



Организация Объединенных Наций

Доