЕ ВНИМАНИЕ ОСНОВНЫМ ТЕНДЕНЦИЯМ, КОТОРЫЕ ВЫЯВИЛИСЬ НА ПРОТЯЖЕНИИ РЯДА ЛЕТ В ВИДЕ ОБЩИХ ВСЕОБЪЕМЛЮЩИХ ОЦЕНОК.

А. ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ И ДОЗ РАДИАЦИИ

12. В данном докладе, как и в предыдущих докладах, Комитет подготовил систематический анализ источников ионизирующей радиации, представляющих опасность для человека, а именно: естественных источников, ядерных взрывов, производства электроэнергии с помощью ядерных установок, использование источников радиации в медицине, промышленности и науке, а также потребительских товаров, испускающих радиацию. Рассматривались как виды профессионального облучения, т.е. облучения, полученного в ходе трудового процесса, так и непрофессионального облучения. Для каждого источника ионизирующей радиации результаты представлены с точки зрения индивидуальных доз, которые с точки зрения индивидуумов свидетельствуют об относительном значении данного вида трудовой деятельности, места жительства или особые привычки. С другой стороны, использовались также коллективные дозы. Поскольку коллективные дозы являются суммой индивидуальных доз, полученных от данного источника, они являются показателем последствий облучения от этого источника для здоровья в целом. Использование коллективных доз позволяет сопоставлять последствия облучения, полученного от самых разнообразных источников или в результате деятельности, связанной с ионизирующей радиацией.

13. В целях определения оценок доз радиации Комитет с самого начала своей деятельности утвердил разработанное им основное предположение, которое до сих пор находит применение. Эта гипотеза построена на том, что между дозами и возможностью проявления последствий облучения (раковые или генетические заболевания) для относительно небольших по объему и мощности доз, которые в целом рассматриваются в настоящем докладе, существует прямо пропорциональная связь. Эта гипотеза разработана применительно к большим группам населения, включающим представителей обоих полов и различных возрастов, а не в отношении к отдельному индивидууму. Этой гипотезе не противоречит большой объем экспериментальных и эпидемиологических данных. Есть основания полагать, что она учитывает риск, связанный с облучением небольшими по уровню и мощности дозами, представляющими интерес для Комитета; более того, она может фактически перекрывать этот риск.

14. Настоящий доклад отличается от предыдущих докладов в одном важном аспекте. Вместо подсчета поглощенных доз в отношении лишь ограниченного числа важных тканей (например, гонады, легкие и костный мозг) в настоящее время Комитет суммирует дозы, полученные всеми органами и тканями в одной условной дозе, получившей название "эффективная

эквивалентная доза" (см. пункты 66-69), которая, по мнению Комитета, точнее характеризует полный риск, связанный с облучением населения. В результате нынешняя оценка относительного значения некоторых радиоактивных веществ в ряде случаев изменилась по сравнению с предыдущими докладами Комитета.

1. Естественные источники радиации

I5. Двумя основными компонентами среднегодовых доз облучения, получаемых человечеством, являются естественные источники радиации, которые включают внешние источники, а именно космические лучи и радиоактивные вещества в почве и строительных материалах, и внутренние источники, а именно вдыхаемые и поглощаемые системой пищеварения радиоактивные вещества, которые встречаются естественным образом в воздухе и в продуктах питания. В настоящее время общепризнано, что максимальное облучение происходит через органы дыхания, далее следует облучение внешними источниками и через систему пищеварения. Человек получает большую часть эффективной эквивалентной дозы облучения в результате вдыхания радона - радиоактивного благородного газа, который нередко накапливается в помещениях в довольно больших концентрациях.

I6. Отличительной особенностью естественного облучения является то, что этому облучению подвергается все население земного шара и что темпы этого облучения были и продолжают оставаться относительно постоянными в течение довольно долгого промежутка времени. В связи с этим им можно воспользоваться в качестве базового уровня для сопоставления с искусственными источниками ионизирующей радиации.

I7. Доза облучения от естественных источников радиации, полученная индивидуумом, зависит от ряда условий, включая место проживания, вид жилого помещения и высоту над уровнем моря. Однако для большей части населения земного шара диапазон индивидуальных доз облучения от естественных источников радиации считается довольно небольшим, ибо его величина, возможно, колеблется в пределах от 50 до 100 процентов среднего значения.

I8. И все-таки при рассмотрении отдельного компонента дозы облучения от естественных источников радиации, как правило, обнаруживается, что некоторые индивидуумы получают дозы радиации выше среднего уровня. Это происходит в тех случаях, когда население проживает в тех районах, в которых почвы и горные породы содержат высокую концентрацию естественных радиоактивных веществ, когда население проживает в зданиях, накапливающих высокую концентрацию радона, когда население проживает высоко над уровнем моря и когда население потребляет в пищу продукты, содержащие особенно повышенную концентрацию радиоактивных веществ.

I9. В своих докладах за 1958, 1962, 1966, 1972 и 1977 годы Комитет уже рассматривал облучение, полученное от естественных источников радиации. Благодаря возросшему числу измерений, оценка доз облучения становится все более точной, особенно в отношении облучения внешними источниками радиации. В настоящем докладе выражение дозы облучения через эффективную эквивалентную дозу обращает внимание на серьезность облучения через органы дыхания; в настоящее время подсчитано, что в среднем половина эффективной эквивалентной дозы облучения от естественных источников радиации вызывается присутствием радона в жилых помещениях.

2. Искусственные источники радиации

20. Облучение от естественных источников радиации почти не меняется из года в год и действует на все население земного шара приблизительно одинаково. Однако с течением времени искусственные источники радиации могут существенно изменяться и полученное в результате облучение может существенно меняться в зависимости от той или иной группы населения.

а) Медицинское облучение

21. В настоящее время медицинское облучение занимает первое место среди искусственных источников радиации, облучению которых подвергается человек. Радиация используется в медицине для постановки диагноза (например, рентгеновские лучи или медицинские обследования с помощью изотопов) и для лечения заболеваний, главным образом раковых. Дозы, получаемые пациентами, широко варьируются от очень небольших, как это имеет место во многих случаях диагностики, до очень больших, как это имеет место в случаях клинической радиотерапии. В связи с тем, что медицинское облучение, как правило, затрагивает облучение ограниченных участков тела, в прошлом этот вид облучения с трудом поддавался сравнению с другими видами облучения. Использование эффективной эквивалентной дозы в данном докладе предназначено для достижения частичного решения этой проблемы.

22. Ежегодные индивидуальные дозы варьируются от 0 в тех случаях, когда пациент не получает диагностического или терапевтического облучения, до получаемых пациентами в объеме лечения радиотерапией доз, в несколько десятков тысяч раз превышающих среднегодовую дозу облучения от естественных источников радиации. В этом случае оценка средних доз не имеет большого значения, хотя подсчет коллективных доз облучения может дать определенное представление о масштабах облучения от медицинских источников радиации. В промышленно развитых странах коллективная эффективная эквивалентная доза облучения от рентгеновских лучей и в результате врачебной диагностики с помощью изотопов может достигать порядка 50 процентов годовой коллективной дозы облучения от естественных источников радиации. Комитет не проводил подсчеты облучения, получаемого пациентами в ходе терапевтического лечения. Дело в том, что этот компонент нуждается в оценке другими методами, поскольку он касается, как правило, лиц более старшего возраста, для которых вероятность проявления последствий, вызванных длительным или скрытым облучением, мала в результате более ограниченной продолжительности жизни этой группы населения.

23. В настоящее время данные из развивающихся стран только начинают поступать отчасти в результате их сотрудничества с Всемирной организацией здравоохранения. Эти данные показывают, что частотность медицинских обследований в 10 раз ниже аналогичного показателя в промышленно развитых странах. Следовательно, коллективная эффективная эквивалентная доза облучения, получаемого населением земного шара в медицинских целях за год, может составить приблизительно одну пятую часть коллективной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой за год от естественных источников радиации. Хотя индивидуальные дозы, получаемые медицинскими работниками в связи с применением радиации в

медицинских целях, могут быть значительными, суммарная профессиональная доза облучения как компонент коллективной дозы имеет незначительную величину по сравнению с дозой облучения пациентов в связи с относительно небольшой численностью рассматриваемых медицинских работников.

24. Комитет уже представлял данные о медицинском облучении в своих докладах, изданных в 1958, 1962, 1972 и 1977 годах. Тем не менее, в связи с ограниченностью имеющейся информации и наличием переменных факторов, связанных с оценкой доз, дать оценку тенденциям в отношении получения коллективной дозы облучения за несколько лет довольно нелегко. В промышленно развитых странах число медицинских обследований на протяжении ряда лет продолжало возрастать; с другой стороны, постоянное совершенствование оборудования, происходившее в течение этого периода, безусловно, привело к уменьшению дозы в расчете на одно обследование. Эти две тенденции, возможно, в некоторой степени выровнялись. В целях проведения сопоставления в данном докладе Комитет условно округлил постоянную коллективную дозу облучения, получаемую за год в результате медицинского обследования.

в) Ядерные взрывы

25. Искусственные радиоактивные вещества, выброшенные в окружающую среду в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере, явились причиной широкомасштабного заражения окружающей среды. Большая часть этих веществ первоначально попала в верхние слои атмосферы, откуда она постепенно перемещалась в нижние слои атмосферы и оседала на поверхности земли в виде осадка. Радиоизотопы, содержащиеся в радиоактивных осадках, вызывают облучение через органы дыхания в тех случаях, когда они попадают в околосемные слои атмосферы, или путем внешнего облучения и через органы пищеварения в тех случаях, когда они оседают на растения или в почву.

26. Ядерные взрывы проводятся с 1945 года. Интенсивные испытания ядерного оружия в атмосфере проводились в период с 1954 по 1958 годы и с 1961 по 1962 годы. Начиная с 1964 года проводились новые ядерные взрывы в атмосфере, самый последний из которых был проведен в октябре 1980 года. Проводились и до сих пор проводятся подземные ядерные взрывы, однако они вызывают относительно небольшое заражение окружающей среды. Как и во всех своих предыдущих докладах, Комитет дал оценку облучению, которому подвергается население земного шара в результате проведения испытаний ядерного оружия в атмосфере. Хотя в результате ядерных взрывов выделяется несколько сот радиоизотопов, только некоторые из них могут вызвать существенное облучение организма, поскольку большинство из них имеют небольшой период распада и производятся в очень небольшом количестве. В данном докладе Комитет рассмотрел 21 радиоизотоп, включая иод-131, стронций-90, цезий-137 и углерод-14. Ввиду широкого диапазона периода распада изотопов, мощность доз облучения в результате испытательного ядерного взрыва варьируется в зависимости от времени, прошедшего с момента взрыва. Например, дозы облучения иодом-131 будут получены за несколько недель, стронцием-90 и цезием-137 - в течение нескольких десятилетий, а углеродом-14 - на протяжении нескольких тысячелетий.

27. В любой данный промежуток времени величина доз зависит также от данной местности. Существуют различия в выпадении осадков по широте, в результате дозы облучения, получаемые в южном полушарии, как правило, ниже доз облучения, получаемых в северном полушарии приблизительно в четыре раза. Кроме того, местное выпадение осадков (в районе испытания) временами вызывает более высокие дозы индивидуального облучения, получаемые небольшими группами населения.

28. Ежегодные коллективные дозы облучения, выраженные в процентах к среднему уровню облучения естественным фоном, служат иллюстрацией, характеризующей годовую тенденцию в отношении облучения, вызванного ядерными испытаниями. Диаграмма 1а дает представление о долгосрочной тенденции, выведенной на основе данных, содержащихся в настоящем докладе и в предыдущих докладах Комитета. В начале 60-х годов наблюдалось резкое увеличение ежегодных коллективных доз, пиковое значение которых приходится на 1963 год, в объеме приблизительно 7 процентов от среднего уровня облучения естественными источниками радиации. В 1966 году ежегодная доза сократилась приблизительно до 2 процентов среднегодового уровня облучения от естественных источников, и в настоящее время она составляет менее 1 процента. Если предположить, что дальнейших взрывов в атмосфере производиться не будет, то будущие ежегодные дозы еще больше сократятся и затем полностью исчезнут.

29. На диаграмме 1а показано, что среднегодовые коллективные дозы облучения, получаемые населением земного шара в любой данный момент времени, обусловлены суммарным количеством взрывов, которые были проведены в указанный период времени. Вызывает также интерес изучение динамики получения коллективных доз в период до полного распада радиоизотопов, выделяемых ежегодно в ходе испытаний. Этот анализ представлен на диаграмме 1б, которая показывает, что произведенные в 1961-1962 годах взрывы в огромной степени способствовали увеличению облучения радиоактивными осадками, выпавшими в результате произведенных испытаний ядерного оружия.

30. На диаграмме 1б коллективные дозы выражены через отношение количества дней облучения населения земли к уровню естественной радиации, которая может вызвать аналогичные последствия. Если бы дозы, полученные населением земли, можно было получать на постоянном уровне, эквивалентном уровню среднего облучения от естественных источников радиации, а не на низком и неравномерном уровне в течение нескольких тысячелетий, то общая коллективная доза равнялась бы дозе облучения, получаемого в настоящее время от естественных источников облучения приблизительно за 4 года. Таким образом, можно сказать, что облучение от радиоактивных осадков эквивалентно средней дозе естественного фонового облучения, полученной приблизительно за 4 года. Коллективные дозы, полученные на настоящий момент, можно определить по диаграмме 1а: они составляют приблизительно 0,4 года облучения от естественных источников радиации. Оставшаяся часть, т.е. приблизительно 3,3 года, естественного облучения соответствует дозам облучения от радиоактивных осадков, которые человечеству еще предстоит получать до полного распада выброшенных в окружающую среду радиоизотопов. 50 процентов облучения радиоактивными осадками будет происходить небольшими дозами в ближайшие 2 - 3 тысячи лет.

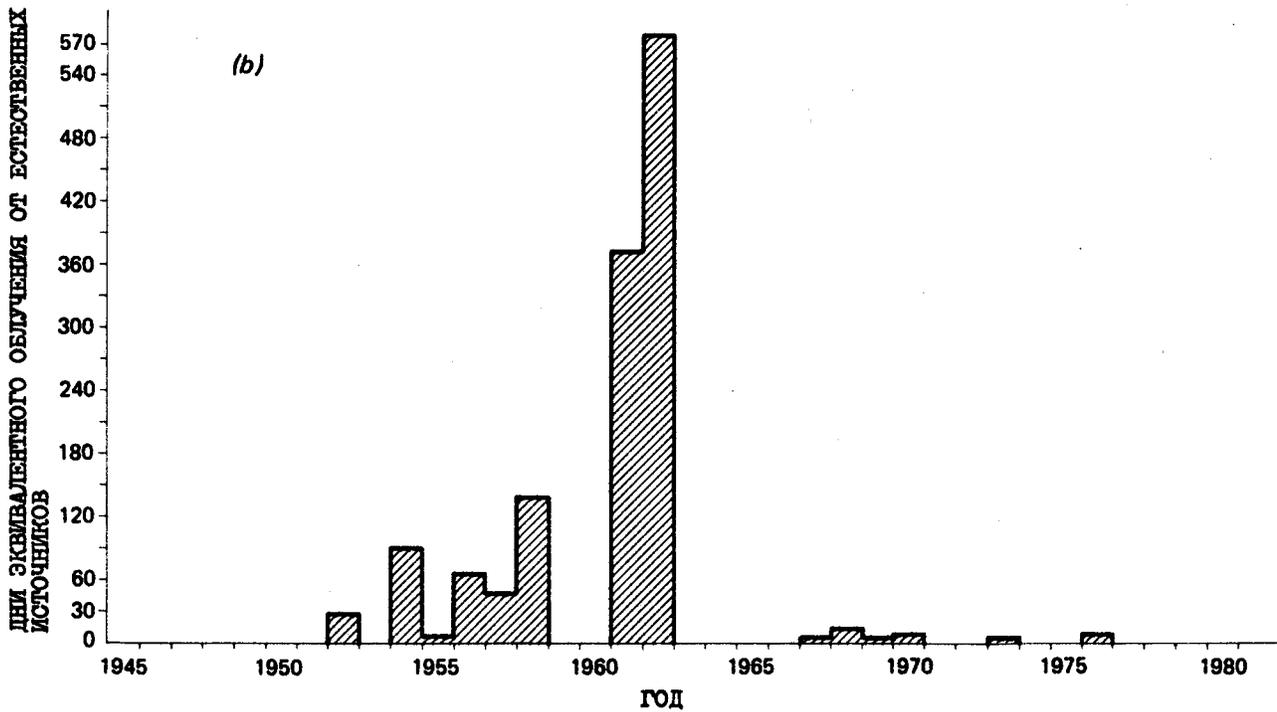
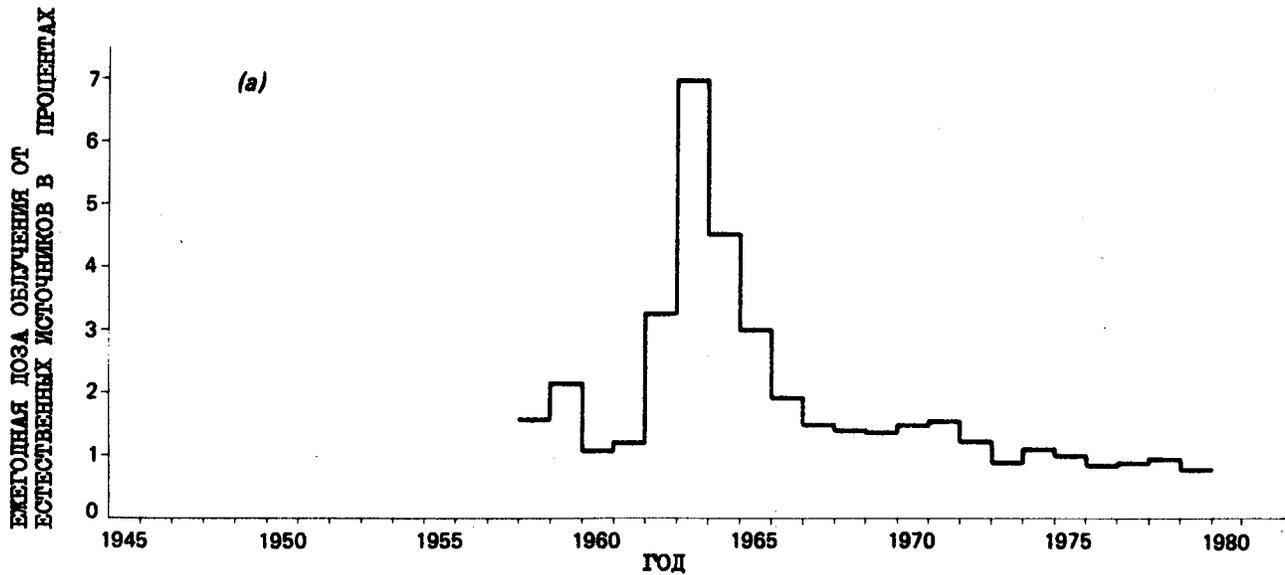


Диаграмма I. Изменение во времени коллективных доз облучения от ядерных взрывов в атмосфере: а) среднегодовые коллективные дозы, полученные в 1958-1979 годах; б) предполагаемые коллективные дозы, которые будут получены в будущем от взрывов, произведенных в 1945-1980 годах.

с) Производство электроэнергии с помощью ядерных установок

31. Со времени выхода в свет предыдущего доклада Комитета количество действующих ядерных реакторов увеличилось и в 1979 году составило 235 реакторов общей установленной мощности порядка 120 ГВт. Производство электроэнергии с помощью ядерных реакторов предполагает наличие топливного цикла, который включает множество этапов. Сюда входят добыча и переработка урановых руд; их превращение в различные химические консистенции; обогащение изотопного содержания урана-235 (в ряде случаев); изготовление топливных элементов; получение электроэнергии в ядерных реакторах; вторичная обработка использованного топлива (в ряде случаев); транспортировка материалов между различными установками и, наконец, удаление радиоактивных отходов. Для каждого основного этапа, входящего в состав ядерного топливного цикла, Комитет определил дозы облучения персонала, а также дозы, получаемые населением.

32. Касаясь последних доз, следует помнить, что в любую данную единицу времени получаемая индивидуумами доза облучения от такого источника радиации, как атомная электростанция находится в прямой зависимости от расстояния между ними и источником. Кроме того, для любого данного места проживания индивидуума доза радиации, испускаемой установкой, будет меняться во времени, включая время, прошедшее после прекращения производственного процесса, из-за остаточных радиоизотопов, находящихся в окружающей среде. Вот почему трудно подсчитать значение индивидуальных доз радиации, которую может испускать этот источник, хотя общую дозу можно определить путем сложения всех индивидуальных доз с учетом места и времени и умножения на число всех индивидуумов на настоящий момент и в будущем. Однако найти показатели индивидуальных доз можно различными путями.

33. Например, можно было бы определить такой показатель для индивидуума (настоящую или будущую), который получил (или получит) максимальную дозу в результате действия данного источника радиации. Однако фактические индивидуальные дозы будут колебаться в пределах от нуля до максимального значения. В свою очередь за любой данный год можно было бы определить среднегодовую дозу для всего населения земного шара, другими словами, ежегодную дозу в расчете на душу населения. Ни один из вышеупомянутых расчетов не даст полной картины в отношении истинного положения вещей, хотя, в особых случаях, каждый из них может быть использован в той или иной мере.

34. Вопреки всем вышеупомянутым концептуальным трудностям, приблизительный подсчет индивидуальных доз, полученных индивидуумами, представляет определенный интерес. Так, например, максимальные индивидуальные дозы позволят судить о верхней границе риска, который может представлять данный источник радиации. При анализе динамики среднегодовой дозы, полученной населением земли в данную единицу времени, эта доза может стать полезным ориентиром. Однако снова следует подчеркнуть, что такие величины являются средними показателями и их нельзя принимать за основу при определении фактического облучения любого данного индивидуума.

35. Почти весь радиоактивный материал, связанный с атомной промышленностью, остается в реакторе или в специальных хранилищах; однако на многих этапах производственного цикла происходят выбросы небольшого количества радиоизотопов в окружающую среду. Большая часть выброшенных радиоизотопов действует только в данной местности, поскольку они быстро распадаются. Однако некоторые радиоизотопы, которые имеют более длительный период распада или которые рассеиваются в окружающей среде с большей скоростью, разносятся по всему земному шару и увеличивают дозу облучения всего мирового населения в настоящий момент, а в ряде случаев и на долгое время вперед.

36. По самым приблизительным подсчетам, годовые коллективные эффективные эквивалентные дозы, получаемые населением от этих источников за короткий промежуток времени, увеличились с 0,0001 процента от соответствующих доз облучения, от естественных источников радиации в 1960 году до приблизительно 0,01 процента в 1980 году. Это увеличение дозы непосредственно связано с расширением производства электроэнергии с помощью ядерных установок. Ежегодные дозы индивидуумов в значительной степени колеблются по сравнению со средней величиной, причем максимальные дозы обычно получает группа населения, проживающая в районе ядерных установок. Согласно сообщениям, дозы, полученные вблизи ядерных реакторов, как правило, составляют от доли процента до нескольких процентов среднегодовой эффективной эквивалентной дозы облучения от естественных источников радиации. Кроме того, персонал ядерных промышленных установок получает ежегодные эффективные эквивалентные дозы, которые, как правило, эквивалентны соответствующей средней величине дозы облучения от естественных источников радиации.

37. Долгосрочный компонент радиационного воздействия обуславливается выбросом радиоизотопов с длительным периодом распада во время эксплуатации установки и в результате сброса сточных вод обогатительной фабрики или высокоактивных отходов. Была предпринята попытка приблизительно определить облучение от долгосрочного компонента, соответствующего периоду 500 лет после выброса радиоактивных частиц. В расчете на один год производства электроэнергии на атомной электростанции на уровне 1980 года, воздействие долгосрочного компонента на население может составить приблизительно 2 часа облучения от естественной фоновой радиации, в то время как воздействие облучения от короткосрочного компонента составляет, по подсчетам, приблизительно 30 минут облучения от естественных источников радиации. Большая часть эффективной эквивалентной дозы облучения от долгосрочного компонента обуславливается выбросом отходов обогатительной фабрики, которые могут испускать радон в течение исключительно длительных периодов времени. Скорость испускания радона может зависеть от совершенствования практики управления, которая может привести к уменьшению этого воздействия на несколько порядков. В самом отдаленном будущем (несколько тысяч миллионов лет) на выброс изотопов отходами обогатительной фабрики или отходами производства будут влиять геологические или климатические изменения, которые очень трудно предсказать. Расчеты доз облучения от этих выбросов зависят также от условий быта в этом далеком будущем, которые могут очень существенно отличаться от нынешних условий.

38. Исходя из того предположения, что производство электроэнергии с помощью ядерной реакции деления может продолжаться существующими темпами в течение 500 лет, Комитет определяет, что максимальная ежегодная коллективная эффективная эквивалентная доза может составить от доли процента до 1 процента соответствующей дозы, получаемой ежегодно от естественных источников радиации. Следует подчеркнуть, что долгосрочное предположение основано на существующих технологиях и поэтому может изменяться. Вполне вероятно, что изменение существующей технологии, например, внедрение реакторов на быстрых нейтронах или других современных видов технологии топливного цикла или исключение случаев выброса в окружающую среду изотопов с длительным периодом распада могут еще больше уменьшить долгосрочные последствия будущих технологических процессов.

39. Гораздо легче оценить степень профессионального облучения в рамках дозы, обусловленной процессом производства электроэнергии с помощью ядерной установки, поскольку большая часть персонала подвергается индивидуальному контролю. При нынешнем объеме производства электроэнергии на ядерных установках коллективная эффективная эквивалентная доза, получаемая за год в результате профессионального облучения, составляет приблизительно 0,03 процента соответствующей величины дозы облучения от естественных источников радиации.

В. НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В РАДИОБИОЛОГИИ

40. Биологическое воздействие радиации проявляется в основном через аккумуляцию энергии в клетках организма, получившего облучение. В этом отношении можно рассматривать два вида живых клеток; соматические клетки, продолжительность жизни которых заканчивается с продолжительностью жизни организма; и герминальные клетки, функция которых заключается в том, чтобы передавать генетическую информацию новым индивидуумам. Соматическое воздействие радиации происходит в соматических клетках, и это воздействие должно проявиться, согласно определению, в течение жизни человека, получившего облучение. С другой стороны, наследственные изменения, происходящие в клетках второго вида, проявляются у потомства лиц первого или в некоторых случаях последующих поколений, получивших облучение.

41. Другими словами, радиобиологически значимые последствия облучения нарушают функцию деления соматических клеток по одному из двух возможных направлений: они могут заставить клетку, получившую облучение, остановить деление и, в конечном итоге, погибнуть; либо они могут вызвать в клетке способность осуществлять неконтролируемое деление, что характерно для раковых заболеваний. Как правило, проводится различие между ранними и поздними последствиями облучения, согласно времени проявления таких последствий: от нескольких часов до нескольких недель в первом случае и от нескольких месяцев до нескольких лет, во втором случае.

42. Согласно предыдущей практике Комитет не делал попыток охватить все биологические последствия радиации для животных и организма человека в каком-либо одном докладе, а попытаться выбрать ряд областей в зависимости от объема собранной информации и необходимости обследования всех областей в определенный промежуток времени. Данный доклад был подготовлен с учетом этого генерального направления. В отношении соматических последствий рассматриваются некоторые неканцерогенные последствия облучения, полученного организмом в целом и отдельными тканями. Обновлена информация о генетических последствиях в целях подсчета степени риска и дана оценка этой информации.

1. Генетические последствия облучения

43. На основе последних публикаций в отношении генетических последствий облучения были сделаны важные выводы. Эти выводы укрепили уверенность Комитета в том, что в основном по-прежнему верны сделанные ранее предположения и оценки степени риска. Эти подсчеты были сопоставлены с данными о стихийно возникающих наследственных дефектах, которые в той или иной степени проявляются приблизительно у 10 процентов всех живорожденных детей. Такие физические агенты, как ионизирующая радиация, а также некоторые вредные химические вещества могут вступать во взаимодействие с генетическим материалом герминальных клеток в мужских или женских половых железах, внося изменения в генах — простейшие единицы наследственности (вызывая таким образом генные мутации) — или в структуре и количестве хромосомов, являющихся носителями генов (вызывая, таким образом, хромосомные аберрации). Изменения в генетическом материале могут быть связаны с целым рядом наследственных дефектов, некоторые из которых влекут за собой серьезные клинические последствия.

44. Путем использования случаев генной мутации и хромосомной аберрации как конечных результатов экспериментальных наблюдений были сопоставлены данные о зависимости между дозой и последствиями облучения для целого ряда организмов. Эти сопоставления укрепили предположение о том, что можно ожидать пропорциональной зависимости между спонтанной и наведенной мутацией отдельных генов. Это базовое предположение было применено в косвенной методике подсчета степени риска.

45. Используя эту косвенную методику, Комитет подсчитал в 1977 году, что для населения, постоянно получающего низкие дозы облучения в течение длительного периода времени в количестве 0,01 грея на одно поколение (1 поколение = 30 лет), можно будет ожидать появления 63 новых случаев наследственных заболеваний на 1 млн. потомства первого поколения. Значительная часть наследственных заболеваний, включенных в данные расчеты, касается тех заболеваний, которые возникают в результате проявления многочисленных аномалий в хромосомах. Однако данные, полученные в ходе эксперимента над животными и человеком, указывают на то, что расчетные данные для заболеваний, подпадающих под категорию хромосомных заболеваний, могут быть ниже по сравнению с предыдущими расчетами. Исходя из этого, Комитет подсчитал в настоящем докладе, что для населения, получившего облучение, согласно вышеупомянутым условиям, увеличение случаев генетических заболеваний, вероятно, составит порядка 20 (а не 63) случаев на 1 млн. рождений в первом поколении и приблизительно 150 (а не 185) случаев на 1 млн. рождений оставшихся поколений (или около 2 000 и 15 000 случаев заболеваний, соответственно, в первом и оставшихся поколениях, если население получало облучение в размере 1 грея на одно поколение).

46. Как и в докладе за 1977 год, подсчеты степени риска в отношении наследственных заболеваний были проведены также с использованием непосредственной методики. Величины, выведенные с использованием этих двух различных методов (т.е. косвенной и непосредственной методик), находятся в разумно сопоставимых пределах.

47. Степень риска, связанная с определенным видом радиационного воздействия на хромосомы (взаимные транслокации), была перепроверена на основе результатов, полученных в ходе экспериментов на игрунках, исследований резусов обезьян и человека. Однако в настоящее время не поддаются достоверной оценке расчеты в отношении последствий для организма индивидуумов, обладающих такими транслокациями.

48. Был достигнут дальнейший прогресс в области информации, касающейся взаимосвязи между дозой и реакцией организма, а также по другим аспектам некоторых из наиболее важных видов генетических изменений, которые можно вызвать путем облучения экспериментальных животных. Ввиду отсутствия существенных результатов в изучении наследственных изменений в получившем облучение организме по-прежнему важное значение имеет широкое использование экспериментальных данных для определения степени генетического риска. Были также подготовлены предложения в отношении проведения более подробных анализов генетических изменений с точки зрения нанесения ущерба организму.

2. Соматические последствия радиации

49. Один из выводов настоящего доклада заключается в том, что при небольших дозах и мощности облучения наблюдается проявление последствий, не носящих неоплазийный характер. Этот вывод справедлив для организма в целом и для случаев облучения конкретных органов. Единственным соматическим последствием облучения животных и организма человека при сопоставимых дозах и мощности облучения является развитие раковых заболеваний.

50. В своем докладе за 1977 год Комитет рассмотрел такие факторы, которые в значительной степени затрудняют точные расчеты степени риска развития раковых заболеваний в организме человека. Несмотря на такие трудности, в то время Комитет представил анализ данных, касающихся человеческого организма, и расчеты соответствующей степени риска для использования в качестве необходимой отправной точки при принятии практических решений, особенно в качестве научных критериев для разработки мероприятий по защите от радиации.

51. Ввиду ограниченности объема новых эпидемиологических данных повторять аналогичный анализ за такой короткий промежуток времени было нецелесообразно. Вместо этого Комитет подготовил обзор всей информации, которая может представлять интерес, в области экспериментов на животных и человеческом организме с учетом некоторых базовых моделей развития опухолей. Задача заключалась в том, чтобы дать оценку возможным неточностям, которые могли бы повлиять на такие расчеты, если применяется одна или другая модель облучения. Такое исследование можно было бы рассматривать в качестве косвенного метода подсчетов предела риска при низких дозах и мощности радиации в тех случаях, когда непосредственная информация отсутствует.

52. Однако Комитет постановил отложить публикацию документа, в основу которого было положено данное исследование, когда стало известно, что были предложены пересмотренные дозиметрические оценки для тех, кто пережил атомные бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки, на основе которых Комитет подготовил определенную часть анализов. Были проверены не только суммарные дозы облучения, полученные населением, но также относительные значения нейтронных компонентов и гамма-лучей в используемой в настоящее время дозе Т65Д (приблизительная доза 1965 года). Цель предполагаемых пересмотров заключается в том, чтобы уменьшить нейтронный компонент дозы в обоих городах и существенно увеличить компонент гамма-лучей в Хиросиме с одновременным небольшим уменьшением компонента гамма-лучей в Нагасаки. Кроме того, следует изучить и учесть значительно большее число факторов до того, как надежные пересмотренные расчеты доз облучения, полученного отдельными органами, могут быть определены в отношении уцелевших жителей. Это — технически сложный вопрос, и, по-видимому, маловероятно, что предлагаемые пересмотры можно будет тщательно изучить и согласовать за короткий период времени.

53. Комитет с интересом ожидает результатов дальнейших исследований в этой области, поскольку на их основе должны быть проведены расчеты по определению степени радиационного риска. Вместе с тем Комитет желает подчеркнуть, что он не ожидает существенного влияния этих пересмотров на расчеты степени риска, содержащиеся в докладе Комитета за 1977 год, в соответствии с которыми степень риска, связанная с развитием опасных раковых заболеваний от рентгеновских и гамма-лучей, составляет порядка $2 \cdot 10^{-3}$ для эффективной эквивалентной дозы, соответствующей одному году облучения от естественных фоновых источников в среднем для лиц обоих полов и всех возрастов. Это подкрепляется двумя положениями. Во-первых, пока еще невозможно точно предсказать, какое влияние эти пересмотры, если они будут проведены, окажут на расчеты степени риска, однако маловероятно, что это влияние превысит фактор, равный 2. В самом деле, повышение степени согласования данных, полученных в Хиросиме и Нагасаки, в конечном итоге поможет укрепить доверие к этим расчетам. Во-вторых, информация, полученная от лиц, переживших атомную бомбардировку в обоих городах, является лишь одним из источников данных об облучении человеческого организма, которыми воспользовался Комитет при подготовке своих расчетов.

54. Несмотря на то, что в этой связи ожидается мало изменений в отношении расчетов, касающихся развития раковых заболеваний в организме в результате облучения рентгеновскими и гамма-лучами, однако, если эти пересмотры доз и в самом деле будут обоснованными, прекратит существование важный предполагаемый источник информации в отношении нейтронного облучения всего организма. Расчет доз облучения населения, пережившего атомную бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки, будет тщательно исследоваться, и Комитет продолжит изучение взаимосвязи между дозой и последствиями.

55. Большой объем информации получен о последствиях для человеческого организма облучения отдельных органов и тканей в результате проведения радиотерапевтического курса лечения различных заболеваний, в основном раковых. Необходимо было изучить эти данные и проверить их соответствие информации, полученной на опытных животных в различных целях. В ходе исследования Комитет рассмотрел характер раннего и позднего неслучайного нарушения (см. Приложение J), вызванного облучением здоровых тканей; пороговые дозы, на которых отдельные виды раннего повреждения могут проявиться у различных живых организмов и особенно в организме человека; влияние некоторых значимых переменных факторов облучения (интенсивность облучения, фракционирование лечения) на эти пороговые значения.

56. Выделились две единные концепции. Во-первых, повреждение тканей зависит в основном от потери способности к делению некоторыми основными клетками; во-вторых, структура и функция каждой ткани в значительной степени определяют время и степень проявления ее ответной реакции. Из опыта, накопленного главным образом при работе с крупными и интенсивными дозами радиации, необходимо было выделить применимую к малым дозам и уровням мощности радиации информацию, которая представляет собой практические условия облучения, представляющего наибольший интерес. В заключение необходимо было использовать опыт, накопленный в результате облучения здоровых тканей человеческого организма в ходе радиотерапии.

57. Это исследование было полезным для того огромного объема информации, который был получен в ходе этого исследования в отношении каждого конкретного вида тканей. Вытекающие из такого сложного анализа самые общие выводы заключаются в том, что неслучайные последствия облучения для тканей, как правило, характеризуются нелинейной взаимосвязью между дозой и очевидными пороговыми значениями при малых дозах. Эти условия имеют чрезвычайно важное значение при любом рассмотрении неслучайных повреждений ткани. Хотя пороговое значение может варьироваться по отношению к определенной ткани и конкретным последствиям, механизмы, вызывающие эти последствия, вряд ли способствуют тому, чтобы пороговые значения отменялись при малых дозах и интенсивности радиации. Таким образом, если непороговая реакция имеет отношение или, как предполагается, будет иметь отношение к раковым заболеваниям, то отсюда следует, что это заболевание может быть вызвано при малых дозах, на уровне которых пороговое значение будет препятствовать подсчетам неслучайного повреждения ткани. В этой связи появление раковых заболеваний в целом можно рассматривать как самое серьезное последствие облучения при малых дозах и интенсивности радиации в целях планирования защиты от радиации.

58. В случае частичного облучения организма в принципе легче определить повреждения, полученные целевыми клетками в органах и тканях, чем в случае облучения всего организма, при котором последствия и симптомы не поддаются точному определению и имеют неустойчивый патогенез. Характерным примером является последствие облучения всего организма, широко известное под названием "старение" или "неопределенное сокращение продолжительности жизни", это вовсе неверно. Комитет провел анализ экспериментальных данных, касающихся старения животных и человеческого организма в результате облучения. Поскольку биологические механизмы естественного старения в основном неизвестны, то, по-видимому, отсутствуют достаточные данные для обоснования возможных последствий облучения из-за отсутствия убедительных экспериментальных данных; однако эту возможность нельзя полностью исключать. Поэтому это исследование ограничивалось изучением проблемы сокращения продолжительности жизни в результате облучения.

59. Хотя продолжительность жизни, как правило, принимается в качестве эталона старения, она представляет собой лишь актуарийный аспект этого явления и не учитывает сложную взаимосвязь тех факторов, которые приводят к смерти. Хорошо известно, что в среднем продолжительность жизни животных или людей, получивших облучение, как правило, короче, чем продолжительность жизни соответствующих контрольных пар. Однако выявление причин смерти может оказаться исключительно трудной задачей и в то же время единственно логичным способом установить конкретные причины смерти и в результате определить реальность существования возможных некоторых механизмов. Многочисленная литература свидетельствует о том, что при низких дозах и интенсивности облучения сокращение продолжительности жизни в основном вызвано появлением раковых заболеваний на уровне, превышающем спонтанные заболевания. Если величину сокращения продолжительности жизни, вызванного этими раковыми заболеваниями, вычесть из общего значения факторов, сокращающих продолжительность жизни, то

не остается никаких данных, свидетельствующих о наличии других неконкретных механизмов, вызывающих дополнительное сокращение продолжительности жизни. Этот вывод обстоятельно подтверждается документами и справедлив в отношении организма человека и млекопитающих. Хотя некоторые спорные факты и имеют место, однако они, по мнению Комитета, не настолько значительны, чтобы разрушить этот довод. В этой связи может потребоваться дополнительное исследование.

60. Важно, чтобы расчеты степени риска проводились с учетом широкой перспективы их возможного применения. В этой связи важно установить возможность изменения последствий ионизирующей радиации, повсеместно встречающейся в природе, путем взаимодействия с другими агентами (физическими, химическими или биологическими), которые широко распространены в окружающей среде и поэтому способны оказывать воздействие на большие массы населения и, возможно, внести изменения в расчеты степени риска.

61. Хотя неоднократно указывалось на возможность существования такого взаимодействия, объем информации, подтверждающей этот факт, особенно в отношении последствий, которые имеют особое значение для расчетов степени риска для организма человека (раковые заболевания, наследственные явления, появление дефектов), носит довольно ограниченный и непоследовательный характер. В этой связи Комитет вынужден был подготовить в основном теоретический анализ с примерами, цитируемыми из опубликованных работ. Однако он продемонстрировал, насколько сложным является тщательный научный анализ этой проблемы, поскольку характер взаимодействующих агентов, действующие переменные механизмы, дозы, порядок и программы управления допускают действие целого ряда взаимодействующих факторов.

62. В этом исследовании рассмотрены некоторые агенты, которые играют важную роль в особых, в основном связанных с профессией условиях, среди которых наилучшие документальные данные собраны о взаимодействии между табачным дымом и облучением альфа-частицами, испускаемые дочерними атомами радона, при заболеваниях раком легких у шахтеров, добывающих урановую руду. Хотя этот вывод, безусловно, применим к конкретным трудовым обстоятельствам (им могут воспользоваться местные власти при проведении своей политики), обзор, сделанный Комитетом, указывает на то, что он не умаляет общего достоинства широко используемых расчетов степени риска, связанных с радиацией. Существует необходимость для дальнейшего проведения исследований, связанных с решением этих проблем, с уделением внимания согласованным стратегиям и обоснованным выборам агентов, подлежащих исследованию. В этой связи Комитет предложил несколько рекомендаций.

III. ОСНОВНОМ ТЕКСТ ДОКЛАДА

63. ПОМИМО ВСТУПИТЕЛЬНОГО РАЗДЕЛА, В КОТОРОМ ИЗЛАГАЮТСЯ КОНЦЕПЦИИ И КРИТЕРИИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ КОМИТЕТОМ В СВОИХ ОЦЕНКАХ, В ДАННОЙ ГЛАВЕ ИЗЛАГАЮТСЯ НА СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ОСНОВЕ КОНКРЕТНЫЕ ВЫВОДЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ИССЛЕДОВАНИИ, ПРОВЕДЕННЫХ КОМИТЕТОМ С МОМЕНТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОСЛЕДНЕГО ОСНОВНОГО ДОКЛАДА. КАЖДОМУ РАЗДЕЛУ ПРЕДШЕСТВУЕТ ПУНКТ, В КОТОРОМ ДАЕТСЯ КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА. ДАННЫЕ И АНАЛИЗЫ, НА ОСНОВЕ КОТОРЫХ ДЕЛАЮТСЯ ВЫВОДЫ КОМИТЕТА, ИЗЛАГАЮТСЯ В НАУЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ А-Л.

А. ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

64. При исследовании последствий радиации, как правило, определяют соотношение возможной ответной реакции или масштабов последствий с расчетами степени облучения радиацией. Используемая для этой цели первичная величина представляет собой энергию, поглощенную на единицу массы облучаемого биологического объекта, которая называется поглощенной дозой.

65. Для определения степени риска, возможно, целесообразно взвесить значение различных видов радиации, с тем чтобы установить их различную эффективность на биологические объекты. Взвешенной величиной, определенной МКЗРИ в целях защиты от излучения, является эквивалентная доза, которая выводится путем взвешивания дозы данного вида радиации путем введения качественного коэффициента, рассчитанного на основе экспериментальных наблюдений в определенном диапазоне. Эквивалентная доза H является, таким образом, произведением полученной дозы D и качественного коэффициента Q и других соответствующих коэффициентов, рекомендованных МКЗРИ.

66. В оценке степени риска, которая была недавно проведена и которая используется в данном докладе, важную роль играет определение эффективной эквивалентной дозы. Это вытекает из необходимости учитывать при подготовке оценки степени риска как единообразное, так и частичное облучение организма. С этой целью необходимо, чтобы взвешивание, предполагаемое для облучения данной части тела, было пропорционально степени риска проявления случайных последствий путем сопоставления с последствиями, ожидаемыми от облучения всего организма аналогичной эквивалентной дозой. Так, например, если при облучении какого-либо органа аналогичной эквивалентной дозой последствия составляют в 10 раз меньше, чем ожидаемые последствия от облучения всего организма, то необходимо будет уменьшить придаваемый коэффициент взвешивания в 10 раз при облучении этого органа по сравнению с эквивалентной дозой для всего организма, с тем чтобы сохранить уравнение степени риска при определении суммарной величины облучения различных органов. В целях защиты от радиации МКЗРИ составил перечень коэффициентов взвешивания применительно к различным органам, и эти факторы использовались в ходе подготовки данного доклада.

67. Согласно определению МКЗРИ, эффективная эквивалентная доза была выведена не для расчетов степени риска, а в качестве подходящей дозиметрической величины для сопоставления с административными предельными дозами. Поскольку коэффициенты взвешивания, связанные с облучением

органов, представляют собой усредненные величины для лиц всех возрастов и обоих полов, эффективная эквивалентная доза не вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к определению вероятности появления раковых заболеваний в результате облучения и серьезных наследственных дефектов у облучившихся индивидуумов, однако эта доза будет характеризовать среднюю степень популяционного риска для лиц обоих полов и всех возрастов.

68. Для таких групп населения предполагаемые вредные последствия облучения малыми дозами, как предполагается, прямо пропорциональны коллективной дозе, которая представляет собой произведение средней индивидуальной дозы и числа индивидуумов, подвергнувшихся облучению. Поэтому радиологическое воздействие данного источника можно определить путем суммирования индивидуальных доз в рамках коллективной дозы с учетом места и времени. При соотношении с конкретным трудовым процессом, который, как предполагается, приведет к этому облучению в настоящем и будущем, эта суммарная величина называется предполагаемой коллективной дозой, полученной в ходе этого процесса.

69. В заключение, взвешивание поглощенных доз для определения эквивалентных доз позволяет учитывать степень воздействия различных видов радиации на биологические объекты. При использовании эффективной эквивалентной дозы учитывается относительная степень риска облучения различных органов тела. Коллективная доза позволяет определить предполагаемые вредные последствия у облученной популяции. Предполагаемая доза представляет собой соотношение совокупности предполагаемых в будущем вредных последствий к трудовому процессу, вызывающему это облучение. Несмотря на их кажущуюся сложность, эти концепции содействуют подготовке оценок и проведению взаимных сопоставлений доз и риска, связанного с различными источниками радиации.

70. При рассмотрении радиации, спонтанно излучаемой каким-либо радиоактивным материалом, целесообразно характеризовать такие излучения с точки зрения активности (изотопа). Активность представляет собой число ядерных превращений радиоизотопа в единицу времени. Единица СИ представляет собой величину, обратную секунде (s^{-1}). Особым названием величины, обратной секунде, для понятия активности радиоизотопов является бекерель (Бк). Таким образом,

$$1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Бк (для активности)}$$

Единицей СИ как для поглощенной, так и для эквивалентной доз является джоуль на 1 кг (джоуль. кг $^{-1}$). Эта единица измерения применительно к полученной дозе радиации называется грей (Гр.). Таким образом,

$$1 \text{ джоуль.кг}^{-1} = 1 \text{ Гр (для поглощенной дозы)}$$

Джоуль.кг $^{-1}$ для эквивалентной дозы называется сиверт (Св.). Таким образом,

$$1 \text{ джоуль.кг}^{-1} = 1 \text{ Св (для эквивалентной дозы)}$$

В. УРОВНИ И ДОЗЫ РАДИАЦИИ

1. Модели оценок дозы облучения 4/

71. ДЛЯ ПОДСЧЕТА ДОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ПОПУЛЯЦИЯМИ ОТ ИСТОЧНИКОВ РАДИАЦИИ, НЕОБХОДИМО ИСПОЛЬЗОВАТЬ МОДЕЛИ, УВЯЗЫВАЮЩИЕ ИЗМЕРЕННЫЕ ИЛИ ПОДСЧИТАННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОТОРЫЕ ВЫСВОБОЖДАЮТСЯ ИСТОЧНИКОМ ИЛИ КОТОРЫЕ НАХОДЯТСЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, С РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ДОЗОЙ В ОБЛУЧЕННЫХ ОБЪЕКТАХ. С ЭТОЙ ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ МОДЕЛИ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ. В КАЧЕСТВЕ СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНОК, КОТОРЫЕ БУДУТ ДАНЫ НИЖЕ, В НАСТОЯЩЕМ РАЗДЕЛЕ ПРИВОДИТСЯ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ КОМИТЕТОМ.

72. При рассмотрении информации по облучению человеческого организма радиацией Комитет преследует несколько целей. Одна цель заключается в том, чтобы дать оценку уровням облучения, которому подвергаются индивидуумы, вторая цель состоит в том, чтобы дать оценку уровню облучения групп населения, а третья цель заключается в том, чтобы собрать основные данные. Соотношение между уровнем облучения индивидуума и возможностью последствий для здоровья, которые, как предполагается, могут быть вызваны этим облучением, носит исключительно сложный характер. Нынешний уровень знаний дает основание предположить, что увеличение облучения влечет за собой увеличение степени риска, связанного с вредными последствиями. В основе оценок Комитета лежит основное предположение - прямое или косвенное - о том, что возможность проявления случайных последствий в данной ткани прямо пропорциональна эквивалентной дозе в этой ткани, включая самые малые дозы, и коэффициенту пропорциональности, который неодинаков для различных тканей. Значение этой базовой модели трудно переоценить, ибо при отсутствии прямой зависимости невозможно измерить общую степень риска путем добавления доз или подсчитать коллективные дозы для установления общего уровня вредных последствий для облученных популяций.

73. Когда речь идет о персонале, занятом в трудовом процессе, как правило, можно подсчитать уровень облучения путем осуществления непосредственных измерений. Определяемые дозы такого облучения за данный период времени (например, за один год, трудовой стаж, весь жизненный период) указывают в этой связи на предполагаемый уровень риска. При оценке облучения членов коллектива, рассматриваемой на индивидуальной и коллективной основе, непосредственно измерить уровень облучения невозможно, и оценка должна быть выведена с использованием косвенных методов. Это достигается путем использования моделей, увязывающих измеренные или подсчитанные уровни активности, высвобождаемой источником или присутствующей в окружающей среде, что даст результирующие дозы в индивидуумах, подвергнувшихся облучению. Модели такого рода

4/ Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении А "Модели оценки доз облучения".

разбиваются на две широкие категории: экологические и дозиметрические модели. Экологические модели описывают движение радиоизотопов от точки испускания через различные участки окружающей среды. Дозиметрические модели включают модели, предсказывающие поведение радиоизотопов в организме человека после их попадания в организм, и модели, описывающие расчеты результирующих доз облучения органов тела от радиоизотопов или внешних источников.

74. Если можно измерить мощность поглощенной дозы в воздухе от радиоизотопов, присутствующих в воздухе или выпавших на поверхность в достаточном количестве и за достаточный промежуток времени, то поглощенные дозы в индивидуумах и популяциях от внешнего облучения можно определить без применения экологических переносных моделей для описания характера появления зараженного воздуха или поверхностей в результате излучения источником радиоизотопов. Аналогичным образом, если можно измерить концентрации активности данных радиоизотопов в органах или тканях для достаточного числа людей, поглощенные дозы совокупных радиоизотопов можно определить с использованием только дозиметрических моделей и без применения экологических передаточных моделей. Во многих случаях, особенно в отношении радиоизотопов, встречающихся в природе, и в отношении радиоизотопов, образующихся в результате ядерных взрывов, были выполнены измерения в достаточном количестве в различных местах и в течение довольно длительных периодов времени, что позволило Комитету рассчитать дозы непосредственно на основе этих измерений.

75. Чуть менее непосредственные расчеты внутренних доз могут быть выполнены на основе измерений концентраций активности радиоизотопов в воздухе или в продуктах. В этом случае необходима такая дополнительная информация, как интенсивность поглощения радиоизотопов из воздуха или из соответствующих продуктов, а также соответствующие дозиметрические модели для определения поглощенных доз в органах и тканях после поглощения. Эти менее непосредственные методы расчетов используются для некоторых радиоизотопов — продуктов ядерных взрывов часто для того, чтобы дополнить более ограниченную программу измерений, осуществляемую среди населения. Они используются также при оценке поглощенных доз для критических групп населения, получивших облучение от ограниченного числа радиоизотопов в результате плановых выбросов радиоизотопов ядерными установками. Если слишком сильно полагаться на такие измерения, то трудность заключается в том, что на первоначальном этапе требуется много усилий, чтобы обеспечить такое положение, при котором данный продукт питания, за которым ведется наблюдение, является единственным или основным носителем поглощаемых данных радиоизотопов. Эта задача становится весьма трудоемкой в тех случаях, когда речь идет о разнообразной диете и о большом количестве радиоизотопов. В отношении тех радиоизотопов, которые распределены в окружающей среде неравномерно, устанавливать коллективную дозу нецелесообразно.

76. В ряде случаев проводить прямые измерения непрактично. Это может быть связано с техническими трудностями проведения измерений концентрации активности соответствующего радиоизотопа в соответствующей среде и с трудностью получения проб или в связи с большим количеством радиоизотопов и путей их поглощения организмом. По сравнению с измерениями, которые должны быть проведены после или в ходе получения дозы, прямые измерения могут быть также нецелесообразны из-за необходимости составления прогнозов уровней доз, например, для получения предполагаемых коллективных доз. В этих случаях необходимы модели для выведения и распределения доз на основании данных о количестве радиоизотопов, выпускаемых в окружающую среду, и интенсивности их выпуска. Соотношение между дозами и выпусками радиоизотопов будет зависеть от многих факторов, включая условия выпуска, физико-химическое состояние радиоизотопа, а также от того, происходит ли выпуск в атмосферу, в воду или в почву и от характеристики принимающей их экологической среды. В целом экологические модели, которыми занимается Комитет, представляют собой упрощенные математические формулы действующих процессов переноса. Некоторые из этих процессов хорошо изучены и могут быть довольно точно описаны с помощью математических моделей, которые самым непосредственным образом строятся на результатах измерений. Одним из примеров этого является перенос радиоактивных изотопов и осадков, например стронция-90, через продукты питания. Другие процессы, возможно, только частично известны, и временные шкалы или другие аспекты могут в значительной степени затруднить проверку моделей с помощью измерений, как это имеет место в случае долгосрочной стабильности сорбции актинидов на почве или осадочных частицах.

77. В Приложении А дается обзор моделей, использованных Комитетом, однако подробное рассмотрение всех этих моделей выходит за рамки настоящей главы. Достаточно сказать, что в этом Приложении Комитет рассматривает атмосферные (местные, региональные и глобальные), водные (реки, озера, океаны) и наземные транспортные модели, применяемые во всех других приложениях. Он рассматривает также основы этих моделей и дает подробное описание средств, вызывающих различные способы облучения. Этот материал рассматривается в качестве необходимой справочной информации для оценки доз во всех случаях экологического рассеивания радиоактивных веществ.

2. Облучение от естественных источников радиации, включая технологически измененные источники, и от потребительских товаров, испускающих радиацию

78. Основной вывод, который должен быть сделан на основе работы Комитета в этой области, заключается в том, что основная доля коллективной дозы облучения от естественных источников может быть вызвана распадом продуктов благородного газа - радона. В новых исследованиях проводилось изучение ряда таких источников радона, как строительные материалы, почва, водопроводная вода и природный газ. Изучается также и ряд других параметров (получаемая энергия, строительная технология и особенно вентиляция), которые могут существенно способствовать облучению от этого источника. Этим факторам придается важное значение в связи с техническим прогрессом, который способствует увеличению концентрации радона в помещении. Установлено, что оценка облучения от других естественных источников - усиленная естественная радиация или различные потребительские товары - не отличаются сколь-нибудь значительно от предыдущих оценок.

79. Довольно часто Комитет представлял доклады о естественных источниках облучения человеческого организма, поскольку в настоящее время они представляют собой (и, вероятно, будут представлять и в ближайшем будущем) большую часть коллективной дозы, получаемой населением земного шара. Основными характерными чертами этих источников являются их вездесущий характер и очень низкая и довольно постоянная скорость отдачи на протяжении всего периода жизни человека. Со времени опубликования доклада за 1977 год сведения о естественном облучении, включая облучение от продуктов распада радона, были не намного расширены. В этой связи настоящий доклад представляет собой в основном источник обновленной информации. Вместе с тем получение определенной новой информации в области облучения от естественной радиации в условиях технологически измененной среды и от потребительских товаров позволило улучшить оценку источников и получаемых от них доз облучения.

80. Любая форма жизни на земле неизбежно подвергается облучению от естественных источников. Эти источники бывают двух видов: источники внеземного происхождения (т.е. космические лучи) и земные источники (т.е. радиоактивные вещества, встречающиеся в земной коре). Эти источники облучают человеческий организм извне. Вместе с тем оба источника облучения вызывают внутреннее облучение от встречающихся в природе изотопов, которые попадают в организм при отправлении нормальных физиологических функций. В естественных условиях человек подвергается облучению от всех этих источников.

81. В некоторых условиях, связанных в основном с развитием техники, облучение организма от естественных источников может быть изменено. Перемещение воздуха, использование природного газа для отопления и проживание вблизи электростанций, работающих на твердом топливе, - все это примеры условий, способствующих увеличению облучения от естественных источников радиации. Эти условия не возникли бы, если бы не применялись соответствующие виды технологии (не предназначенные специально для наведения радиации). В настоящем докладе эти виды

облучения характеризуются как "технологически изменяемое и естественное облучение" и рассматриваются отдельно от облучения, полученного от самих естественных источников радиации.

82. Поскольку из предыдущих исследований Комитету известно, что значительная часть дозы, полученной в результате внешнего облучения, обусловлена вдыханием радона, торона и их продуктов распада, в настоящем докладе было подготовлено комплексное исследование этих радиоизотопов. Это исследование посвящено изучению уровней этих изотопов в жилых и рабочих помещениях, масштабов и причин их изменения в природе и условий, влияющих на дозу облучения, выделяемую этими изотопами в процессе облучения организма, особенно легких. Результаты этого исследования будут обсуждаться в отдельной главе (см. пункты I08-III6).

83. Наконец, существуют виды облучения широко используемых потребительских товаров в результате намеренного включения в их состав радиоактивных материалов или из-за появления радиации в ходе их нормального функционирования. Облучение от потребительских товаров отчасти аналогично облучению от технологически измененных источников радиации; однако они рассматриваются совместно с технологически измененными источниками в основном в целях удобства.

а) Естественные источники 5/

84. Касаясь внешнего облучения, Комитет подготовил оценку доз облучения от космических лучей (компоненты как ионизирующей, так и нейтронной радиации) отдельно от доз облучения от земной радиации, вызываемой такими изотопами, как калий-40, уран-238, тор-232 и их продукты распада. Компонент космических лучей, как правило, очень стабилен у поверхности земли, однако изменяется в зависимости от геомагнетической широты и особенно резко возрастает в зависимости от высоты над уровнем моря. Так, например, группы населения, проживающие высоко над уровнем моря, получают значительно более высокие дозы облучения, чем группы населения, проживающие в пониженной местности или над уровнем моря. Эквивалентная доза внешней радиации, получаемой от космических лучей популяциями, проживающими в местности на уровне моря, составляет приблизительно 0,3 миллизиверта в год.

85. Земной компонент естественной радиации зависит от состава почвы и пород, в которых встречаются радиоизотопы в естественном виде. Собранный в достаточном объеме информация в отношении доз облучения, полученных от внешних земных источников радиации, во многих районах земного шара позволяет утверждать, что большая часть населения, проживающая в этих районах, получает в среднем дозу порядка 0,35 миллизиверта в год, причем колебания, как правило, составляют 25 процентов в ту или иную сторону. Эта величина рассчитана исходя из понимания того, что нормы облучения в помещении в среднем на 20 процентов выше, чем вне помещения, а также исходя из предположения, что 80 процентов своего времени человек проводит в помещении. Вполне можно

5/ Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении В "Облучение от естественных источников радиации".

считать, что эта средневзвешенная доза облучения населения может представлять собой "нормальный" уровень земного облучения человечества. Исходя из средних величин, применяемых к большому числу взрослого населения, проживающего в районах с нормальным естественным облучением, можно сделать выводы, что внешняя доза облучения, полученного от источников земной радиации, слегка превышает дозу радиации, полученную от космических лучей.

86. В некоторых районах земного шара внешнее облучение от естественных земных источников радиации может существенно превышать нормальные изменяющиеся пределы. Установлено, что эти районы находятся (и в ряде случаев тщательно картированы) в Бразилии, Индии, Иране, Италии и других странах. В некоторых из этих районов ежегодная доза, получаемая жителями, может более чем в 10 раз превышать дозу, получаемую населением, проживающим в районах с нормальным уровнем естественной радиации. Еще не установлено с высокой степенью точности соотношение между этими районами с высоким уровнем радиации и глобальной коллективной дозой, получаемой от внешнего облучения. Сделанные подсчеты показывают, что доза, полученная в этих районах, не превышает 10 процентов глобальной коллективной дозы.

87. Комитет подсчитал также дозу внутреннего облучения от радиоизотопов, попадающих в организм через систему пищеварения и дыхания. Эти радиоизотопы являются либо космического происхождения (т.е. они получаются путем взаимодействия космических лучей с атомами в верхнем слое атмосферы) или природного происхождения, т.е. они присутствуют в земной коре с момента возникновения Земли. Очень небольшая часть дозы облучения от естественных источников радиации вызывается первой группой этих изотопов. Единственными компонентами, которые существенно увеличивают эту дозу, является тритий (водород-3), бериллий-7, углерод-14 и натрий-22. Из последней группы изотопов наиболее существенную роль играют продукты распада радона-222 с коротким периодом распада. Затем следует калий-40, продукты распада тора (радон-220) и полоний-210. Эквивалентная эффективная доза облучения от внутренних источников естественной радиации, в соответствии с подсчетами, может приблизительно в два раза превысить дозу от внешнего облучения. Однако группы людей, проживающие в особых жилых помещениях, могут получить значительно большие дозы облучения от внутренних источников.

Таблица 1

Расчетные ежегодные эффективные эквивалентные дозы
облучения от естественных источников радиации
в районах с "нормальным" уровнем радиации

Источник	Ежегодная эффективная эквивалентная доза (в миллизивертах)		
	Внешнее облучение	Внутреннее облучение	Итого
Космические лучи			
Ионизирующий компонент	0,28		0,28
Нейтронный компонент	0,02		0,02
Изотопы космического происхождения		0,015	0,015
Природные изотопы			
Калий-40	0,12	0,18	0,30
Рубидий-87		0,006	0,006
Уран-238 серии а/	0,09	0,95	1,04
Торий-232 серии а/	0,14	0,19	0,33
ИТОГО (с округлением)	0,65	1,34	2,0

а/ Эти величины конкретно относятся к районам с умеренным климатом. В тропических районах из значение будет ниже.

88. В таблице 1 суммируются данные, касающиеся различных источников естественного облучения с точки зрения эффективной эквивалентной дозы. Согласно расчетам, глобальная ежегодная эффективная эквивалентная доза облучения на душу населения от естественных источников радиации составляет 2 миллизиверта, половина из которой обусловлена вдыханием внутри помещений продуктов распада радона-222 и радона-220 с коротким периодом распада, которые составляют часть серии изотопов соответственно урана-238 и тора-232. Относительная величина дозы облучения от продуктов распада радона-222 и радона-220 с коротким периодом распада вытекает из использования новой концепции определения эффективной эквивалентной дозы. Чтобы рассчитать эквивалентную дозу облучения легких в соответствии с этой концепцией поглощенную легкими дозу следует умножить на коэффициент, равный 20 для альфа-частиц, и умножить на коэффициент 0,12 - коэффициент усреднения для легких при выведении эффективной эквивалентной дозы. Таким образом, общий коэффициент превращения поглощенной дозы в легких для получения эффективной эквивалентной дозы составляет 2,4 сиверта на один грей. Если соответствующие общие коэффициенты превращения для других существенных факторов, способствующих облучению от естественных источников, равны или меньше одного сиверта на один грей, то эффективная эквивалентная доза облучения от продуктов распада радона-222 и радона-220 имеет большую величину. Предполагается, что средние величины

концентрации радона-222 и радона-220 в помещении изменяются в зависимости от того или иного района мира в соответствии с уровнем вентиляции и типом жилых помещений. В настоящем докладе подсчитано, что по сравнению со средней глобальной величиной облучение от продуктов распада радона-222 и радона-220 приблизительно на 25 процентов выше в умеренных широтах и приблизительно на 70 процентов ниже в тропических широтах, и в результате среднегодовые эффективные эквивалентные дозы облучения от естественных источников облучения радиации для умеренных и тропических широт составляют соответственно 2,2 и 1,3 миллизиверта. Глобальная средняя величина, составляющая 2 миллизиверта в год, примерно соответствует расчетам, представленным в докладе Комитета за 1977 год, с точки зрения поглощенной дозы. Считается, что в настоящее время ежегодная глобальная коллективная эффективная эквивалентная доза составляет приблизительно 10^7 человеко-сивертов.

б) Технологически измененные и естественные источники радиации 6/

89. В нижеследующем подразделе суммируются характеристики источников, которые ранее упоминались как "технологически измененные" (см. пункты 81-83).

90. Электростанции, работающие на каменном угле. Каменный уголь содержит незначительное количество естественных радиоизотопов и при сгорании выделяет их в окружающую среду. Перераспределение изотопов из глубины земной коры в окружающую среду может в значительной степени изменить окружающие радиационные поля и популяционное облучение. Была собрана новая информация об измерении активности в угле и о поведении радиоизотопов внутри и вокруг электростанций. Поэтому в настоящее время можно выполнить некоторые расчеты доз, получаемых в результате облучения от этого источника.

91. При сгорании каменного угля минеральные вещества превращаются в стекловидную золу. Большая часть ее остается на электростанции в виде шлака, но более легкие частицы — подвижный пепел — переносятся вместе с горячими газами в дымовую установку электростанции, откуда в зависимости от КПД улавливающих установок определенная часть выбрасывается в атмосферу. На основании данных о выбросах и измеренных концентрациях радиоизотопов в угле и пепле были рассчитаны средние величины выброса радиоизотопов в атмосферу. Считается, что расчетные выбросы характеризуют нынешнее положение в этой области во всем мире.

92. Считается, что население, проживающее в районе электростанции, получает облучение от испускаемых изотопов в основном через систему дыхания во время прохождения шлейфа дыма — внешнее облучение — и через систему дыхания и пищеварения в результате приема внутрь организма радиоизотопов, оседающих на грунте. Можно довольно точно подсчитать дозы, получаемые различными органами тела, и предполагаемые дозы облучения от различных изотопов.

93. Установлено, что каждый из трех вышеупомянутых способов облучения вносит свой существенный вклад в предполагаемые коллективные эквивалентные эффективные дозы. Превалирующими компонентами являются изотопы тория (при вдыхании во время прохождения дымного облака) и изотопы радона при внешнем облучении, вызываемом активностью осевших изотопов. Если предположить, что 70 процентов добываемого во всем мире каменного угля используется для производства электроэнергии и что 1 гВт = год энергии производится в результате сжигания 3 млн. тонн каменного угля, то подсчитано, что предполагаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения от использования каменного угля в 1979 году во всем мире составляет приблизительно 2 000 человеко-сивертов. Эта величина возрастает, если добавить потребление каменного угля для других целей.

94. Использование фосфатов. Фосфаты широко применяются в качестве источников фосфора для получения минеральных удобрений. В них содержится незначительное количество урана-233, радия-226, тория-232 и

6/ Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении С "Технологически измененное облучение от естественной радиации".

калия-40, которые выделяются в атмосферу в ходе промышленной обработки руды и ее использования. Это выделение происходит путем сброса сточных вод, использования минеральных удобрений в сельском хозяйстве и применения побочных продуктов и отходов для других целей.

95. Промышленные стоки создают различные концентрации соответствующих радиоизотопов в летучих или жидких выбросах отходов. Вид и количество радиоизотопов, выпускаемых в атмосферу в значительной степени зависит от технологии, применяемой для обработки руды. Основными механизмами облучения являются вдыхаемый во время прохождения дымного облака воздух и облучение от радиоизотопов, осевших на грунт; очень приблизительные оценки доз для каждого из этих способов можно подсчитать в соответствии с объяснением, содержащимся в Приложении С.

96. Можно рассчитать также оценки доз в отношении радиоизотопов, содержащихся в минеральных удобрениях. На основе данных о мировом производстве минеральных удобрений, содержании радиоизотопов в этих удобрениях, их распределении и использовании, уровнях радиоизотопов в обрабатываемых продовольственных культурах и т.д. можно получить приблизительные расчетные дозы облучения. Эти дозы получают работники, имеющие дело с минеральными удобрениями, и население через различные механизмы внешнего или внутреннего облучения.

97. На установках мокрой обработки руды основным побочным продуктом переработки фосфатов является фосфорный гипс. На установках с термическим процессом обработки основным конечным продуктом является шлак, состоящий из силиката кальция. Фосфорный гипс применяется вместо природного гипса при изготовлении блочных строительных конструкций, силикат — в железнодорожном строительстве и бетонных работах. Оба эти материала могут содержать более высокие концентрации радия-226, чем большинство природных продуктов. Облучение населения происходит в результате вышеупомянутого применения материалов и с учетом состава изотопов и условий облучения облучение может быть существенным, например, на 30 процентов выше, для лиц, проживающих в домах, построенных из фосфорного гипса.

98. Комитет определил облучение от радиации, которое может происходить во время полного цикла использования фосфатной руды, с применением достаточно упрощенных предположений и уделив внимание самым важным радиоизотомам. Предположив, что 10 процентов полученного фосфорного гипса может быть использовано в домостроительстве, Комитет пришел к выводу, что намного больший вклад в коллективную дозу, получаемую от использования фосфатной руды, будет получено от этого источника. Если этого использования руды можно избежать, оставшаяся часть предполагаемой дозы составит только приблизительно 0,002 величины потенциальной дозы.

99. Использование специальных строительных материалов. Было установлено, что и другие материалы, из которых построены жилые помещения обуславливают высокие дозы облучения для их обитателей. К ним относятся пемза, шлакобетон с применением квасцов, камневидный туф, гранит и отходы урановых обогатительных фабрик. Эти дозы вызваны высокой концентрацией калия-40, радия-226 и тория-232. Исследование образцов строительных материалов в ряде стран показало, что в некоторых случаях в них присутствуют повышенные концентрации вышеупомянутых

изотопов. Однако уровень средних поглощенных доз, измеренных в зданиях, содержащих такие материалы, часто остается ниже уровня доз, предполагаемого облучения от радиоизотопов, содержащихся в рассмотренных материалах, поскольку, как правило, в тех же самых зданиях используются и менее активные материалы.

100. Повышенное облучение от космической радиации. Во время полета пассажирских лайнеров пассажиры получают более высокую дозу радиации от космического компонента, которая в значительной степени возрастает в зависимости от высоты. Так, например, увеличение дозы в 20 раз наблюдается на высоте от 4 до 12 км. Было подсчитано, что коллективная эффективная эквивалентная доза для населения земного шара в 1978 году во время полетов на коммерческих лайнерах составила приблизительно 2 000 человеко-сивертов. Аналогичные оценки были выполнены специально для сверхзвуковых транспортных воздушных средств. Несмотря на тот факт, что в зависимости от высоты радиация солнечного происхождения добавляется к галактическому компоненту и что во время периодических вспышек на солнце уровни радиации могут в значительной степени возрасти, эти источники облучения в настоящее время существенно не увеличивают облучение населения земного шара от естественных источников радиации. Однако нельзя сбрасывать со счета индивидуальные дозы, получаемые отдельными лицами, например, членами экипажа воздушных лайнеров.

101. Вполне вероятно, что представленные Комитету примеры технологически измененного облучения являются неполными. На основании сделанных оценок Комитет делает вывод, что это облучение не увеличивает сколь-нибудь существенным образом коллективную дозу, получаемую человечеством в глобальных масштабах. Однако в отдельных районах или для отдельных групп населения, находящихся в чрезвычайных условиях, может быть отмечено значительное увеличение индивидуальных доз, облучения от естественных источников радиации. Нынешний уровень знаний не позволяет точно подсчитать коллективные дозы, получаемые от этих источников. С этой целью необходимо проводить дальнейшие исследования.

с) Потребительские товары, испускающие радиацию 7/

102. Часы со светящимся циферблатом. Энергия, излучаемая во время радиоактивного распада радия-226, протактия-147 и трития, может быть превращена в свет с помощью сцинтиллятора. Это явление широко использовалось в производстве светящихся циферблатов для часовых механизмов и других научных приборов. В последнее время вместо радия стали применять тритий, поскольку радиация трития обладает меньшей проникающей способностью, чем радиация, излучаемая при распаде радия и его дочерних ядер, тем самым способствуя уменьшению внешнего облучения потребителей. С появлением жидких кристаллов все более широкое распространение получают газообразные источники тритиевого света для освещения циферблатов часовых механизмов. В ряде стран подсчитана ежегодная коллективная эквивалентная доза, получаемая в результате использования различных светящихся часовых механизмов с применением разнообразных радиоизотопов. В расчете на население земного шара эта доза составляет порядка 2 000 человеко-сивертов.

103. Электронная техника и электроприборы. К этой технике относятся пускатели для флуоресцентных ламп, триггерные лампы в электроприборах и приборы, предохраняющие от повышенного напряжения. Для более эффективной, быстрой и надежной работы этого оборудования в нем используются такие радиоизотопы, как криптон-85, протактия-147 и торий-232. Несмотря на то, что эти приборы применяются в огромном количестве, и несмотря на значительную долю активности изотопов, результирующие дозы, как ожидается, будут очень низкими. Они, однако, могут достигнуть значительной величины в случае выхода из строя прибора или его небрежного удаления в отходы.

104. Антистатические приспособления. Эти приспособления используются в промышленности, а в ряде стран и в быту в целях уменьшения аккумуляции электростатических зарядов в некоторых материалах. В этих приборах для ионизации воздуха используется главным образом полоний-210. В условиях нормального использования наиболее существенный риск представляет собой облучение от внешнего источника радиации в результате излучения небольшого количества гамма-частиц. В чрезвычайных условиях (например, в результате удара или возгорания) целостность компонентов приборов может нарушиться и может в значительной степени увеличиться доза облучения от внутреннего источника.

105. Дымоуловители. Эти приборы, как правило, содержат америций-241. Во многих странах они очень широко используются в промышленных, гражданских, коммерческих и частных зданиях, ибо специалисты в области противопожарных мер отводят им важную роль в деле охраны жизни и имущества. Если предположить, что срок службы многих миллионов установленных в настоящее время приборов составляет 10 лет, и если предположить, что они смогут быть удалены в отходы путем санитарного закапывания в грунт или сжигания, то предполагаемая результирующая

7/ Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении С "Технологически изменяемое облучение от естественных источников радиации".

коллективная эффективная эквивалентная доза в 1978 хозяйственном году, согласно подсчетам, составит приблизительно 10 человеко-сивертов. Большая часть этой дозы будет получена в результате внешнего облучения в течение срока службы дымоуловителей.

106. Товары, содержащие уран и торий. Уран используется главным образом в качестве красящего вещества в керамике и стеклопроизводстве. Торий применяется в сетках накаливания ламп и в некоторых оптических изделиях. Основная опасность, возникающая в результате использования этих веществ в нормальных условиях, заключается в той дозе радиации, которая наводится в результате излучения бета-частиц продуктами распада, и в определенных условиях некоторые ткани могут получить большие дозы радиации. Так, например, оптические стекла, содержащие высокий процент тория, могут излучать довольно значительные дозы радиации на хрусталик глаза. Точно также большую дозу излучения может получить эпителий полости рта от урана, входящего в состав фарфора, применяемого в зубоврачебной практике для придания зубным протезам свечения, имитирующего природные зубы.

107. Телеприемники. Во время нормальной эксплуатации телеприемники испускают слабые рентгеновские лучи, которые могут вызвать внешнее облучение. Однако излучение рентгеновских лучей от недавно появившихся телевизионных приемников с цветным изображением в условиях нормальной эксплуатации и соответствующего обслуживания является незначительным.

d) Радон и его продукты распада З/

108. Становится все более очевидно, что очень большую долю облучения от естественных источников можно получить от радона-222 (обычно называемым радоном) и его продуктов распада. Определенную дозу облучения дает и другой, встречающийся в природе, радиоактивный изотоп - радон-220 (обычно называемым тороном). Эти данные заставили Комитет обстоятельно исследовать случаи облучения этими газами и изучить важнейшие физические и физиологические факторы, влияющие на степень облучения.

109. Радон и торон, которые являются соответственно продуктами распада урана и тория, встречаются в природе в качестве радиоактивных газов. Уран и торий встречаются в природе в качестве природных элементов в рудах. Путем диффузии происходит небольшая утечка радона и торона из этих материалов, которые попадают в грунтовые воды и воздух, где накапливаются в той или иной концентрации. Радон и торон распадаются до своих многочисленных дочерних ядер до тех пор, пока серии урана и тория не завершаются образованием устойчивых изотопов свинца.

110. Комитет рассмотрел механизмы выброса радона и торона из их естественных источников и переменные факторы, влияющие на этот выброс (размер частиц породы, пористость, влажность), механизмы диффузии этих газов в окружающую, водную и воздушную среду; пути передачи радона и торона через почву и их попадание в воздух; дисперсию этих газов и их продуктов распада в воздухе; и влияние вертикального температурного градиента, силы ветра и турбулентности воздуха на такую дисперсию. Вследствие короткого периода полураспада торона (приблизительно около одной минуты), этот газ может встречаться только в пределах нескольких десятков метров над поверхностью Земли, а радон, период полураспада которого составляет приблизительно четыре дня, встречается на высоте нескольких километров. На концентрацию этих изотопов на уровне земли влияет географическое местоположение и преобладающие метеорологические условия, включая отчетливые сезонные колебания. Наивысшие концентрации, как правило, содержатся в воздушных массах над континентальными районами, а воздушные массы, находящиеся над океанами или арктическими районами, содержат самые низкие концентрации этих изотопов. Среднегодовые значения концентрации радона в окружающем воздухе на уровне земли изменяются от 0,1 до 10 беккереля на один кубический метр воздуха. В населенных районах эта величина, как правило, составляет 3 беккереля на кубический метр воздуха.

111. Благодаря быстрой диффузии радона в атмосферу, активная концентрация дочерних ядер радона в воздухе на уровне земли в целом уступает концентрации радона. Эту разницу можно определить с

З/ Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении D "Облучении радоном и тороном и их продуктами распада".

помощью коэффициента равновесия между радоном и тороном и их производными продуктами. Коэффициент равновесия зависит от многих других условий, включая постоянные величины распада различных дочерних ядер, концентрацию и размер распределения аэрозольных частиц в воздухе, отложение этих аэрозолей на окружающую поверхность и скорость обмена воздушных масс. Все эти условия можно изучить экспериментальным путем. С практической точки зрения важно отметить, что низкий уровень вентиляции в замкнутом пространстве может привести к более интенсивному облучению продуктами распада радона и торона.

II2. Концентрация радона в воде может изменяться практически от нуля до приблизительно 100 мегабеккерелей на куб. м воды в некоторых источниках. Доза облучения радоном с питьевой водой, поглощается частично через органы пищеварения. Однако основная доза облучения поглощается через органы дыхания путем вдыхания дочерних ядер радона, высвобождаемого из воды. Можно приблизительно подсчитать относительные дозы, получаемые от данной концентрации радона в питьевой воде. Однако в связи с тем, что известные измерения нередко проводились в тех районах, в которых наблюдается высокое содержание урана или радия, такие величины нельзя полностью рассматривать как средние величины, характерные для всего района или всей страны. Имеющаяся информация свидетельствует о том, что доза облучения, получаемая от радона в питьевой воде, как правило, не представляет серьезной проблемы с точки зрения облучения всего населения, исключая некоторые случаи, когда, благодаря особым геологическим условиям, содержание радона является особенно высоким.

II3. Поскольку человек получает большую часть дозы облучения от радона в помещении, Комитет рассмотрел большой объем данных об измерении концентрации радона и торона и их продуктов распада в жилых помещениях в различных районах мира. Эти концентрации, как правило, достигающие порядка 20 беккерелей на куб. м воздуха, выше концентрации радона в наружном воздухе. Очень высокие концентрации радона внутри помещений могут накапливаться в результате слабой вентиляции или повышенного уровня содержания радона, обусловленного высоким содержанием радия в строительных материалах или в грунте под жилым зданием или в результате использования воды с высоким содержанием радия. В самых неблагоприятных условиях могут быть обнаружены пиковые величины, достигающие 10 000 беккерелей на куб. м воздуха и даже выше.

II4. Дочерние ядра радона вызывают облучение на рудниках. В ходе обзора Комитет рассмотрел результаты измерений, проведенных во многих различных рудниках и странах. Обзор показал, что в зависимости от вида руды и условий вентиляции концентрация радона, накапливающаяся в урановых рудниках, как правило, составляет менее 1 000 беккерелей на куб. м воздуха. Однако на некоторых неветилируемых участках рудников концентрация радона может быть в 1 000 и более раз выше. На неурановых рудниках средний уровень концентрации достигает приблизительно такой же величины, однако при менее жестких требованиях к вентиляции.

115. Облучение продуктами распада радона и торона происходит в результате вдыхания воздуха и затрагивает область респираторного тракта. Фактическая доза, получаемая различными анатомическими структурами, зависит от относительного распада связанных и свободных дочерних продуктов, размера аэрозольных частиц, с которыми они связаны, и работы легких. В среднем доза облучения от дочерних продуктов радона в области бронхиального базального клеточного слоя в 5-8 раз превышает дозу облучения в области легких. Используя коэффициенты взвешивания для регионального распределения легочной дозы и средней легочной дозы, можно подсчитать соответствующую эффективную эквивалентную дозу. В таблице 2 представлены глобальные средние величины годовых эффективных эквивалентных доз облучения, полученных в результате вдыхания радона и торона и их продуктов распада. Подсчитано, что эти величины в умеренных и тропических районах соответственно на 25 процентов выше и 70 процентов ниже этих глобальных усредненных значений. Следует отметить, что в умеренных широтах доза облучения внутри помещения приблизительно в 15 раз выше, чем доза, полученная вне помещений, в связи с тем, что концентрация радиоактивных газов выше внутри жилых зданий, и в связи с тем, что человек, как правило, проводит больше времени внутри помещения, чем на открытом воздухе.

Таблица 2

Глобальные средние значения ежегодной эффективной эквивалентной дозы (в миллизивертах), полученной в результате облучения продуктами распада радона и торона через органы дыхания в различных условиях

Условия облучения	Дочерние ядра радона	Дочерние ядра торона <u>a/</u>
Вне помещений <u>b/</u>	0,06	0,02
Внутри помещений <u>b/</u>	0,7	0,15
Урановые рудники <u>c/</u>	~15	

a/ На основе ограниченных данных.

b/ Коэффициент пребывания был принят за 0,8 внутри помещений и 0,2 вне помещений.

c/ Применительно к 1977-1979 годам.

IIБ. Ввиду важного значения, придаваемого разработке программ в области экономии энергии, Комитет разработал ряд общих рекомендаций в отношении возможного увеличения эффективной эквивалентной дозы путем вдыхания вторичных ядер радона, к которому может привести осуществление таких программ. Уменьшение вентиляции на предприятиях и особенно в рудниках может в значительной степени увеличить величину коллективной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой рабочими. В жилых помещениях уменьшение вентиляции также может привести к увеличению такой дозы - и поэтому, как можно предположить, может вызвать отрицательные последствия для здоровья - в зависимости от типа помещения, его местоположения, типа обогрева, вентиляции и других факторов. Комитет подготовил основные принципы по оценке радиологического значения таких мер по экономии энергии.

3. Облучение, вызываемое ядерными взрывами 9/

II7. ХОТЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В АТМОСФЕРЕ УМЕНЬШИЛАСЬ ПО СРАВНЕНИЮ С 1954-1958 ГОДАМИ И 1961-1962 ГОДАМИ, ВРЕМЯ ОТ ВРЕМЕНИ ЭТИ ИСПЫТАНИЯ ЕЩЕ ПРОВОДЯТСЯ. ВСЕ ЭТИ ВЗРЫВЫ ЯВЛЯЮТСЯ ПРИЧИНОЙ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМНОГО ШАРА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫПАДЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОСАДКОВ. ПОДСЧИТАНО, ЧТО ОБЛУЧЕНИЕ ОТ ВСЕХ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ, ПРОВЕДЕННЫХ ДО 1980 ГОДА, ЭКВИВАЛЕНТНО ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ЧЕТЫРЕМ ГОДАМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМНОГО ШАРА ОТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОНОВОЙ РАДИАЦИИ. БОЛЬШАЯ ЧАСТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ АКТИВНЫХ ОСАДКОВ БУДЕТ ПОЛУЧЕНА НЕБОЛЬШИМИ ДОЗАМИ В ТЕЧЕНИЕ ЕЩЕ МНОГИХ ЛЕТ В БУДУЩЕМ. КАЖДОЕ НОВОЕ ИСПЫТАНИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ В АТМОСФЕРЕ ПОДВЕРГАЕТ НЫНЕШНЕЕ И БУДУЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА ОПРЕДЕЛЕННОМУ ОБЛУЧЕНИЮ В БУДУЩЕМ.

II8. Комитет продолжал оценку облучения, которому подвергается население земного шара в результате выброса в окружающую среду радиоактивных материалов-продуктов ядерных взрывов. Такие взрывы в атмосфере проводились с 1945 года. Интенсивные программы испытаний ядерного оружия проводились в период с 1954-1958 годов и 1961-1962 годов. Дальнейшие взрывы проводились в конце 1980 года, а в 1979 и 1981 годах этих испытаний не проводилось. Комитет не анализировал результаты облучения, которое может быть вызвано каким-нибудь небольшим выбросом радиоактивных материалов в результате проведения подземных испытаний ядерного оружия.

II9. Радиоактивные материалы от ядерных взрывов попадают в тропосферу и стратосферу Земли, причем граница попадания зависит от местоположения и мощности взрыва. Комитет представил расчеты величины радиоактивных материалов, образовавшихся в результате проведения испытаний ядерного оружия в атмосфере, их дисперсии в атмосфере и отложения этих материалов на поверхности Земли. При оценке облучения были рассмотрены все способы облучения человеческого организма, включая вдыхание радиоактивных веществ с воздухом, потребление радиоизотопов с продуктами питания, и внешнее облучение от радиоактивных материалов, содержащихся в почве.

II0. В докладе Комитета за 1977 год содержались расчеты предполагаемых доз облучения населения земного шара в результате испытаний ядерного оружия, проведенных до 1976 года. В настоящем докладе эти расчеты обновляются данными, включающими конец 1981 года. Комитет отдельно подсчитал предполагаемые дозы облучения населения северного и южного полушарий и среднюю величину облучения для всего земного шара. Расчетные дозы для северного полушария превышают расчетные дозы для южного полушария, поскольку большая часть испытаний и вследствие этого большая часть отложений происходили в северном полушарии.

9/ Этот вопрос подробно рассматривается в Приложении Е "Облучение, вызываемое ядерными взрывами".

Таблица 3

Предполагаемые эффективные эквивалентные дозы и способы облучения в результате проведения ядерных взрывов в атмосфере до конца 1981 года

Местоположение	Предполагаемая эффективная эквивалентная доза (в миллисивертах)	Величина облучения (в процентах)		
		Через систему пищеварения	От внешнего облучения	Через систему дыхания
Северная умеренная зона	4,5	71	24	5
Южная умеренная зона	3,1	90	8	2
Весь мир	3,8	79	18	3

121. В таблице 3 суммируются результаты расчетов Комитета, касающихся предполагаемых эффективных эквивалентных доз облучения населения в северной и южной умеренных зонах и во всем мире от испытаний ядерного оружия. Основное облучение происходит через органы пищеварения, в основном из-за содержания углерода-14, цезия-137 и стронция-90, далее следует внешнее облучение, вызываемое цезием-137 и рядом других радиоизотопов, имеющих короткий период распада. Предполагаемая коллективная эффективная эквивалентная доза, обусловленная испытаниями ядерного оружия в атмосфере, проведенными до конца 1981 года, составляет $3 \cdot 10^7$ человеко-сивертов. Эта величина, которая учитывает предполагаемый будущий рост населения земного шара, эквивалентна приблизительно 4 годам нынешнего облучения населения от естественных источников. Можно сказать, что большая часть предполагаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы будет обусловлена программой испытаний, которая осуществлялась в 1961 и 1962 годах (соответственно 580 дней и 370 дней нынешнего облучения населения земного шара от естественных источников). В 1963 году годовая доза на душу населения достигла наивысшего уровня и составила приблизительно 7 процентов от среднегодового облучения от естественных источников; в 1966 году эта цифра понизилась приблизительно до 2 процентов и в настоящее время составляет менее 1 процента.

122. В ходе этих расчетов Комитет рассмотрел двадцать один радиоизотоп. Из них только 4 обуславливают свыше 1 процента предполагаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы мирового населения. По степени убывания эти изотопы располагаются следующим образом:

углерод-14, цезий-137, цирконий-95, стронций-90. Что касается циркония-95, то его влияние на предполагаемую глобальную дозу облучения населения от испытаний, проведенных до 1981 года, уже в основном закончилось. Что касается цезия-137 и стронция-90, то основная часть предполагаемых доз облучения от этих изотопов будет получена к концу текущего столетия. Только углерод-14 будет продолжать влиять на дозы облучения еще в течение длительного времени, хотя и в меньшей степени, благодаря своему длительному периоду полураспада. С точки зрения перспективы можно также учесть влияние продуктов актинидов, обладающих длительным периодом распада, однако предварительные данные показывают, что они испускают радиацию очень низкого уровня и их дополнительный вклад в общую предполагаемую эффективную эквивалентную дозу составляет порядка 0,1 процента.

123. Оценки доз радиации от выпадения радиоактивных осадков, представленные в данном докладе, лишь незначительно отличаются от аналогичных данных, содержащихся в предыдущих докладах, из-за относительно небольшого количества активных радиоизотопов, выброшенных в результате нескольких ядерных взрывов, проведенных за последние годы. Однако нынешние оценки доз являются более полными, поскольку были дополнительно рассмотрены другие изотопы и другие возможные способы их переноса, подверглись переоценке факторы переноса и подсчеты доз охватывали данные о совсем недавно проведенных измерениях радиоактивных осадков. Еще существуют определенные приближения в отношении как измерений, так и моделирования. Вполне можно ожидать, что с получением в будущем новой информации могут быть внесены небольшие коррективы и уточнения в оценки Комитета.

4. Облучение в результате производства электроэнергии с помощью ядерных установок IO/

I24. ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ КОЛЛЕКТИВНАЯ ДОЗА, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ЗАРАЖЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА, ДАЕТ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕБОЛЬШОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ В РАМКАХ ОБЩЕГО РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА. ОДНИМ ИЗ ВАЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОБЛУЧЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ЯВЛЯЕТСЯ РАДОН И ЕГО ДОЧЕРНИЕ ПРОДУКТЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В ОТХОДАХ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ И ВЫСВОБОЖДАЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ И ОБОГАЩЕНИЯ УРАНОВОЙ РУДЫ. ЕСЛИ СЧИТАТЬ, ЧТО НЫНЕШНИЕ ТЕМПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ БУДУТ СОХРАНЯТЬСЯ, ТО ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ, КАК ОЖИДАЕТСЯ, БУДЕТ ВОЗРАСТАТЬ С УВЕЛИЧЕНИЕМ УСТАНОВЛЕННОЙ ЯДЕРНОЙ МОЩНОСТИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛУТОНИЯ В РЕЦИКЛИРОВАНИИ ИЛИ В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ РЕАКТОРАХ ИЛИ В ДРУГИХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ УМЕНЬШИТ ПРЕДПОЛАГАЕМУЮ КОЛЛЕКТИВНУЮ ДОЗУ НА ЕДИНИЦУ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ЭНЕРГИИ.

I25. Со времени предыдущего доклада Комитета число действующих ядерных реакторов в производстве электроэнергии увеличилось и в 1979 году составило 235 реакторов в 22 странах с общей установленной мощностью, составляющей приблизительно 120 гигаватт электроэнергии (ГВт(э)), что вдвое превышает установленную мощность атомных электростанций за период 1975-1979 годов, рассмотренный в докладе Комитета. Прогнозы на 2000 год еще очень приблизительны, однако в настоящее время они составляют порядка 1 000-1 600 ГВт(э), что соответствует приблизительно двум третям мощности, запрогнозированной в предыдущем докладе за тот же год. Пересмотренные во многих странах расчеты подтверждают тот факт, что увеличение мощности по производству электроэнергии с использованием атомных реакторов будет проходить более медленными темпами, чем предполагалось ранее.

I26. Ядерный топливный цикл включает много этапов, а именно этап добычи и обогащения урановых руд, превращения в различные химические консистенции, обогащения изотопного содержания урана-235 (в ряде случаев), изготовления топливных элементов, производства энергии в ядерных реакторах, переработки использованного топлива и вторичного использования улавливаемых первичных и вторичных изотопов (в ряде случаев), транспортировки ядерных материалов между объектами на различных этапах топливного цикла и, наконец, удаление радиоактивных отходов. Хотя почти все виды человеческой деятельности, связанные с производством электроэнергии на атомных электростанциях, имеют место при использовании облученного ядерного топлива, выброс небольшого количества радиоактивных материалов в окружающую среду происходит на каждом из вышеупомянутых этапов этого цикла. Большая часть этих выбросов, если учесть, что радиоизотопы имеют короткий период распада и что их радиус действия в окружающей среде ограничен, имеют лишь местное или региональное значение. Однако некоторые радиоизотопы с очень длинным периодом полураспада или быстрым рассеиванием в окружающей среде распространяются по всему земному шару и могут создать опасность облучения человека и заражения окружающей среды в мировом масштабе.

IO/ Этот вопрос подробно рассматриваются в Приложении F "Облучение в результате производства электроэнергии с помощью ядерных установок".

127. Для каждого этапа переработки ядерного топлива Комитет подготовил оценку доз облучения населения в результате выброса радиоактивных материалов. Оценки Комитета были выведены с учетом предполагаемых коллективных полученных доз на единицу вырабатываемой энергии, т.е. в человеко-греях на ГВт(э) в год. Модели, с помощью которых предполагаемая доза облучения для различных органов тела или ткани может быть превращена в предполагаемую эффективную эквивалентную дозу на единицу производимой энергии, подробно обсуждались в Приложении А.

128. Благодаря тому, что выбросы радиоизотопов в окружающую среду с ядерных объектов технически регулируются, дозы облучения отдельных представителей населения, как правило, удерживаются на очень низких уровнях по сравнению с рекомендованными предельными величинами. Облучению от этих источников подвергаются четыре группы населения: лица, получающие облучение по роду своей деятельности на электростанциях; местное население, проживающее в радиусе нескольких сот километров от атомных электростанций, население региона, проживающее в радиусе нескольких тысяч километров, и, наконец, население земного шара. В настоящем докладе внимание уделяется только трем последним группам населения, поскольку профессиональное облучение индивидуумов рассматривается отдельно в Приложении Н.

129. Поскольку уровень концентрации изотопов в сточных водах, сбрасываемых атомными электростанциями, является низким в момент выброса изотопов и чрезвычайно низким в окружающей среде, следует использовать модели для подсчета доз облучения населения на значительном удалении от атомных электростанций и на длительные периоды времени. Величины переводных параметров различных радиоизотопов в этих моделях выводятся на основании результатов экологических измерений и экспериментов различных видов. Важнейшей точкой отсчета этих моделей является количество и вид радиоактивного материала, выбрасываемого с различных ядерных установок. Эта информация была представлена Комитету в основном до 1979 года и превращена в средние показатели выброса на ГВт(э), выработанной в период 1975-1979 годов. Такие средние величины не применимы к какой-либо конкретной установке, и они отражают различие в моделях реакторов и изменения в интенсивности выброса изотопов новыми и старыми реакторами. Хотя считается, что средние показатели выброса характеризуют нынешнее положение в области производства электроэнергии с помощью ядерных установок во всем мире, их следует экстраполировать с будущими технологическими процессами или конкретными электростанциями лишь с величайшей осторожностью и при введении соответствующих корректив.

130. Чтобы определить предполагаемые коллективные дозы, соответствующие вышеупомянутым приведенным выбросам, Комитет использовал для своих оценок гипотетические местоположения, характеристика которых в основном соответствует каждому основному этапу топливного цикла, а именно добыче и обогащению, изготовлению топлива, эксплуатации реактора и вторичной переработке. Комитет предположил также, что окружающая среда, получающая выбросы от каждой модели электростанций, будет представлять собой гипотетическую среду, содержащую основные черты местности, в которой находится функционирующая электростанция, и позволяющую определять дозу для наиболее общих способов передачи

выброшенных радиоизотопов организму человека. Следует подчеркнуть, что такие широкие обобщения предназначены для получения расчетов общего воздействия ядерных установок во всем мире и не характерны для какого-либо одного местоположения. Расчеты по конкретным местоположениям потребуют данных о конкретных выбросах изотопов местной и региональной характеристики окружающей среды и фактических способов воздействия радиоизотопов на организм человека.

I31. Расчеты предполагаемой коллективной дозы требуют суммирования разовой дозы облучения, полученной каким-либо органом или тканью, за весь период облучения. Эта задача может быть очень трудной, и Комитет воспользовался приближениями в отношении численности мирового населения, а также питания и других особенностей образа жизни облучаемых индивидуумов, которые, согласно предположению, являтся неизменными в течение всего данного периода, в течение которого выполнялась операция по суммированию. Исходя из этих основных определений, Комитет рассмотрел различные этапы ядерного топливного цикла и рассчитал дозы облучения, получаемые населением от различных изотопов, и способы облучения, применительно к каждому источнику облучения.

I32. В заключение Комитет предпринял попытку рассчитать предполагаемую коллективную эффективную эквивалентную дозу облучения населения в результате производства электроэнергии с помощью ядерных установок. Как отмечалось в Приложении А, с учетом установленных предположений эти цифры характеризуют общую опасность для здоровья, которой подвергается человечество от этого источника облучения. В таблице 4 значения этой величины нормируются к одному ГВт-году производимой электроэнергии. В ближайшие 100 лет общее значение составит приблизительно 20 человеко-сивертов на ГВт-год, хотя дополнительные облучения при низких годовых уровнях будут происходить еще длительное время. В таблице 4 показано как привязанные к ГВт-году коллективные дозы аккумулируются с течением времени на период до 10 000 лет.

Таблица 4

Оценки ожидаемой эквивалентной коллективной эффективной дозы (человеко-сиверт) при производстве ядерной энергии в пересчете на 1 гВт/год выработанной электроэнергии и ее накопление во времени

Годы	Работы топливного цикла (за исключением сбросов и захоронения отходов)		Отходы обога- тельных пред- приятий	Захоро- нение высоко- активных отходов
	Местные и ре- гиональные	Глобаль- ные		
10^2	6	12	<3	0
10^4	6	70	<500	0

133. В таблице 4 не дается каких-либо оценок на периоды, превышающие 10 000 лет, когда, по всей вероятности, основными источниками будут радон, выделяющийся из отходов обогащения, и изотоп иод-129 регенерационных заводов или захоронений отработанного топлива. Для таких периодов консервативные методы расчетов, принятые Комитетом, дали бы более высокие значения ожидаемой коллективной эквивалентной дозы, но не выше нескольких тысяч человеко-сивертов на 1 гВт(эл) в год по двум колонкам "глобальные" и "отходы обогатительных предприятий", и не выше нескольких десятых долей человеко-сиверта на 1 гВт(эл) в год по колонке "захоронение высокоактивных отходов". Однако неопределенность, связанная с оценкой дозы в отдаленном будущем, и ограниченная полезность этих оценок трудно поддаются обобщению. Более подробное обсуждение этих вопросов читатель может найти в приложении F, и прежде всего в пунктах 194-201 и 207-212 этого приложения.

134. Доза от местных и региональных операций топливного цикла по оценкам составляет 5,7 человеко-сивертов на 1 гВт(эл) в год; из них 0,5 относится к добыче, обогащению топлива и изготовлению топливных элементов, 4,2 - к эксплуатации реактора и 1,0 - к регенерации топлива. 90 процентов этой ожидаемой дозы получатся в течение одного года с момента сброса, а остальная часть в течение последующих нескольких лет. Для изотопов, которые рассеиваются по всему миру, коллективная ожидаемая доза составляет 670 человеко-сивертов на 1 гВт(эл) в год, 90 процентов которой накапливается в период между 10^4 и 10^8 лет с момента выброса. Показатели всех этих перспективных оценок приблизительны. Это особенно справедливо для отходов обогатительных фабрик, поскольку различные методы организации производства или изменения климата могут сократить значения величин на несколько порядков. Кроме того, переход к использованию реакторов-размножителей на быстрых нейтронах может сократить потребность в урановой руде на два порядка, что сократит ожидаемую дозу от выбросов этого реактора на такую же величину. Другие современные технологии топливного цикла могли бы привести к значительному сокращению выбросов.

135. Имеющиеся результаты исследований ожидаемой дозы в результате сбросов высокоактивных радиоактивных отходов в глубокозалегающие геологические формации показывают, что для периодов до нескольких тысяч лет их значение по сравнению с другими источниками ничтожно мало. Для периодов времени, превышающих 10 000 лет, соответствующая доля может достичь всего 0,1 - 1 процента общей усредненной ожидаемой дозы от выработки энергии на ядерных установках.

136. Для того чтобы оценить максимальную дозу, приходящуюся на душу населения, или среднюю годовую дозу в будущем в результате производства энергии на ядерных установках, следует использовать показатель неполной коллективной ожидаемой дозы за 500 лет. За этот период полностью поглощается местная и региональная ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза в результате выбросов на эксплуатационной стадии ядерного топливного цикла. Для изотопов, рассеивающихся по всему миру, неполная коллективная ожидаемая доза за 500 лет составляет 18 человеко-сивертов на 1 гВт(эл) в год. Выбранный срок в 500 лет представляет собой среднюю продолжительность практического производства энергии за счет реакции деления и предполагает использование реакторов-множителей, которое привело бы к сокращению темпов добычи. Неполная коллективная ожидаемая доза от добычи и переработки, основанная на используемом в настоящее время топливном цикле, берется, поэтому, за столетний период, и, по всей вероятности, будет происходить лишь за счет случайных выбросов, давая 2,5 человеко-сивертов на 1 гВт(эл) в год. Таким образом, исходя из осторожных оценок, что не будет внедрено никаких технических усовершенствований и что нынешний уровень выбросов сохранится в ближайшие 500 лет на прежнем уровне, максимальная годовая коллективная доза составила бы примерно 25 человеко-сивертов на 1 гВт(эл) в год. Годовые коллективные и индивидуальные дозы для предполагаемой ядерной программы 2500 года показаны в таблице 5, также исходя из того, что сохранятся нынешние уровни выбросов и что к 2500 году производство электроэнергии достигнет примерно 10^4 гВт(эл) в год. Из таблицы видно, что, даже исходя из максимальных предпосылок, уровень годовой индивидуальной дозы за счет выбросов увеличился бы до величины, эквивалентной 1 проценту средней дозы от естественной фоновой радиации. После прекращения производства энергии таким способом индивидуальные дозы сократились бы через 100 лет до примерно 1 процента величины, соответствующей моменту прекращения производства.

Таблица 5

Годовые индивидуальные дозы в результате постоянного производства электроэнергии на ядерных станциях до 2500 года

Показатель	Годы			
	1980	2000	2100	2500
Прогнозируемое годовое производство ядерной энергии (гВт(эл) в год)	80	1 000	10 000	10 000
Годовая коллективная эффективная доза (человеко-сиверт)	500	10 000	200 000	250 000
Население мира (млрд. человек)	4	10	10	10
Годовая индивидуальная доза (микросиверт)	0,1	1	20	25
Процентная доля от среднего облучения естественными источниками радиации (%)	0,005	0,05	1	1

137. Вновь следует обратить внимание на тот факт, что экстраполирование в будущее весьма неопределенно и в большой степени предположительно; так, например, разработка новых концепций радиационной защиты, ужесточение требований к конструкциям новых и техническая модернизация электростанций старых за последнее десятилетие привело к снижению выбросов в окружающую среду, несмотря на увеличение выработки электроэнергии на этих станциях.

138. Комитет предпринял первую попытку оценить коллективную ожидаемую дозу в результате случайных выбросов радиоактивных материалов на примере двух крупных аварий, по которым имеются данные об облучении населения и окружающей среды. Оказалось невозможным на основе этих двух аварий ретроспективно оценить компонент коллективной ожидаемой дозы, относящейся к случайному выбросу радиоактивных веществ в процессе выработки электроэнергии на атомных станциях.

5. Профессиональное облучение 11/

139. КОМИТЕТ ПЕРЕСМОТРЕЛ СДЕЛАННЫЕ ИМ ОЦЕНКИ СРЕДНИХ ДОЗ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ГРУППАМИ РАБОЧИХ, И КОЛЛЕКТИВНЫХ ДОЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРОФЕССИЙ. БЫЛА УТОЧНЕНА РАЗРАБОТАННАЯ В ПРЕДШЕСТВУЮЩЕМ ДОКЛАДЕ МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ПРИГОДНЫХ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭТОГО АНАЛИЗА КОМИТЕТ СМОГ ОЦЕНИТЬ КОЛЛЕКТИВНЫЕ ДОЗЫ ДЛЯ РЯДА ПРОФЕССИЙ И ВЫДЕЛИТЬ НЕСКОЛЬКО ГРУПП РАБОТНИКОВ, ДЛЯ КОТОРЫХ СРЕДНЯЯ ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ВЫШЕ, ЧЕМ ДЛЯ ДРУГИХ ГРУПП. АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА ЭТИХ ДОЗ МОЖЕТ БЫТЬ РАЗНОЙ НА РАЗНЫХ УСТАНОВКАХ И У РАЗНЫХ РАБОТНИКОВ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ СХОДНЫЕ ОПЕРАЦИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ. ОДНАКО ДЛЯ ОБЫЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УРОВНИ ЭТИХ ДОЗ ОТЛИЧАЮТСЯ, КАК ПРАВИЛО, НЕ БОЛЕЕ ЧЕМ НА 50 ПРОЦЕНТОВ ОТ УТВЕРЖДЕННЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДОЗ.

140. Как и прежде Комитет обновил и проанализировал имеющуюся информацию о дозе радиации различных категорий работников во время их профессиональной деятельности. Знание данных о профессиональном облучении, как индивидуальном, так и коллективном, необходимо для оценки тенденций изменения доз, получаемых при различных видах деятельности; для оценки уровней риска для отдельных рабочих с подобными рисками для других профессий; и для оценки общей радиологической опасности на единицу работы для населения от различных источников. Расхождения в общей методологии обследования подверженных облучению работников в разных странах, а также технические трудности объясняют неоднородность имеющихся данных и в некоторой степени ограничивают их полезность. Однако Комитет считает, что осторожный анализ имеющейся информации может все же оказаться полезным, и по крайней мере может дать некоторую объективную фактологическую основу для выяснения вышеупомянутых вопросов.

141. В предыдущем докладе Комитет предложил некоторые параметры распределения доз, которые были бы полезны для сравнения, и предложил использовать эталонное распределение исключительно для целей взаимного сравнения. Логарифмическая форма распределения предназначалась для того, чтобы отражать тот факт, что во многих профессиях, где существует вероятность радиационного облучения, многие рабочие получают небольшие дозы и лишь немногие получают относительно большие дозы. Такое эталонное распределение привлекло к себе излишнее внимание, поэтому Комитет сейчас пересмотрел применяемые им способы анализа, с тем чтобы можно было проводить прямое сравнение распределения доз в стандартном диапазоне значений. К параметрам, отобраным для сравнений, относятся: годовая коллективная доза, средняя, которая зависит от числа охваченных рабочих; и доля коллективной дозы, полученная при годовых индивидуальных дозах, превышающих определенный уровень, принимаемый за 15 миллигреев. Все более широкое применение этого метода анализа свидетельствует о его полезности, и Комитет хотел бы отметить необходимость сообщать данные о дозах таким образом, который способствовал проведению такого анализа.

11/ Этот вопрос подробно рассматривается в приложении Н "Профессиональное облучение".

Таблица 6

Обобщение коллективных эффективных эквивалентных доз
в пересчете на единицу выработанной энергии, полученных
работниками, занятыми на различных этапах ядерного
топливного цикла

Вид деятельности	Коллективные эффективные эквивалентные дозы на единицу выработанной энергии (человеко-сиверты на 1 гВт[эл]. год)
Добыча и обогащение	1
Производство топлива	1
Эксплуатация реактора	10
Регенерация топлива	10
Исследования в области ядерной техники	5
ИТОГО	~ 30

142. Работа Комитета охватывала несколько различных классов профессионального облучения. В отношении ядерного топливного цикла систематически рассматривались вопросы, связанные с облучением работников при добыче и обогащении, производстве топлива, при различных операциях, связанными с ядерными энергореакторами, при регенерации топлива и при научных исследованиях и разработках реакторной техники. По этим проблемам поступает все больше информации, из которой явствует, что большая часть дозы, получаемой большими группами лиц, приходится на лиц, занятых на добыче урана. Возможно также рассчитать дозу облучения в пересчете на единицу работы. Таким образом, общая годовая эквивалентная коллективная доза для работников, занятых во всех вышеперечисленных операциях, исчисляется в объеме примерно 30 человеко-сивертов на 1 гВт.год; более подробная разбивка в таблице 6 показывает, что эксплуатация реактора и регенерация топлива дают подавляющую часть профессионального облучения. В целом данные не содержат каких-либо значительных расхождений от предыдущих оценок Комитета. Однако трудно выделить исследование, которое было бы конкретно направлено на изучение ядерного топливного цикла, и поэтому невозможно сделать точную оценку этого компонента; есть свидетельства тому, что этот вид деятельности дает меньшие дозы на единицу проделанной работы, чем сообщалось ранее. Исходя из производства электроэнергии на ядерных станциях в 1979 году в объеме 70 гВт, коллективная доза профессионального облучения в тот год составила примерно 2 000 человеко-сивертов.

143. К другим изученным видам профессионального облучения относятся: использование в медицине и промышленности, а также научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с использованием излучения и

радиоизотопов. Хотя индивидуальные дозы, полученные медицинскими работниками могут быть существенными, общая сумма этих доз относительно мала. О ее величине можно судить на основе годовой эквивалентной коллективной дозы на 1 млн. населения; этот показатель для каждой страны различен, но разумное значение для стран с высоким уровнем медицинского обслуживания составляет порядка 1 человеко-сиверта на 1 млн. человек. Были выявлены некоторые случаи промышленного использования излучения, по которым требуется больше информации особенно в отношении промышленных рентгенологов. Другие крупные группы, подверженные излучению включают экипажи воздушных судов, шахтеры неурановых рудников. Общая доза, приходящаяся на все эти профессии, включая исследования по неядерному производству энергии, составляет примерно 1,5 человеко-сиверта на 1 млн. человек.

I44. Комитет обобщил и проанализировал представленную ему информацию, касающуюся случайного облучения людей, подверженных профессиональному облучению. Данные показывают, что к категории наиболее подверженных облучению работников неизменно относится промышленные рентгенологи, в первую очередь те из них, которые работают с мобильными источниками. Неправильное обращение с источниками и оборудованием, в совокупности с высокой вероятностью отказа оборудования, недостаточная подготовка и человеческие ошибки являются, по-видимому, одной из наиболее распространенных причин этих происшествий. В первые годы освоения ядерной энергии имелись случаи серьезных аварий с несколькими смертельными случаями. Общее количество происшествий и аварий, о которых имеются сведения, выглядит весьма небольшим по сравнению с большим количеством людей, использующих излучение или радиоактивность в своей работе, но распределение аварий по различным видам работы в весьма неоднородно.

I45. Комитет дал ряд рекомендаций относительно областей, в которых для получения необходимой информации необходим дальнейший анализ данных; в частности, эту работу в отношении структуры накопления дозы на протяжении периода работы наилучшим образом может быть проделано лицами, собирающими эти данные. В случае осуществления этих рекомендаций следует ожидать получения через несколько лет более ясной картины общего состояния профессиональной подверженности облучению во всех областях работы.

6. Облучение, связанное с медициной I2/

I46. ОБЛУЧЕНИЕ, СВЯЗАННОЕ С МЕДИЦИНОЙ, ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗ И ВЕСЬМА НЕРАВНОМЕРНЫМ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ. ПОСЛЕДНИЙ ФАКТ ОБЪЯСНЯЕТ ПОЛЕЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТАКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ, КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА. НО ЭТОТ ПОКАЗАТЕЛЬ ОБЛАДАЕТ СУЩЕСТВЕННЫМИ НЕДОСТАТКАМИ ПРИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ОТНОШЕНИИ ПАЦИЕНТОВ. ТЕМ НЕ МЕНЕЕ ОСТОРОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВРЕД, НАНОСИМЫЙ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ МЕДИЦИНСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ, МОЖЕТ ОТЛИЧАТЬСЯ ОТ ТОГО, О ЧЕМ СООБЩАЛОСЬ В ПРЕДЫДУЩИХ ДОКЛАДАХ, ГДЕ ОСНОВНОЕ ВНИМАНИЕ УДЕЛЯЛОСЬ ГЕНЕТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫМ И СРЕДНИМ ДОЗАМ, ПОЛУЧЕННЫМ КОСТНЫМ МОЗГОМ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, КАСАЮЩАЯСЯ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ В НЕКОТОРЫХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАНАХ, УКАЗЫВАЕТ НА ТО, ЧТО ДВЕ ТРЕТИ НАСЕЛЕНИЯ МИРА ПРОЖИВАЕТ В СТРАНАХ, ГДЕ ЧАСТОТА РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ, ПО-ВИДИМОМУ, НА ПОРЯДОК НИЖЕ, ЧЕМ В РАЗВИТЫХ СТРАНАХ.

I47. Важным элементом годовой коллективной дозы является облучение во время радиотерапевтических процедур. Лечебное облучение является крупнейшим искусственным источником доз облучения, получаемых населением, и в некоторых промышленно развитых странах его уровень приближается к уровню доз, получаемых от естественных источников. Основное отличие этого источника от других источников облучения заключается в том, что получают эти дозы, как правило, те же лица, которые должны получить непосредственную пользу от процедур с применением облучения.

I48. Радиация используется в медицине в диагностических целях или для лечения заболеваний, в первую очередь рака. Дозы, получаемые пациентами, весьма разнообразны - от весьма низких, как при большинстве диагностических осмотров, до крайне высоких, как при радиотерапии. Все индивидуальные дозы увеличивают коллективную дозу, полученную всем населением, однако основную часть этой коллективной дозы составляют не высокие дозы, полученные относительно небольшим количеством пациентов радиотерапии, а небольшие дозы, полученные многими лицами.

I49. Круг вопросов, охватываемых Комитетом при анализе уровней облучения во время медицинских осмотров или лечения, весьма широк. Во-первых, Комитет считает, что знание облучения отдельных лиц и групп в медицинских целях необходимо для того, чтобы соответствующим образом увязать эту информацию с данными о других источниках радиоактивного облучения людей. Во-вторых, необходимо анализировать дозы, полученные отдельными органами (и пределы их изменения) для различных видов радиологических обследований, с тем чтобы знать и сравнивать риски, связанные с отдельными видами медицинской практики. И, наконец, в результате проведения такого обследования может оказаться возможным выделить группу пациентов,

I2/ Этот вопрос подробно рассматривается в приложении G "Облучение, связанное с медициной".

подверженных высоким дозам, которую можно было бы проследить в перспективе в ходе эпидемиологических исследований для более точной оценки вероятности нежелательных побочных явлений, связанных с облучением.

I50. Учитывая масштабы компонента облучения, связанного с медициной, и огромные потенциальные возможности для значительного его снижения, Комитет неоднократно рассматривал имеющуюся по этой проблеме информацию, чтобы постоянно держать в поле зрения тенденции его развития. В предыдущих докладах особое внимание уделялось дозам, получаемым половыми железами для оценки возможной генетической опасности, связанной с облучением, путем определения так называемой генетически значимой дозы. В последнее время больше внимания уделяется дозам, получаемым другими органами в целях определения медицинских процедур, вызывающих особо высокие дозы облучения органов. Комитет сохранил эту тенденцию и в настоящем докладе.

I51. Комитет рассмотрел имеющуюся информацию об общей частоте диагностических рентгеновских обследований, указав, что их частота может составить порядка 300-900 обследований на 1 000 человек населения в год в промышленно развитых странах, за исключением массовых обследований и зубоврачебных осмотров. Обследование скелета и грудной клетки, по-видимому, является наиболее частыми для многих стран. Особые усилия прилагались для обследования совместно со Всемирной организацией здравоохранения состояния диагностической рентгенологии в развивающихся странах путем сбора информации о степени охвата населения радиологическими службами. Было выяснено, что оборудования крайне недостаточно, и оно неравномерно распределено по этим странам и что сельское население имеет ограниченный доступ к имеющимся учреждениям. В промышленно развитых странах документально зафиксирована явная тенденция к снижению индивидуальных доз для некоторых видов обследований, например, рентгенографии полости рта и маммографии.

I52. Дозы, поглощенные различными органами и тканями, представляющими интерес для Комитета, составили менее 0,01-50 миллирера за одно обследование с учетом всех видов радиодиагностических обследований. Особое внимание было уделено некоторым видам рентгеновских обследований по ряду причин: либо потому, что они весьма распространены и поэтому могут существенно увеличить коллективную дозу (например, осмотр полости рта); или поскольку в их ходе облучаются ткани с известной высокой подверженностью возникновения раковых заболеваний под действием излучения (например, маммография). В обоих случаях, вследствие улучшения технических условий облучения, документально зафиксирована тенденция к снижению доз, получаемых в ходе одного обследования.

I53. В двух развитых странах коллективная эффективная эквивалентная доза для диагностической радиологии составила, по сообщениям, примерно 600 и 1 800 человеко-сивертов на 1 млн. населения. Ввиду отсутствия каких-либо других данных Комитет, в качестве временной меры для целей данного доклада, использовал в качестве годовой коллективной эффективной эквивалентной дозы для развитых стран округленный показатель в 1 000 человеко-сивертов на

1 млн. населения, что соответствует примерно 50 процентам дозы облучения от естественных источников радиации. Соответствующий показатель для развивающихся стран может быть на один порядок ниже, так что взвешенный показатель для всего мира мог бы составить примерно 400 человеко-сивертов или около 20 процентов средней дозы облучения от естественных источников.

154. Медицинские обследования с применением радиоактивных веществ в целом составляют относительно небольшую долю дозы облучения населения медицинскими источниками по сравнению с диагностическими процедурами с использованием рентгеновских лучей. Однако величина коллективной эффективной эквивалентной дозы, как ожидается, будет весьма неоднородна ввиду различий радиологической практики в разных странах и различной структуры заболеваний в различных группах населения. В отношении радиотерапевтического облучения Комитет проанализировал данные МАГАТЭ и ВОЗ относительно наличия и использования радиотерапевтического оборудования во многих странах. Наряду с общей тенденцией к увеличению объема обслуживания эти данные говорят о весьма неравномерном его распределении между развитыми и развивающимися странами.

155. Что касается генетически значимой эквивалентной дозы, Комитет считает, что по приблизительной оценке, которую можно применить для развитых стран, по которым имеется определенная информация, она составляет примерно 0,1-0,2 миллизиверта в год, причем здесь учитываются все составляющие дозы, полученные в ходе медицинской практики. Соответствующие показатели для развивающихся стран были бы примерно на порядок ниже.

156. Комитет хотел бы выразить пожелание, чтобы статистические данные о медицинском облучении в будущем предоставлялись в такой форме, которая позволила бы более точно оценивать вышеуказанные величины.

7. Резюме и выводы

I57. В данном докладе Комитет использовал различные количественные показатели для оценки облучения изученных им источников излучения. Мощность индивидуальных эффективных эквивалентных доз использовалась для того, чтобы показать расхождение величин индивидуального облучения для разных мест, профессий, моментов времени и других факторов. Путем сложения показателей мощности всех индивидуальных эффективных эквивалентных доз были получены такие значения мощности коллективных эффективных эквивалентных доз, которые выражают для данного периода времени воздействие излучения в результате действия конкретного источника или осуществления той или иной практики.

I58. Представляет интерес изучение изменения во времени мощности коллективных эффективных эквивалентных доз за последние несколько десятилетий. На схеме IIa показана доля облучения в результате использования излучения в медицинских целях, ядерных взрывов в атмосфере и выработки электроэнергии на ядерных станциях, выраженная в процентах от средней дозы облучения естественными источниками. Величины показателей для медицинского облучения и выработки электроэнергии на ядерных станциях включают облучение работников и населения. По оценкам, доля облучения в результате медицинских процедур не изменилась существенно за эти годы, в то время как доля облучения за счет ядерных взрывов не имела однозначной тенденции, но после 1963 года в основном снижалась с небольшими вариациями под действием произведенных в более позднее время взрывов. Годовая коллективная эффективная эквивалентная доза за счет выработки электроэнергии с использованием ядерной энергии постоянно растет ввиду расширения программ ядерной энергетики, хотя ее величина существенно меньшего порядка.

I59. Несмотря на большое число неопределенностей, маловероятно, чтобы большая часть показателей, приведенных на схеме IIa, содержали ошибки на целый порядок, и поэтому они пригодны для общего рассмотрения. Среди различных источников излучения естественные источники со средней годовой эффективной эквивалентной дозой в 2,0 миллизиверта играют наиболее важное значение.

I60. Что касается искусственных источников, то наибольшая доля приходится на облучение в медицинских целях, особенно для диагностических целей. Средняя годовая эффективная эквивалентная доза за счет использования излучения для медицинских целей во всем мире оценивается в 0,4 миллизиверта, что соответствует примерно 20 процентам среднего годового облучения естественной фоновой радиацией. Комитет считает, что имеются хорошие потенциальные возможности для сокращения дозы, не нанося ущерба целям процедур, поскольку эта доза относительно высока, то польза от этого оживается большая.

I61. Суммирование значений коллективной эффективной эквивалентной дозы за определенный период времени дает кумулятивное значение коллективной эффективной эквивалентной дозы, которое считается пропорциональным общей величине вреда, наносимого здоровью данным источником или видом практики. Источники или виды практики могли бы включать,

ПРОЦЕНТАЯ ДОЛЯ ОТ СРЕДНЕЙ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ
ДОЗЫ ОТ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИАЦИИ

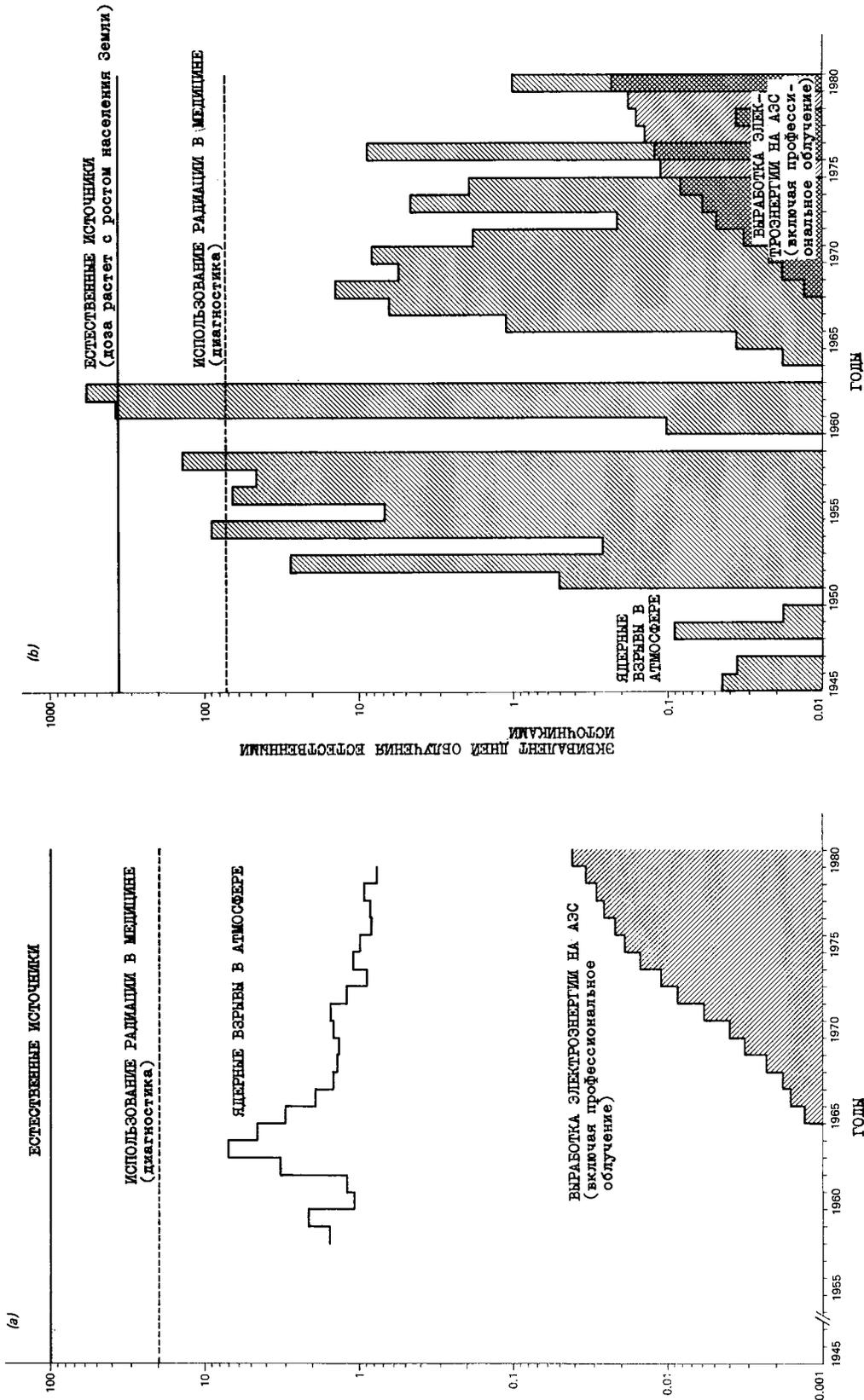


Схема II. Тенденции изменения во времени доз от различных источников излучения. а) Годовые эффективные эквивалентные дозы, выраженные в процентах от средней дозы облучения естественными источниками; б) увеличение коллективные эффективные эквивалентные дозы за год деятельности, выраженные в днях эквивалентного облучения естественными источниками.

например, ядерные взрывы в атмосфере, осуществленные до настоящего времени; или один год текущего производства электроэнергии за счет ядерного распада; или добыча одной тонны фосфатной руды. Ожидаемые глобальные коллективные эффективные эквивалентные дозы представляют собой наиболее удобные количественные показатели для сравнения ожидаемого вреда, наносимого облучением различными источниками излучения. Ожидаемая глобальная коллективная эффективная эквивалентная доза является наиболее удобным количественным показателем для сравнения ожидаемого вреда, наносимого облучением из различных источников излучения.

I62. В докладе 1977 года Комитет разработал таблицу, обобщающую ее оценку глобальных доз, в которой ожидаемые дозы для всего тела за счет различных источников были выражены в показателях длительности облучения естественными источниками радиации, которые вызывают такую же ожидаемую дозу. Этой форме представления было уделено большое внимание, поскольку она позволяет сравнивать различные источники в весьма удобном масштабе времени. Поэтому Комитет обновил ряд необходимых оценок, сравнивающих ожидаемые глобальные коллективные эффективные эквивалентные дозы, выраженные в днях облучения естественными источниками. На схеме IIb показаны на полулогарифмической шкале оценочные показатели такой коллективной эффективной дозы, в результате действия излучения в медицине для диагностических целей, в результате испытательных ядерных взрывов и выработки ядерной энергии за каждый год в период с 1945-1980 годов. Эти коллективные дозы выражены в показателях длительности облучения естественными источниками радиации, которые вызывают такую же дозу. Комитет исходил из того, что дозы естественного и медицинского облучения остались неизменными.

I63. Ожидаемые коллективные эффективные эквивалентные годовые дозы при испытательных ядерных взрывах в атмосфере достигли максимума в 1962 году, что соответствует примерно 1,6 года облучения естественными источниками; после этого полученные годовые дозы существенно снизились. Ожидаемые коллективные эффективные, эквивалентные годовые дозы при выработке ядерной энергии вплоть до настоящего времени постоянно растут.

I64. Для того чтобы избежать возможности неправильного толкования содержания схемы IIb, следует подчеркнуть два момента. Во-первых, представление облучения различными источниками на одной схеме следует рассматривать просто как один из способов иллюстрации относительной доли каждого вида в глобальной эффективной эквивалентной ожидаемой дозе. Это не означает выражения Комитетом какого-либо мнения в оправдание различных источников или видов деятельности на основе этических, социальных или экономических соображений. Во-вторых, такое представление было бы дезориентирующим без учета многочисленных замечаний, обсуждавшихся в предшествующих пунктах данного доклада и во всех научных Приложениях к нему.

I65. Ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза в результате всех ядерных взрывов, произведенных вплоть до конца 1980 года, соответствует примерно четырем годам естественного радиоактивного

облучения (схема IIb). Около 10 процентов ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы уже получено населением; оставшаяся часть, в основном в результате распада углерода-14, будет получена в течение последующих примерно 10 000 лет.

I66. Усредненная по всему миру ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза (экстраполированная на 500 лет) в результате годичной выработки ядерной энергии на уровне установленных мощностей 1980 года в 140 гВт (эл) соответствует примерно 5 часам естественного радиоактивного облучения (схема IIb). Этот оценочный показатель включает облучение работников, а также населения. Долговременная часть глобальной дозы облучения населения может в первом приближении рассматриваться как распределяющаяся в пространстве равномерно в течение срока получения дозы, однако краткосрочная доля дозы распределяется неравномерно вокруг ядерных установок. Комитет проанализировал величину такой неравномерности и таким образом косвенно указал условия дальнейшего улучшения существующего положения путем принятия мер на национальной и международной основе. Исходя из того, что до 2000 года не произойдет каких-либо изменений в ожидаемой коллективной дозе в расчете на единицу осуществляемой деятельности за год производства энергии при прогнозируемой установленной мощности ядерных установок в 1000-1600 гВт (эл) можно сделать вывод, что ожидаемая глобальная эквивалентная доза (ограниченная сроком в 500 лет) составит, включая профессиональное облучение, около 2 дней фонового радиоактивного облучения. Такое предположение может, однако, оказаться нереалистичным в результате развития техники и эволюции регулирующей деятельности.

I67. Ожидаемая общая коллективная эффективная эквивалентная доза в результате выработки электроэнергии на атомных электростанциях до настоящего времени оценивается как примерно соответствующая одному дню среднего фонового облучения (схема IIb). Это значение экстраполировано на 500 лет и включает облучение работников и население.

I68. Другие источники излучения дают значительно меньшие ожидаемые коллективные эффективные эквивалентные дозы и не требуют особых комментариев.

I69. Описанное положение требует дальнейшего рассмотрения через соответствующие промежутки времени, чтобы держать в поле зрения тенденции, выявлять возможные отклонения от предсказываемых значений и для дальнейшего уточнения оценок. Тем временем более уместным было бы не проведение всеобъемлющих оценок, а детальное изучение избранных пробов.

С. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ

1. Генетическое действие радиации I3/

I70. НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ОБЛАСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ ДАЛИ НОВУЮ НАУЧНУЮ ИНФОРМАЦИЮ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАСЛЕДСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ОНИ ТАКЖЕ ПОДТВЕРДИЛИ УВЕРЕННОСТЬ КОМИТЕТА В ТОМ, ЧТО ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ, ИСПОЛЬЗОВАВШИЕСЯ РАНЕЕ ДЛЯ ЭТИХ ЦЕЛЕЙ, ПО-ПРЕЖНЕМУ ПРИМЕНИМЫ В СВЕТЕ ИМЕЮЩИХСЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ЗНАНИЙ. НЕ ПРОИЗОШЛО СКОЛЬ-НИБУДЬ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ, СДЕЛАННЫХ РАНЕЕ ОЦЕНОК ГЕНЕТИЧЕСКОГО РИСКА.

I71. Достоверно установлено, что существенная доля всех зачатий имеет генетические аномалии, т.е. несет в себе возможность произвольного возникновения наследственных дефектов. Наиболее серьезные нарушения генетической структуры несовместимы с жизнью и вызывают прекращение беременности. По некоторым оценкам, около половины всех клинически диагностированных самопроизвольных выкидышей имеет аномальный генетический состав. Некоторые генетические отклонения, однако, совместимы с жизнью, но лица, живущие с ними, страдают отклонениями от нормы (начиная с болезней, вызывающих серьезные увечья и инвалидность, и кончая достаточно небольшими отклонениями) на том или ином этапе своей жизни после рождения. Обследования населения показывают, что около 10 процентов всех живорожденных детей имеют тот или иной вид генетических или частично генетических дефектов различной степени серьезности.

I72. Также хорошо известно, что многие токсичные агенты, и в особенности ионизирующее излучение, способны увеличивать вероятность унаследования вредных свойств. При взаимодействии радиации с генетическим материалом половых клеток мужских и женских половых желез может произойти повреждение этого материала. Если это повреждение передается затем потомству облученного лица, оно может вызвать разнообразные клинические отклонения, как например в случае спонтанных явлений, которые могут создать существенные трудности для подвергшихся им лиц, их семьи и общества в целом. Поэтому весьма важно оценить степень, в какой может увеличиться частотность спонтанных генетических дефектов под действием радиоактивного облучения.

I73. Действие радиации на генетический материал можно произвольно сгруппировать в соответствии с его видом на два класса: генные мутации и хромосомные аберрации. Генные мутации — передаваемые по наследству изменения элементарных единиц наследственности, называемых генами. В практических целях они классифицируются далее на доминантные мутации, когда их влияние сказывается на прямом потомстве лиц, у которых они возникли или были индуцированы;

I3/ Эта проблема подробно рассматривается в приложении I "Генетическое действие радиации".

и рецессивные мутации, которые могут не проявиться у прямого потомства и проявляются лишь в тех случаях, когда лицо получает одинаково мутированные гены от обоих родителей. У людей, как и у всех двоюродных видов, возможность такого события мала, за исключением тех случаев, когда родители являются родственниками. Таким образом, рецессивные мутации будут скрытно передаваться от одного поколения к другому и сохраняться до тех пор, пока случайно два лица, несущие одинаково мутированные гены, не произведут потомства, и рецессивные мутации, имевшие место (или индуцированные) ранее, обнаружатся. Большая часть генных мутаций точно не подпадает ни под одну из вышеупомянутых категорий; на практике, там, где было возможно детально изучить эти последствия, были обнаружены мутации всех степеней от чисто доминантных до чисто рецессивных.

I74. Хромосомные aberrации можно разбить на неизменяющие нормального числа хромосом (количественные aberrации) и изменяющие структуру самих хромосом (структурные aberrации). Количественные aberrации, в результате которых происходит исчезновение или проявление целых хромосом, имеют серьезнейшие клинические последствия, например, синдром Тернера, когда женщина имеет лишь одну X-хромосому вместо обычных двух, или синдром Дауна, когда у человека появляется вторая хромосома № 21. При разрушении хромосом или их объединении в новые структуры, которые могут привести к потере или появлению новых частей хромосом (упразднение или дубликации) у лиц с таким хромосомным составом могут также обнаружиться аномалии.

I75. Комитет рассмотрел все данные, полученные им после опубликования его доклада в 1977 году, и разбил новые данные на следующие четыре группы:

- а) данные, подтверждающие сделанные ранее выводы и дающие новые доказательства;
- б) данные, расширяющие фактологическую основу некоторых предположений, на основе которых уже делались оценки рисков;
- с) данные, которые могут оказаться полезными для некоторых качественных оценок, но не для количественного анализа;
- д) данные, которые можно рассматривать как потенциально важные для улучшения наших оценок генетической опасности, которую представляет собой облучение ионизирующей радиацией.

I76. Данные, подтверждающие прежние выводы, были получены в результате исследований на экспериментальных животных. Эти данные упрочили наши прежние знания данными по более широкому спектру доз радиации и условий облучения (внутреннее и внешнее облучение, различные мощности доз) нескольких видов млекопитающих, многих этапов развития половых клеток и генетических окончаний. В целом эти новые результаты упрочили наши знания о виде зависимости между дозой и реакцией на нее в половых клетках самцов и самок, на которых должны быть основаны оценки индуцирования генетических дефектов. Они также укрепили доверие к необходимым выводам, сделанным на основе данных по животным, относительно оценки генетических последствий для людей.

I77. В исследованиях на людях новые данные упрочили базу для проведения нами оценок спонтанного возникновения различных генетических дефектов; однако информация о радиационно индуцированных изменениях у потомства облученных родителей по-прежнему ограничена. Достижения техники могут позволить непосредственно оценивать некоторые виды повреждений генетического материала облученных лиц. Интенсивные исследования по-прежнему ведутся по проблеме выявления возможной генетической базы некоторых соматических дефектов; результаты показывают, что ряд генетических заболеваний людей связан с повышенной чувствительностью к радиоактивному излучению и наследственной склонностью к неоплазии.

I78. Были получены новые данные относительно предпосылок, используемых при оценках рисков. Так, например, новые результаты экспериментов на бактериях и дрожжах подтверждают одну из основополагающих предпосылок метода косвенной оценки риска, которая состоит в том, что существует определенная зависимость между уровнями спонтанных и индуцированных мутаций определенных генов. Новые данные подтвердили также, что применительно к облучению людей мутационная стойкость женских половых клеток выше, чем мужских.

I79. Имеются сообщения об успехах, которые могут иметь отношение к оценке генетического риска для людей, по крайней мере в качественном отношении. Это относится к обнаружению учащения хромосомных аберраций в соматических клетках:

- а) групп населения, проживающих в условиях высокой естественной фоновой радиации;
- б) групп, подверженных профессиональному облучению;
- с) лиц, переживших атомные бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки.

Другие данные касаются возможного клинического значения спонтанных хромосомных аномалий (сбалансированных транслокаций, например), - темы, которой прежде уделялось мало внимания. И наконец, подробные цитогенетические исследования хромосомной эволюции приматов указывают на потенциальные возможности использования эволюционного сходства для выдвижения предположений относительно природы и последствий некоторых хромосомных изменений, индуцированных радиацией или другими токсичными внешними агентами. Вопрос о значении рецессивных мутаций, как спонтанных, так и индуцированных, был и остается одним из вопросов, на который в настоящее время трудно дать надежные ответы в количественных показателях.

I80. Хотя оценки генетического риска выражаются определенным числом случаев серьезных генетических дефектов на единицу дозы облучения населения, такой способ выражения риска не отражает в достаточной степени вреда или воздействия этих заболеваний на отдельное лицо, его семью, лечебные учреждения и общество в целом. В данном докладе делается первая попытка получения показателя вреда, наносимого спонтанно возникающим и индуцированным радиацией генетическими заболеваниями. С этой целью Комитет использовал определенные поддающиеся

количественной оценке критерии, например, продолжительность жизни до смерти или до начала заболевания. Признавая, что вышеупомянутые критерии все же недостаточны, Комитет тем не менее считает эту попытку одним из возможных способов определения риска в социально значимых показателях.

181. Основной целью проделанного Комитетом обзора была оценка возможных генетических рисков радиоактивного облучения людей. Прямые данные, полученные при наблюдении людей, особенно касающиеся малых доз и уровней доз по-прежнему весьма ограничены, Комитет и по-прежнему вынужден делать оценки на основе данных, полученных на мышах и, иногда, на приматах. При использовании таких экспериментальных данных для оценки ожидаемого воздействия на людей необходимо учитывать ряд предпосылок. К наиболее важным относятся следующие:

а) если нет фактов, свидетельствующих о противоположном, то степень генетических повреждений, наносимых данным видом радиации при данных условиях, одинакова как половых клетках подобитных видов, так и в тех же клетках людей;

б) физико-биологические факторы определяют обширность повреждений одинаковым образом и в одинаковой степени у людей и у подопытных животных.

Комитет вновь подчеркивает неопределенности и ограничения процесса экстраполяции и сделанных на ее основе выводов.

I82. Как и ранее, для получения оценок генетических рисков использовались два метода. Прямым методом оценивается степень конкретного вида (или видов) генетических повреждений подопытных животных. Эта оценка, с введением соответствующих корректирующих факторов, выражается затем в показателях ожидаемых последствий для потомства облученных лиц. При методе косвенной оценки (или удваивающей дозы) сначала производится оценка дозы радиации, которая вызовет количество мутации, равное количеству спонтанных мутаций у подопытных животных. Средняя величина оценки для различных категорий повреждений является "удваивающей дозой" для обследуемых видов. Исходя из предпосылки, что удваивающая доза, определенная таким образом, применима к человеку, и принимая во внимание текущую частоту генетических заболеваний у людей, затем вычисляется ожидаемое увеличение количества заболеваний на единицу дозы радиации.

I83. С использованием прямого метода Комитета в 1977 году сделал оценку, что риск индуцирования мутационного повреждения в первом поколении после облучения особей мужского пола (малая доза, малая интенсивность дозы, малая продолжительность облучения) составит порядка 2 000 случаев серьезных генетических отклонений на гр./млн. потомков. В основу этого расчета легли результаты исследований возникновения преобладающих скелетных мутаций самцов мыши. Не было получено каких-либо новых данных о скелетных мутациях, которые могли бы свидетельствовать о необходимости изменения этой оценки. Комитет в настоящее время сделал еще одну независимую оценку на основе индукции доминантных мутаций, вызывающих катаракту глаза после облучения самцов мыши. Новый оценочный показатель в 1 000 случаев на 1 млн. человек на 1 гр. облучения родителей в достаточной степени соответствует показателю в 2 000/млн./гр., выведенным на основе скелетных мутаций.

I84. Сопоставимость этих показателей подтверждает точку зрения, что порядок величины этих оценок, вероятно, правильный. Однако следует отметить, что такие оценки, какими бы близкими они ни были, делаются на основе ряда предположений и могут быть пересмотрены в свете новых достижений научной мысли. Оценки риска для потомства облученных женщин невозможно получить с использованием этого же подхода ввиду отсутствия соответствующих экспериментальных данных. Производные от других данных, однако, указывают на меньшую и, возможно, значительно меньшую чувствительность женских половых клеток по сравнению с клетками мужскими, при малой дозе, дозе малой мощности и при малой длительности облучения.

I85. Комитет мог также сделать переоценку рисков индуцированных двусторонних транслокаций на основе новых данных исследований на макаках-резусах, а также на основе полученных ранее данных на мартышках и людях. Показатели этого риска в настоящее время оцениваются в пределах примерно 30-1 000 случаев отклонений внутриматочного развития детей на 1 млн. зачатий/гр. облучения родителей (малая доза, доза малой мощности, малая длительность облучения). Эти случаи представляли бы собой отклонение от несбалансированных последствий индуцированных радиацией сбалансированных двусторонних транслокаций. Однако ввиду отсутствия достаточного количества данных относительно таких транслокаций в самих носителях невозможно дать надежную оценку

значения сбалансированных двусторонних транслокаций как таковых для нарушения здоровья человека. Что касается риска индукции двусторонних транслокаций в особях женского пола, то не было получено каких-либо новых данных. В этом случае выводы, сделанные на основе имеющихся данных, поддерживают точку зрения Комитета, выраженную в докладе 1977 года, что этот риск, по всей вероятности, незначителен. Такой же вывод можно было бы сделать и относительно структурных отклонений в хромосомах, за исключением тех видов отклонений, о которых говорилось выше.

186. На основе косвенного метода, или метода удвоения дозы, Комитет в 1977 году сделал оценку, что при постоянном облучении населения малыми дозами малой длительности интенсивность 0,01 гр. в течение жизни одного поколения (одно поколение = 30 лет) можно было бы ожидать 63 новых случая генетических заболеваний на 1 млн. потомства первого поколения (20 от индукции доминантных и X-мутаций, 38 - хромосомных, 5 - с комплексной этиологией). При достижении равновесия (которое было бы достигнуто после различного числа поколений, в зависимости от категории генетического заболевания) это число достигло бы 185 случаев на 1 млн. потомства (100 - от индукции доминантных и X-мутаций, 40 - хромосомных заболеваний и 45 заболеваний, связанных с комплексной этиологией).

187. Проведенный недавно анализ позволил несколько уточнить эти оценки. Во-первых, было показано, что для доминантных и связанных с X-хромосомами заболеваний рост показателя для первого поколения, по всей вероятности, составит около 15 процентов их общего количества при наступлении равновесия (т.е. для низкого ЛЕТ-облучения, малой дозой радиации уровня 0,01 гр. за время жизни одного поколения, 15 случаев на 1 млн. рождений, установившаяся частота останется на прежнем уровне - 100 случаев на 1 млн. рождений; или для уровня облучения в 1 гр. на одно поколение - 1 500 случаев на 1 млн. рождений в первом поколении и 10 000 случаев на 1 млн. рождений при наступлении равновесия). Во-вторых, большая часть включенных заболеваний, входящих в категорию хромосомных аномалий, связана с изменением их числа. В 1977 году рост (под действием радиации в установленных условиях) для этого класса заболеваний был оценен, исходя из удваивающей дозы в 1 гр., как и для других категорий генетических нарушений. Однако данные, полученные на экспериментальных животных и человеке, указывают на вероятность того, что удваивающая доза в 1 гр. может оказаться неприменимой к хромосомным заболеваниям, связанным с изменением их числа. Комитет поэтому использовал вышеупомянутую удваивающую дозу лишь для тех хромосомных заболеваний, которые происходят в результате структурных искажений хромосом, и рассчитал оценочный показатель величиной 240 и 400 случаев на 1 млн. потомства, соответственно, в первом поколении и при наступлении равновесия, когда население получает 1 гр. в течение жизни одного поколения при стандартных условиях. Не произошло каких-либо изменений и в оценках, касающихся заболеваний, связанных с комплексной этиологией (например, показатели 450 и 4 500 на 1 млн. потомства, соответственно, в первом поколении и при наступлении равновесия по-прежнему действительно для радиационного облучения в 1 гр. в течение жизни одного поколения при стандартных условиях).

188. Обобщая вышесказанное, можно отметить, что на основе метода удваивающей дозы Комитет считает, что при облучении населения лучами

низкого уровня ЛЕТ при небольших дозах и мощности дозы в 1 Гр. в течение одного поколения, ожидаемое увеличение вероятности генетических заболеваний составит около 2 200 случаев на 1 млн. потомства первого поколения (т.е. 1 500 + 240 + 450 ~~на~~ 2 200) и около 15 000 на 1 млн. потомства при наступлении равновесия (т.е. 10 000 + 400 + 4 500 ~~на~~ 15 000).

2. Нестохастическое действие облучения на нормальные ткани I4/

I89. КОГДА РАДИАЦИЯ УБИВАЕТ ДОСТАТОЧНО БОЛЬШОЕ ЧИСЛО КЛЕТОК, ОНА НАНОСИТ ТКАНЯМ АНАТОМИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ. ДОЗЫ, НЕ ПРЕВЫШАЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, РАЗЛИЧНЫЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОСЛЕДСТВИЙ И ТКАНЕЙ, МОГУТ ВЫЗЫВАТЬ ОБНАРУЖИВАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ, НО ДЛЯ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ, КАК ПРАВИЛО, НЕОБХОДИМЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫСОКИЕ ДОЗЫ. ДЛЯ ЕДИНОВРЕМЕННЫХ ЗАПОРГОВЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ВСЕГО ТЕЛА КРИТИЧЕСКОЙ ТКАНЬЮ ДЛЯ ВЫЖИВАНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ КОСТНЫЙ МОЗГ. ОДНАКО АКТИВНЫЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБНОСТИ КОСТНОГО МОЗГА ПОЗВОЛЯЮТ ЕМУ ВЫДЕРЖИВАТЬ ГОРАЗДО БОЛЬШИЕ ДОЗЫ, ЕСЛИ ОНИ ПОЛУЧЕНЫ НА ПРОТЯЖЕНИИ ДЛИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА. ПРИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМ ИЛИ ФРАКЦИОНИРОВАННОМ ОБЛУЧЕНИИ ПОТЕРЯ ФУНКЦИИ ДРУГИХ ТКАНЕЙ (НАПРИМЕР, ПОЛОВОЙ ЖЕЛЕЗЫ ИЛИ ЗРАЧКА ГЛАЗА) МОЖЕТ НАСТУПИТЬ ПРИ МЕНЬШИХ ДОЗАХ. КОМИТЕТ В СВОЕМ ОБЗОРЕ ИЗУЧАЕТ ДЛЯ ВСЕХ ВАЖНЫХ ВИДОВ ТКАНЕЙ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДОЗОЙ И ВРЕМЕНЕМ, КОГДА РАЗЛИЧНЫЕ НАРУШЕНИЯ СТАНОВЯТСЯ КРИТИЧЕСКИМИ. КОМИТЕТ ОБСУЖДАЕТ ТАКЖЕ ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ВАЖНОСТЬ ДРУГИХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ.

I90. После 1962 года Комитет не проводил никакого систематического анализа морфологических и функциональных изменений облученных нормальных тканей. Целью настоящего обзора было, во-первых, определить для каждого вида тканей и для различных условий облучения, виды воздействия и дозы, которые могут иметь критическое значение для функционирования этой ткани; и, во-вторых, проанализировать основные физические и биологические факторы, которые определяют эти дозы и последствия. Для достижения этих целей необходимо комплексное исследование зависимости "доза-время" для каждого вида ткани на основе данных, полученных на животных и клинического действия на людей.

I91. Исследование было ограничено нестохастическими эффектами. Эти эффекты возникают, когда большая доля клеток ткани подвергается облучению, в результате чего происходит анатомическое или функциональное повреждение ткани. Как правило, для обнаружения нестохастических изменений требуется определенная минимальная доза, называемая пороговой. С увеличением дозы возрастает серьезность повреждения ткани. Время появления повреждения тканей весьма разнообразно и колеблется в зависимости от вида воздействия и характеристик конкретной ткани от нескольких часов или дней до многих лет после облучения.

I92. Концепцию пороговой дозы трудно определить и ее следует обсудить для каждого вида ткани и эффекта, поскольку ее величина в огромной степени зависит от чувствительности средств обнаружения. Необходимо также проводить различие между пороговым обнаружением любого последствия, каким бы малым и незаметным оно ни было, и порогом проявления клинических изменений с явными патологическими последствиями. Признавая, что эти концепции имеют важные практические

I4/ Данный вопрос подробно рассматривается в приложении "Нестохастическое действие облучения".

последствия, Комитет считал, что подробное обсуждение патологии ткани выходило за круг вопросов, охватываемых исследованием, которое предусматривало прежде всего оценку последствий, о которых имеются сведения, а не оценку их значения для практических целей.

193. Имеющаяся информация по этим проблемам весьма обширна, и поэтому необходимо относиться к ней не как к материалу для обобщений, а как основы для интерпретации. Этому способствовало существенное углубление знаний основных механизмов влияния облучения на клетки и ткани. В основе обзора Комитета лежит предпосылка, что нестохастические изменения в конкретной ткани под действием радиации зависят прежде всего от уровня поражения составляющих его клеток, и что степень и время поражения зависят от особенностей организации и функционирования каждой конкретной ткани. Поэтому необходимо было, во-первых, обсудить основные радиологические концепции, обобщить действие радиации на клетки и ткани, феномен восстановления, функциональные структуры ткани и индуцированные в них радиацией изменения. Все это рассматривалось в качестве обобщающей основы специализированного и систематического анализа действия на различные ткани.

194. Хотя данные, полученные при обследовании людей, Комитет рассматривал отдельно от других данных, полученных на животных, для целей настоящего доклада сходства между наблюдаемыми эффектами позволяют использовать как те, так и другие фактические данные с необходимыми оговорками во избежание расхождений. Дозы, о которых говорится в данном подразделе, представляют собой поглощенные дозы рентгеновского или гамма-излучения в греях (Гр), полученные в ходе обычной фракционированной радиотерапии, если иное не оговорено.

195. Реакция кожи на облучение различна, начиная с временного покраснения и выпадения волос, до атрофии постоянной эпиляции, изменения цвета, анатомических изменений кровеносных сосудов, появления язв и некроза. Для возникновения заметных изменений в кожном покрове животных под воздействием внешнего рентгеновского и гамма-облучения, как правило, необходимы мощные дозы порядка 7-10 Гр. Однако, поскольку этот вид ткани обладает огромным потенциалом восстановления, она выдерживает в 5 раз более мощную дозу радиации, если она получена в течение нескольких недель или месяцев. Наблюдения за пациентами прошедшими курс радиотерапии подтверждают эти выводы. При однократном облучении временное выпадение волос наблюдается после 3-5 Гр., а незначительные обратимые изменения кожного покрова происходят, как правило, после 1-2 Гр. Однако кожа человека может получить до 50-60 Гр. в течение 6 недель без развития серьезных последствий. Важное значение имеют площадь и глубина облучаемого кожного покрова, причем серьезные изменения возникают от облучения большего участка более глубоких слоев. Известно, что на уровень пороговой дозы влияют и другие биологические переменные, к которым относятся анатомическое место расположения кожного покрова, возраст облученного лица и нормальный цвет кожи. В слизистых оболочках при аналогичных дозах наблюдаются такие же изменения, как и в коже.

196. На экспериментальных животных было обнаружено, что особо чувствительны кровообразующие ткани. Лимфоциты и палочковые клетки большей частью инактивируются после облучения единовременной дозы менее 1 Гр. Однако эти ткани обладают удивительными способностями восстановления. У человека кровеносная система также относится к одной из наиболее чувствительных тканей. Реакция может наблюдаться после 0,5-1 Гр., будь то после одного облучения, или после серии небольших доз. Для этих тканей, как и для многих других, весьма важен для определения уровня реакции объем облученной ткани. При слишком серьезном подавлении периферийных кровяных клеток может возникнуть заражение или кровотечение. Это основные симптомы так называемого гематозного синдрома, который может вызывать смерть.

197. Внешнее облучение желудочно-кишечной системы приводит к возникновению разнообразных симптомов и отклонений, начиная с диспепсии и диареи, сопровождаемых обезвоживанием организма и потерей крови, и кончая локализованными опухолями и, позже, возникновением стриктур и запоров. Различные секции желудочно-кишечного тракта необходимо рассматривать отдельно, поскольку чувствительность их неодинакова. До появления ранних форм радиационных повреждений желудок человека может выдерживать до 40 Гр. долгосрочного фракционированного облучения. Тонкая кишка может также выдерживать до порядка 30-40 Гр., полученных на протяжении нескольких недель. Толстая кишка обладает еще большей сопротивляемостью и демонстрирует лишь временные симптомы при таких же дозах, а пищевод, по-видимому, выдерживает фракционированное облучение до 60 Гр. Отдаленные последствия таких крупных доз (особенно полученных тканями большого объема) мало известны и количественно трудно определены. Печень является относительно радиационно устойчивым органом. У животных для возникновения постоянных изменений в печени требовались единовременные дозы более 10 Гр., и их можно увеличить до 6 раз при многократном облучении в течение определенного времени. Печень человека, как известно, выдерживает 40-50 Гр., полученных этим органом в течение 30 дней, пороговой же дозой для измеримых изменений при обычной многократной радиотерапии является 30 Гр.

198. Умеренные дозы облучения легких могут вызвать пневмонию, которая со временем, через сложную цепь патологических реакций, приводит к фиброзу и утрате функции. Чувствительность легкого к долговременному курсу облучения средняя. Дозы более 20 Гр., полученные на протяжении нескольких недель, могут вызвать заметное увеличение частоты осложнений. Среди других органов, расположенных в грудной клетке экспериментальных животных, сравнительно радиационно устойчивым считается сердце, в котором обнаруживаются лишь микроскопические изменения в мускульных клетках и кровяных сосудах после облучения умеренными дозами. В человеке после прохождения многократного курса с общей дозой, не превышающей 60 Гр., обнаруживается высокая частотность сердечных осложнений, прежде всего перикардитов и, впоследствии, фиброза.

199. Различные элементы мочевыделительной системы обладают самой разнообразной чувствительностью: почки считаются наиболее уязвимым органом, затем следуют мочевой пузырь и мочеточники. Под действием высоких доз облучения в почках, как правило, возникает острый хронический нефрит с последующей гипертензией и появление в моче белков. На экспериментальных животных изменения были отмечены после мощного облучения пороговыми дозами от 5 до 12 Гр. При обычном расчленении эти дозы могут возрасти по крайней мере в 3 раза. В человеке дозы 20-24 Гр. в течение трех-четырех недель вызывают изменения почечной функции, поэтому допустимая доза для радиотерапии обычно считается примерно 23 Гр. в течение 5 недель. Как у людей, так и у экспериментальных животных почки, по-видимому, более чувствительны у новорожденных особей. Допустимой дозой для мочевого пузыря считается 55-60 Гр. в течение трех-четырех недель.

200. Особо чувствительны мужские и женские половые железы. В зависимости от дозы облучение мужских половых желез может привести к временной или полной стерильности. Они, по-видимому, уникальны, поскольку фракционированное облучение вызывает больше, а не меньше повреждений, чем одноразовое облучение. У мужчин столь малые единовременные дозы, как 0,1 Гр., по сообщениям, вызывают временную стерильность, хотя для развития постоянной аспермии необходимы дозы, превышающие 2 Гр. Иногда может потребоваться много лет для полного функционального восстановления после особо разрушительных доз. Взрослые яичники более устойчивы, чем мужские половые железы, поскольку ко времени рождения оогональные клетки уже развились в более устойчивые ооциты. Однако при облучении яичника на стадии развития фракционированное облучение общей дозой 2 Гр. вызывает серьезные нарушения у собак и обезьян. Одноразовые дозы, превышающие примерно 3 Гр., или более высокие фракционированные дозы приводят к постоянной стерильности женщин.

201. Пороговые дозы для различных элементов центральной нервной системы различны. Нарушение выражается в изменении глиальной структуры, потере миелина, энцефалите, некрозе. Считается, что более серьезные повреждения происходят по крайней мере частично, в результате первичных повреждений кровеносных сосудов и имеют необратимый характер. Регенеративные способности центральной нервной системы ограничены. Данные, полученные на животных, показывают, что структурные повреждения глиальных клеток могут произойти после дозы 1-6 Гр., что может вызвать дегенерацию клеток через несколько месяцев после облучения. Более высокие дозы приводят к более быстрому появлению изменений. В человеке радиотерапевтическая допустимая доза для всего мозга составляет примерно 55 Гр. в течение 5-6 недель, но морфологические изменения наблюдаются после уже 10 Гр. фракционированного облучения. Для спинного мозга пороговые дозы ниже и составляют примерно 35 Гр. в течение четырех недель. Эффект фракционирования имеет особую важность для головного и спинного мозга.

202. Облучение во время роста хрящевых тканей приводит к нарушению процесса формирования костей, в результате чего происходят их деформации. Растущая хрящевая ткань весьма чувствительна, и пороговая

доза, вызывающая замедление роста, вероятно, мала и, возможно, равна 0. У молодых животных было зарегистрировано замедление около 3 процентов на I Гр. У детей общая доза порядка 10 Гр. и больше, полученная в течение нескольких недель ежедневно, достаточна для того, чтобы вызвать некоторое замедление роста. Чем моложе ребенок, тем больше степень замедления. Взрослая хрящевая ткань, однако, может выдерживать значительно большие дозы. Как правило, костная ткань взрослого человека считается весьма устойчивой, и общая доза порядка 65 Гр. в течение 6-8 недель, как правило, не вызывает некроза; однако может возникнуть предрасположенность к переломам, в зависимости от величины механической нагрузки, обычно испытываемой костью.

203. Среди многих тканей в области глаза (слезные железы, веки, сосуды, сетчатка) зрачок является наиболее чувствительным к радиации, под действием которой происходит его помутнение или клиническая катаракта. Первоначальные эффекты наблюдаются у человека после получения им 2 Гр. направленного облучения. У некоторых животных, например, у мышей, ранняя катаракта возникает, как правило, при значительно меньших дозах. Для зрачка увеличение пороговой дозы с увеличением периода ее получения может оказаться несколько меньшим, чем для многих других тканей. Что касается эндокринных органов, то слизистые оболочки взрослой особи считаются радиационно устойчивыми. Щитовидная железа — медленно развивающийся орган, радиационные эффекты в котором могут проявиться через многие годы. Для появления морфологических повреждений клеток щитовидной железы и явных нарушений функций требуются однократные дозы порядка 10 Гр.

204. Временная зависимость между изменениями в кровеносных сосудах и паренхиматозных тканях дает основание предполагать, что повреждение сосудов может сыграть важную роль в патологических изменениях (гибель клеток, фиброз) после получения высоких доз радиации, хотя трудно оценить реакцию сосудистых и паренхиматозных тканей отдельно. Известно, что в кровеносных сосудах облученных органов происходят патологические изменения, и на протяжении долгого времени после облучения эти изменения могут вызвать нарушение сосудистой функции. Пороговые дозы для относительно незаметных изменений, как правило, ниже, чем для более заметных функциональных расстройств. Кровеносные сосуды, расположенные в различных тканях, могут иметь различные пороги реакций

205. Комитет сделал систематический обзор действия быстрых нейтронов, которые, как известно, оказывают при тех же дозах большое биологическое воздействие, чем рентгеновские или гамма-лучи. При остро направленных дозах, вызывающих явные нарушения, эффективность нейтронов, как правило, в 1-5 раз выше рентгеновских и гамма-лучей. Нейтроны оказывают еще большее воздействие в результате фракционированного облучения при уменьшении дозы при каждом облучении.

206. Нестохастические эффекты бета- и гамма-излучающих радиоизотопов, попадающих в организм при малой мощности дозы, как правило, совпадают по типу и степени с эффектами, вызываемыми сравнимыми

средними полученными тканями дозами внешнего облучения. Состав тканей, затронутых облучением данным изотопом, зависит от конкретного распределения изотопов в организме; объем повреждений зависит от радиационных характеристик и временного распределения излучаемой энергии. Модели, относящиеся к временному распределению поглощенных доз от радиоизотопов относительно фракционированного внешнего излучения, влекущих за собой одинаковые последствия, еще не изучены полностью. Существует также неопределенность в отношении микрораспределения энергии радиоизотопов в клеточных целях, что отрицательно сказывается на установлении точных значительной относительной биологической эффективности (ОБЭ) для таких видов непроникающих излучений, как альфа-частицы и электроны Аугера малой энергии, испускаемые радиоизотопами.

3. Укорочение продолжительности жизни под действием радиации 15/

207. ХОТЯ УКОРОЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЯВЛЯЕТСЯ РЕАЛЬНЫМ ПОСЛЕДСТВИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ, ВЕСЬМА ОБШИРНЫЕ ФАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ, УКАЗЫВАЮТ, ЧТО ЭТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИСХОДЯТ ВСЛЕДСТВИЕ ИНДУКЦИИ СПЕЦИФИЧЕСКИХ НЕОПЛАСТИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ (ПРИ НИЗКИХ И СРЕДНИХ ДОЗАХ И МОЩНОСТЯХ ДОЗЫ). ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЛИЦАХ, ПЕРЕЖИВШИХ БОМБАРДИРОВКИ ХИРОСИМЫ И НАГАСАКИ, ДАЮТ ТАКОЙ ЖЕ ВЫВОД И В ОТНОШЕНИИ ЧЕЛОВЕКА.

208. После докладов 1958 и 1962 годов Комитет не рассматривал систематизированно данные о косвенном эффекте укорочения продолжительности жизни, что, как часто утверждалось, происходит помимо более специфических (главным образом карцерогенных) последствий облучения. Основными целями данного обзора Комитета являются: изучение наличия такого эффекта и его зависимости от естественного или, возможно, радиационно индуцированного старения; исследования интервалов доз, мощностей доз и условий облучения, при которых это явление может возникать; определение влияния других биологических переменных (генетический состав, возраст, пол) на его возникновение.

209. Ранее неоднократно отмечалось, что животные, испытавшие краткосрочное воздействие облучения, обнаруживали симптомы, свойственные старению (поседение меха, появление катаракты, потеря способности воспроизводства). Эти животные погибали, как правило, раньше контрольных необлученных животных с явно более ранним появлением заболеваний, характерных для старости. Взятые вместе, но без глубокого понимания биологии старения и самих радиационно индуцированных изменений, эти наблюдения привели к выводу о том, что радиация, помимо укорочения продолжительности жизни, может также вызвать ускоренное старение. В попытках подтверждения этой точки зрения были проведены обширные исследования.

210. Комитет кратко рассмотрел теории физиологического старения и возможные механизмы, которые могут лежать в основе старения. Создается впечатление, что слишком мало известно в настоящее время о самих этих биологических явлениях, чтобы оправдать любое более обширное обсуждение их возможного изменения под действием радиации. Напротив, представляется, что действительные элементы старения, то есть укорочение продолжительности жизни само по себе, могут с успехом изучаться в их связи с облучением. В данном контексте правомерно также задать вопрос, можно ли радиационное индуцированное укорочение продолжительности жизни объяснить конкретными условиями или заболеваниями, и в какой степени его можно объяснить косвенными, случайными причинами.

15/ Этот вопрос подробно рассматривается в приложении К "Укорочение продолжительности жизни под действием радиации".

211. Как правило, не составляет трудности определение точного момента смерти и анализ производных статистических данных (средние и медианные сроки выживания, повозрастные коэффициенты смертности и т.д.). Однако это лишь конечные проявления многочисленных скрытых явлений. Любой значимый ответ на вопросы, поднятые в предыдущем параграфе, требует определения причин смерти путем тщательных патологических обследований — цель сама по себе трудная, особенно в случае обследования старых особей ввиду наличия многочисленных и взаимодействующих заболеваний. Тем не менее такие данные имеют огромное значение для оценки того, оказывает ли облучение такое специфическое воздействие. В принципе Комитет считает, что если не будет показано, что радиация приближает наступление смерти, не изменяя состав и относительную частоту заболеваний, обычно свойственных необлученному населению, то предположение о том, что продолжительность не зависит от других посторонних факторов, неоспоримо. Комитет отмечает, что на практике не было убедительно показано в эксперименте, что происходит укорочение срока жизни под действием других факторов, особенно в свете точного статистического анализа, свидетельствующего о воздействии присущих конкретному возрасту нескольких заболеваний.

212. Напротив, подавляющая часть данных, полученных на экспериментальных животных при таких объемах и мощностях доз, когда не обнаруживается краткосрочное радиационное повреждение, не дает каких-либо оснований считать, что радиация может вызывать преждевременное или ускоренное старение и что возникновение дополнительных опухолей, которое может произойти при таких условиях, является лишь одним из аспектов общего более раннего наступления старения. Это не противоречит другим наблюдениям о том, что при дозах достаточно большого объема или мощности, чтобы вызвать быструю смерть значительной доли облученных животных, неспецифические повреждения кровеносных сосудов, соединительных тканей или неспецифическое воздействие на другие ткани могут стать косвенной причиной большего числа смертей, помимо раковых заболеваний, чем это может показаться. Облучение такими высокими дозами будет иметь значение лишь в исключительных обстоятельствах.

213. Комитет проанализировал информацию об укорочении продолжительности жизни многих видов и подвидов экспериментальных животных под действием единовременных доз рентгеновских и гамма-лучей или быстрых нейтронов. Единовременное облучение на практике встречается нечасто, но полезно установить верхнюю границу его эффекта. Хотя в каждой конкретной экспериментальной серии укорочение продолжительности жизни в результате действия рентгеновских или гамма-лучей в зависимости от величины дозы обнаруживает соответственно линейную или нелинейную зависимость, однако линейная или линейно-квадратическая непороговая зависимость, как оказалось, хорошо соответствует комбинированным данным по многим проведенным сериям на мышах. Для линейной зависимости средний эффект укорочения продолжительности жизни составляет примерно 5 процентов для дозы в 1 Гр. с расхождениями в ту или иную сторону в зависимости от подвида животных и их биологических характеристик. У некоторых видов животных для единовременных доз быстрых

нейтронов, по-видимому, имеет место конвекционная восходящая зависимость укорочения продолжительности жизни от дозы; здесь также весьма заметны колебания в зависимости от состояния животного.

214. Наиболее применимым для практических целей является режим облучения, при котором животное подвергается облучению малой мощности на протяжении всего периода жизни. Мощности доз, величина которых на много порядков превышает мощность фонового излучения, должны, конечно, использоваться для изучения существенных изменений. В условиях продолжительного облучения эффективность воздействия доз рентгеновских и гамма-лучей может оказаться на порядок ниже, чем при единовременном облучении. Для рентгеновских и гамма-лучей облучение при малой мощности дозы на протяжении всего периода жизни примерно определяет нижние границы появления этого эффекта в экспериментальной работе. В условиях облучения на протяжении всей жизни весьма трудно проводить различие между переменными дозой и времени и анализировать их отдельно, поскольку доза является функцией времени. Таким образом, в зависимости от продолжительности жизни животных, от их подверженности синдрому укорочения продолжительности жизни и от действительных значений мощности облучения на практике могут быть получены самые разнообразные конфигурации кривых доза-эффект для самых разнообразных значений доз, но при малых дозах и малых мощностях доз, как правило, наблюдается практически линейная зависимость.

215. Комитет изучил все имеющиеся данные, касающиеся воздействия изменений мощности облучения или структуры разбивки дозы на сокращение срока жизни. Комитет пришел к выводу, что при большом разнообразии значений этих переменных изменение эффективности является незначительным для рентгеновских и гамма-лучей и неопределенным для нейтронов. Другая группа данных была получена путем облучения животных в течение длительного времени и прекращения этого облучения незадолго до гибели, что могло бы обеспечить более точную оценку зависимости между временем и дозой. На практике эти данные крайне трудно интерпретировать возможно потому, что подверженность животных сокращению срока жизни во время облучения изменяется как следствие феномена восстановления, стимулируемого самим радиационным облучением. Однако, как правило, феномен укорочения продолжительности жизни после такого облучения по своей интенсивности считается промежуточным между подобным явлением при высокой мощности дозы и малой мощности дозы на протяжении весьма длительного периода.

216. В случаях внутреннего облучения инъецированными или употребленными с пищей радиоизотопами, как правило, применимы результаты экспериментов по выборочному облучению отдельных органов или тканей, поскольку разные радиоизотопы концентрируются в различных частях тела. Было показано, что при таких условиях наблюдаемое сокращение срока жизни можно объяснить возникновением или ускорением возникновения раковых опухолей в облученных участках тела, за исключением весьма высоких доз, когда можно обнаружить ранние нестохастические повреждения.

217. Также изучена эффективность нейтронов мощностью до 14 МЭВ в укорочении продолжительности жизни по сравнению с эффективностью рентгеновских или гамма-лучей. В рамках одной серии экспериментов весьма высокие дозы нейтронов в 3-10 раз активнее вызывают явно выраженное укорочение продолжительности жизни. Более высокие значения ОБЭ применимы при меньших дозах малой мощности.

218. Комитет изучил биологические переменные, отрицательно сказывающиеся на продолжительности жизни. В частности, были рассмотрены генетические характеристики видов и подвидов, пол и возраст животного как до, так и после рождения. Были также рассмотрены модификации эффекта укорочения продолжительности жизни под действием различных физических, химических или биологических возбудителей. Ввиду того, что укорочение продолжительности жизни в столь значительной степени зависит от патологических характеристик различных видов, Комитет считает, что количественная интерполяция данных, полученных на экспериментальных животных, на человека для условий, имеющих практическое значение, была бы преждевременна, исходя из имеющихся в настоящее время знаний.

219. У людей, подверженных профессиональному облучению, в частности у радиологов, возникали заболевания, вызванные действием радиации, например лейкемия и рак кожи, лишь в первые годы после открытия рентгеновских лучей и радия. Некоторое сокращение продолжительности жизни, помимо того, что объясняется этим условием, возможно и происходило у первых радиологов, подвергавшихся на протяжении долгого периода времени неизвестным, но вероятно высоким дозам, о чем свидетельствуют некоторые, но далеко не полные данные. Однако укорочение продолжительности жизни, не связанное с раковым заболеванием, как сообщается, не наблюдалось у радиологов, подвергавшихся облучению после введения в практику некоторых мер радиационной защиты. Отсюда следует логический вывод, что вплоть до значений доз, рекомендованных в качестве "допустимых" во время, когда произошло такое облучение (т.е. при максимальных дозах, превышающих принятые в настоящее время не более чем в 10 раз) нельзя ожидать какого-либо укорочения продолжительности жизни, и сколь-нибудь значительное остаточное преобладание лейкемии и рака под действием радиации было недостаточным для того, чтобы вызвать статистически определяемое укорочение продолжительности жизни людей у обычно анализируемых групп населения.

220. Данные, полученные по группам пациентов радиотерапии, не дают каких-либо свидетельств об укорочении продолжительности жизни. Это заявление ограничивается существом лежащих в его основе данных и прежде всего двух соображений. Во-первых, фактически облучались лишь отдельные части тела этих пациентов, и при этих условиях было бы менее разумно ожидать существенного неспецифического сокращения жизни; во-вторых, размер изучаемых групп, как правило, меньше групп профессионально подверженных облучению лиц и значительно меньше групп, переживших атомные бомбардировки.

221. Появление случаев лейкемии и рака за пределами среднего показателя спонтанного возникновения действительно дает некоторое уменьшение срока жизни жителей Японии, переживших атомную бомбардировку. Масштаб такого эффекта можно полностью объяснить этими злокачественными заболеваниями, и нет необходимости искать какой-либо отдельной причины. Очень большой размер группы, за которой проводились наблюдения, а также тот факт, что эти данные подтверждались на протяжении более 30 лет, хотя они и применимы только для самой старшей когорты населения, делает такой вывод достаточно разумным.

4. Биологическое действие радиации в совокупности с другими агентами I6/

222. КОМБИНИРОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ И ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ АГЕНТОВ ИМЕЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНО БОЛЬШОЕ ЗНАЧЕНИЕ, НО ИМЕЮЩИЕСЯ ДАННЫЕ НЕОДНОРОДНЫ И НЕПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫ. ПОЭТОМУ В ДАННОМ ОБЗОРЕ ОСНОВНОЕ ВНИМАНИЕ УДЕЛЯЕТСЯ В ОСНОВНОМ ТЕОРИИ С ПРИМЕРАМИ, ДЕМОСТРИРУЮЩИМИ СЛОЖНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ, КОТОРЫЕ ВЗЯТЫ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ДОКЛАДОВ. ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ТАБАЧНОГО ДЫМА, КОТОРЫЙ МОЖЕТ ОКАЗАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЕ В СОВОКУПНОСТИ С РАДИАЦИЕЙ И ВЫЗЫВАТЬ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ РАК ЛЕГКИХ, ЭТО ИССЛЕДОВАНИЕ НЕ СМОГЛО ДОКУМЕНТИРОВАТЬ КАКОГО-ЛИБО ОДНОЗНАЧНОГО СЛУЧАЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЧЕЛОВЕКЕ, ПО КРАЙНЕЙ МЕРЕ ТАКОГО, КОТОРОЕ МОГЛО БЫ ВЫЗВАТЬ СУЩЕСТВЕННОЕ ИСКАЖЕНИЕ ОЦЕНОК РИСКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ. КОМИТЕТ РАЗРАБОТАЛ ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БУДУЩЕЙ РАБОТЫ, КОТОРЫЕ МОЖНО БЫЛО БЫ С ПОЛЬЗОЙ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ, ПОСКОЛЬКУ ДАННЫЕ О КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ НЕДОСТАТОЧНЫ.

I6/ Эта проблема подробно рассматривается в приложении "Биологическое действие радиации в совокупности с другими физическими, химическими и биологическими агентами".

223. Совокупное действие ионизирующей радиации и других физических, химических и биологических агентов имеют потенциально большое значение ввиду того, что радиация повсеместно распространена в природе, и в современной жизни можно предположить ситуации, которые могли бы привести к появлению некоторой формы взаимодействия.

224. Несмотря на многочисленные доклады, в которых утверждается существование или показывается та или иная форма взаимодействия, Комитет считает, что в целом результаты этих исследований неубедительны по целому ряду причин. Во-первых, при всестороннем рассмотрении в свете задач Комитета оказывается, что в этих докладах изучаются уровни облучения, значительно превосходящие уровни окружающей среды практического значения и затрагиваются лишь случаи единовременного, а не продолжительного облучения. Во-вторых, в этих исследованиях каждый случай взаимодействия не рассматривался систематизированно с точки зрения дозы взаимодействующих веществ и механизмов взаимодействия. В-третьих, в большинстве из этих докладов мало использовались соответствующие методы анализа, хотя они давно существовали в других областях биологических наук. И наконец, отсутствие прочных концептуальных основ возможного характера взаимодействия не дает возможности определить это понятие даже в первом приближении.

225. В такой ситуации Комитет руководствовался предпосылкой о том, что предварительное теоретическое исследование в этой области в целях предложения определений, разработки методики анализа и пояснения сложной природы проблем практическими примерами будет более полезным, чем систематический обзор содержания докладов. Комитет рассмотрел два возможных типа взаимодействий. В первом случае и ионизирующая радиация, и взаимодействующий агент могут оказать определенное воздействие: в данном случае аддитивность, синергизм и антагонизм являются тремя возможными способами взаимодействия. Во втором случае взаимодействие происходит между ионизирующей радиацией и другим агентом, который сам по себе является неактивным: в данном случае защита и сенсбилизация являются терминами, характеризующими соответственно уменьшение или увеличение последствий только радиации. Подобная классификация не совершенна, ввиду того, что дозы взаимодействующих агентов и типы последствий могут оказывать значительное влияние на природу и степень взаимодействия. Особо были рассмотрены вещества, вызывающие раковые заболевания.

226. Прежде всего были обсуждены концепции облучения, дозы и реакции на воздействие, применительно к особому случаю комбинированного действия. Затем Комитет произвел обзор существующих методов анализа, дающих возможность дать по крайней мере количественную оценку результатов комбинированных способов воздействия. Было также предпринято более детальное обсуждение всех возможных аспектов этого вопроса, что при определенных условиях может привести к точному описанию факторов взаимодействия. Внимание было уделено вопросу о применимости этих основных, хотя и довольно абстрактных концепций, по отношению к практическим ситуациям в условиях сложного биологического воздействия.

227. Для получения значимых результатов изучаемые биологические последствия должны быть точно определены и исследованы в отношении всего диапазона доз взаимодействующих агентов, применяемых по отдельности и совместно. Временной характер облучения (одновременный или последовательный, единичный или многократный) и порядок применения агентов часто имеют решающее значение при определении данного вида или степени последствия. Точное знание механизмов также является предпосылкой для оценки условий и уровня взаимодействия. Однако в большинстве рассмотренных работ эти основные требования не выполнялись или изучались в недостаточной степени; к тому же статистическое значение результатов зачастую было столь низким, что делало любую оценку взаимодействия в лучшем случае предположительной.

228. Что касается взаимодействия радиации с другими физическими агентами, то имеющаяся информация большей частью касалась взаимодействия между различными видами ионизирующей радиации, с одной стороны, и ультрафиолетовым излучением, микроволнами и тепловым излучением, с другой. Сообщалось о некотором синергическом воздействии на работников радиотехнической промышленности, подвергавшихся одновременному воздействию ионизирующей радиацией и микроволнами. Объектом изучения были функциональные нарушения автономной нервной системы и субъективные симптомы недомогания. Критический анализ данных показал, что характер симптомов, трудность их количественного определения, недостаток контролируемых условия облучения и неполные статистические данные являются причинами того, что эти доклады следует рассматривать с некоторыми оговорками. Еще меньше данных имеется относительно совокупного воздействия радиации и больших высот, физического стресса, механических повреждений и ультразвука, и результаты в целом являются неубедительными.

229. Много различных классов химических соединений было изучено в отношении их возможного взаимодействия с радиацией. Неорганические соединения, содержащие свинец, кадмий, хлор, бериллий и платину, могут иметь значение в особых условиях работы, и тот имеющийся ограниченный опыт мог бы быть обогащен полезными сведениями, что позволило бы прийти к более определенным выводам. Данные, касающиеся различных типов пыли, являются крайне неопределенными, ввиду того, что были описаны аддитивные, синергические и сдерживающие последствия до уровня, не превышающего коэффициент, равный четырем, при наихудших возможных условиях по сравнению с последствиями, вызванными одной лишь радиацией. Оказалось, что антибиотики, химиотерапевтические вещества и другие фармакологические средства имеют большее значение в особых клинических ситуациях, чем для населения в целом.

230. Возможное воздействие радиации в совокупности с соединениями, известными своими канцерогенными свойствами, изучалось с особым вниманием. Хотя рассмотренная информация касалась целого ряда возбудителей и активаторов, данные, имеющиеся в отношении каждого из этих веществ, являются неполными, а факты противоречивыми. В отношении любого вещества или любого типа опухоли не может быть сделано окончательного вывода до тех пор, пока не будут более глубоко проанализированы доза, график облучения и формы комбинированных типов лечения. Опыт, накопленный в отношении бензопирена, диэтилнитрозамина, различных видов пыли и газообразных продуктов сгорания нефти, может быть расширен с целью представления более верных выводов ввиду широкого распространения этих веществ в окружающей среде.

231. Было выяснено, что у человека табачный дым может сокращать время возникновения рака легких, вызванного альфа-частицами изотопов радона. До сих пор еще не выяснено, является ли это воздействие результатом влияния какого-либо конкретного компонента табачного дыма или может быть отнесено за счет других нехарактерных последствий для тканей дыхательных органов. Точная оценка показателей взаимодействия может решающим образом зависеть от длительности периода наблюдения, а также от возрастной структуры и анамнеза облучения лиц, подверженных вероятности облучения.

232. Есть свидетельства тому, что у животных некоторые гормоны могут влиять на время или скорость появления воспалений, вызванных радиацией, в особенности молочной железы. Этот тип синергизма в основном выражается в виде сокращения времени, необходимого для возникновения опухолей. Однако в зависимости от подвида животных синергический эффект обладает значительной степенью изменчивости, и в одних подвидах одинаковый режим воздействия вызовет синергизм, а в других — антогонизм. Изменчивость также наблюдается и в отношении типа опухолей. Нет прямых данных по человеку. Опыты с другими биологическими агентами, такими, как вирусы и бактерии или изменения режима питания в совокупности с радиацией приводили к неопределенным или отрицательным результатам.

5. Резюме и выводы

233. Проведенные Комитетом исследования по вопросу о биологических последствиях ионизирующей радиации не привели к значительному пересмотру существующих положений, касающихся оценки генетического риска или проанализированных соматических эффектов. Однако эти исследования были сосредоточены на некоторых важных новых явлениях и привели к уточнению существующих фактов. В целом эти новые исследования подкрепили мнение Комитета в отношении того, что механизмы некоторых последствий радиации становятся довольно понятными. В особенности это касается нестохастических последствий.

234. Что касается других последствий, таких, как последствия, зависящие от неопластической трансформации облученных клеток, то имеющиеся знания действующих механизмов по-прежнему являются довольно неполными. Будет продолжен анализ механизмов возникновения рака после выяснения результатов дозиметрии лиц, переживших ядерные взрывы в Хиросиме и Нагасаки. Комитет продолжит обследование и обзор всей области радиационного канцерогенеза, включая теоретические обоснования и оценку фактического риска возникновения рака у человека.

235. Что касается наследственных последствий, то Комитет отмечает, что был достигнут дальнейший прогресс в наших знаниях, касающихся динамики реакции на дозу облучения и других аспектов некоторых более важных видов генетических изменений, которые могут быть вызваны радиацией у подопытных млекопитающих. Широкое использование экспериментальных данных для оценки генетического риска по-прежнему считается крайне важным при отсутствии значительных достоверных результатов в отношении наследственных последствий после облучения людей. Был разработан новый метод оценки размеров риска первого поколения опасных доминантных мутаций. Этот подход и другие методы оценки генетического риска

у потомства лиц, облученных малыми дозами радиации, дали очень схожие результаты. Однако остается много важных проблем. Например, женские половые клетки человека считаются менее чувствительными к повреждению генетической структуры в результате низкого уровня радиации, чем мужские, однако действительная величина этого различия по-прежнему неизвестна. Потребуется также продолжить работу по выяснению того, в какой степени рецессивные мутации вызывают генетические повреждения многих следующих после первого поколений. Однако достижения в области генетики человека и новые методы сравнения степени мутации в клетках человека и животных должны помочь решить некоторые из этих сложных проблем.

Добавление I

СПИСОК ЧЛЕНОВ НАЦИОНАЛЬНЫХ ДЕЛЕГАЦИЙ

Ниже приводится список ученых-специалистов, присутствовавших на сессиях Комитета в качестве членов национальных делегаций и принявших участие в подготовке настоящего доклада.

АВСТРАЛИЯ

К. Локан (Представитель), Дж. Р. Морони (Представитель)

АРГЕНТИНА

Д. Бенинсон (Представитель), А. Х. Гонсалес (Представитель)

БЕЛЬГИЯ

М. Эррера (Представитель), Ф.А. Собель (Представитель), Б. Т. Атан,
Ж. Мезин

БРАЗИЛИЯ

Э. Пенна-Франка (Представитель)

ГЕРМАНИИ, ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА

Ф. Э. Стиве (Представитель), У. Элинг, В. Якоби, А. Кауль, Х. Кригель,
Л. Рауш, К. Стрейффер

ЕГИПЕТ

М. эль-Харадли (Представитель)

ИНДИЯ

В. А. Шах (Представитель), С. Д. Соман (Представитель), К. Сундарам
(Представитель)

ИНДОНЕЗИЯ

А. Байкуни (Представитель), О. Искандар

КАНАДА

Дж. Батлер (Представитель), Э.Г. Летурно (Представитель), А. М. Марко
(Представитель), У. Р. Буш, Э. Мюллер, Д. К. Маерс, Ф. Прантль,
Х. Ротшильд

МЕКСИКА

Х. Р. Ортис-Маганья (Представитель), Х. Р. Телич (Представитель)

ПЕРУ

К. Гусман-Асеведо (Представитель), М. Заариа (Представитель)

ПОЛЬША

Э. Яворовский (Представитель)

СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И
СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ

Э. Почин (Представитель), К. О. Картер, К. Е. Хелнан, Ф. Морли,
А. Дж. Сизэрль

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

Р. Д. Модзли (Представитель), У. К. Синклер (Представитель),
Р. З. Андерсон, Р. Бейкер, А. М. Брюс, К. Эдингтон, Дж. Х. Харли,
Ф. А. Меттлер, У. Л. Рассел, Дж. Б. Сторер, Дж. К. Вилфорт,
Х. О. Уикофф

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

А. Гуськова (Представитель), А. М. Кузин (Представитель), Р. М. Алек-
сахин, А. Моисеев, В. В. Редькин, В. А. Шевченко, А. И. Вихров

СУДАН

А. Хидайаталла (Представитель)

ФРАНЦИЯ

А. Жамме (Представитель), А. Бувилль, Р. Кулон, Б. Дютрийо, Ж. Лафума,
П. Пеллерен

ЧЕХОСЛОВАКИЯ

М. Климек (Представитель)

ШВЕЦИЯ

Б. Линделл (Представитель), К. Эдварсон, К. Г. Лёнинг, Я. О. Снихс,
Г. Валиндер

ЯПОНИЯ

Т. Куматори (Представитель), К. Мисоно (Представитель), Р. Ичикава,
А. Касаи, Ю. Кишимото, С. Кобаяши, С. Накаи

Добавление II

СПИСОК НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ И КОНСУЛЬТАНТОВ, ОКАЗАВШИХ
КОМИТЕТУ ПОМОЩЬ В ПОДГОТОВКЕ НАСТОЯЩЕГО ДОКЛАДА

Д. Бенинсон
Б. Г. Беннетт
А. Бувилль
Р. Х. Кларк
М. Коппола
М. Ф. Коттрелл
Б. Линделл
Дж. Линики

В. Лысков
Р. Б. Перссон
К. Санкаранарайанан
Дж. Силини
Я. О. Снихс
Ф. Д. Соуби
Ф. Тейлор
Г. А. М. Уэбб
С. В. Филд

Добавление III

СПИСОК ПОЛУЧЕННЫХ КОМИТЕТОМ ДОКЛАДОВ

1. В настоящем добавлении перечислены доклады, полученные Комитетом от правительств за период с 13 апреля 1977 года по 26 марта 1982 года.
2. Доклады, полученные Комитетом до 12 апреля 1977 года, перечислены в предыдущих докладах Комитета Генеральной Ассамблеи.

Номер документа	Страна	Название
<hr/>		
A/AC.82/R.		
I561	Соединенные Штаты Америки	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-318, 1 April 1977
I562	Франция	Surveillance de la radioactivité en 1976
I563	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1976
I564	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1975
I565	Соединенные Штаты Америки	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-321, 1 July 1977
I566	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1976
I567	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 41, November 1976
I568	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 42, April 1977
I569	Соединенные Штаты Америки	Health and Safety Laboratory: Environmental Quarterly, HASL-328, 1 October 1977
I570	Соединенные Штаты Америки	Health and Safety Laboratory: Final tabulation of monthly strontium-90 fallout data: 1954-1976. HASL-329, 1 October 1977
I571	Швейцария	20th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1976
I572	Германии, Федеративная Республика	The content of radioiodine in air, rain, grass, cowmilk and goatmilk following the Chinese nuclear test explosion on 26 September 1976

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I573	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-334, 1 January 1978
I574	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1976
I575	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1976
I576	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, number 43, November 1977
I577	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1977
I578	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-339, 1 April 1978
I579	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-342, 1 July 1978
I580	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactivity in human diet
I581	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-344, 1 October 1978
I582	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Index to Environmental Quarterly, EML-345
I583	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, NJ; EML-347
I584	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Calculation of dose rate and air ionisation from radioactive fallout deposited at Chilton, 1951 to 1977
I585	Швейцария	21st Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1977
I586	Швейцария	Radiation levels and dosimetry of the persons occupationally exposed in Switzerland in 1977

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I587	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1975
I588	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1976
I589	Германии, Федеративная Республика	External radiation exposure from natural radioactivity outside and in housings, with special reference to the influence of building materials
I590	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-349, 1 January 1979
I591	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1977
I592	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radiation exposure of the UK population
I593	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 46, September 1978
I594	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 47, December 1978
I595	Германии, Федеративная Республика	Stochastic late effects after partial body irradiation in diagnostic radiology
I596	Союз Советских Социалистических Республик	Накопление радиоактивного стронция сельскохозяйственными растениями из почвы в разных почвенно-климатических условиях
I597	Союз Советских Социалистических Республик	Некоторые особенности внекорневого загрязнения сельскохозяйственных растений в разных почвенно-климатических зонах страны
I598	Союз Советских Социалистических Республик	Коллективная доза облучения населения СССР в результате применения источников ионизирующих излучений в медицинских целях

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I599	Союз Советских Социалистических Республик	Отдаленные эффекты по выходу оцужолей молочных желез после поступления йода-131 и при сочетанном воздействии
I600	Союз Советских Социалистических Республик	К вопросу о биологической опасности йода-129
I601	Союз Советских Социалистических Республик	Распределение стронция-90 в почвах Азербайджанской ССР
I602	Союз Советских Социалистических Республик	Значение радионуклидов йода в токсичности продуктов ядерного деления
I603	Союз Советских Социалистических Республик	Содержание стронция-90 и цезия-137 глобального происхождения в рационе населения Советского Союза в 1974-1975 годах
I604	Союз Советских Социалистических Республик	Ресорбция и метаболизм йода-131 при его попадании в организм через травы
I605	Союз Советских Социалистических Республик	К вопросу о механизме влияния извести и торфа на поступление стронция-90 в растения
I606	Союз Советских Социалистических Республик	Модель вертикальной миграции цезия-137 в почвах и прогнозирование экспозиционной дозы
I607	Союз Советских Социалистических Республик	Содержание стронция-90 в костной ткани населения СССР (1974-1975 годы)
I608	Союз Советских Социалистических Республик	Закономерности поведения радионуклидов йода в окружающей среде
I609	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-353, 1 April 1979
I610	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-356, 1 July 1979
I611	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 48, March 1979
I612	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1978
I613	Аргентина	⁹⁰ Sr and ¹³⁷ Cs from fallout in Argentina: monitoring results to the end of 1978
I614	Германии, Федеративная Республика	Radiation levels in occupationally exposed persons
I615	Германии, Федеративная Республика	Radiation exposure in the Federal Republic of Germany in 1976 due to nuclear facilities

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I616	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-363, 1 October 1979
I617	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, NJ; EML-367
I618	Союз Советских Социалистических Республик	Использование радиоактивных примесей для изучения распространения веществ, выброшенных в стратосферу
I619	Союз Советских Социалистических Республик	Оценка параметров восстановления и эффективности дозы при внутреннем однократном попадании радионуклидов в организм
I620	Союз Советских Социалистических Республик	К вопросу о возможности использования костей собак для индикации содержания стронция-90 в скелете человека
I621	Швейцария	22nd report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1978
I622	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-370, 1 January 1980
I623	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1977
I624	Германии, Федеративная Республика	Report of the Federal Government on environmental radioactivity and radiation levels in the year 1977
I625	Германии, Федеративная Республика	Methods and results of surveillance of radionuclides released from nuclear power plants
I626	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactivity in human diet
I627	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1978
I628	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-371, 1 April 1980
I629	Союз Советских Социалистических Республик	Фотонное излучение естественных радионуклидов

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I630	Союз Советских Социалистических Республик	Отношение полония-210 и свинца-210 в костях человека и животных
I631	Союз Советских Социалистических Республик	Содержание стронция-90 и цезия-137 в основных пищевых продуктах Эстонской ССР в 1966-1975 годах
I632	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-374, 1 July 1980
I633	Франция	Surveillance de la radioactivité en 1977
I634	Франция	Surveillance de la radioactivité en 1978
I635	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1978
I636	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-381, 1 October 1980
I637	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 50, September 1979
I638	Союз Советских Социалистических Республик	Генетические последствия действия ионизирующих излучений на популяции
I639	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 49, June 1979
I640	Швейцария	23rd Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1979
I641	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Regional Baseline Station, Chester, N.J.
I642	Союз Советских Социалистических Республик	Цезий-137 и стронций-90 в биосфере Крайнего Севера СССР
I643	Союз Советских Социалистических Республик	Уровни накопления и характер распределения стронция-90 в костной ткани населения СССР за период 1973-1978 годов
I644	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1979
I645	Бельгия	Radioactivity measured at Mol 1972
I646	Бельгия	Radioactivity measured at Mol 1973
I647	Бельгия	Radioactivity measured at Mol 1974

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I648	Франция	Surveillance de la radioactivité en 1979
I649	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan Number 51, December 1979
I650	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Quarterly, EML-390, 1 May 1981
I651	Германии, Федеративная Республика	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1978
I652	Аргентина	Radiological impact of radioactive waste management
I653	Аргентина	Levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in environmental samples in Argentina 1960-1980
I654	Аргентина	Exposure of the public related to the operation of the nuclear power plant in Atucha
I655	Аргентина	Doses from occupational exposure at the Comisión Nacional de Energía Atómica during 1977-1980
I656	Аргентина	Determination of absorbed doses in a computerized tomography scanner
I657	Союз Советских Социалистических Республик	Вопросы, касающиеся метаболизма углерода-14
I658	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UN during 1979
I659	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Radioactive fallout in air and rain: results to the end of 1980
I660	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan Number 52, March 1980
I661	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan Number 53, June 1980
I662	Союз Советских Социалистических Республик	Закономерности формирования эффективной дозы при хроническом введении в организм различных радионуклидов
I663	Союз Советских Социалистических Республик	Изотопы ураниевого и ториевого рядов в фосфоросодержащих удобрениях, пахотных почвах и сельскохозяйственных растениях
I664	Союз Советских Социалистических Республик	Сочетанное действие ионизирующих, неионизирующих излучений и некоторых других физических факторов на организм

Номер документа	Страна	Название
A/AC.82/G/L.		
I665	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan Number 54, September 1980
I666	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan Number 55, December 1980
I667	Япония	Radioactivity Survey Data in Japan Number 56, March 1981
I668	Новая Зеландия	Environmental Radioactivity Annual Report 1980
I669	Франция	Surveillance de la radioactivité en 1980
I670	Соединенные Штаты Америки	Environmental Measurements Laboratory: Environmental Report, EML-395, 1 November 1981
I671	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Environmental radioactivity surveillance programme: results for the UN for 1980
I672	Швейцария	24th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1980

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 الى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك او 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营处均有发售。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.
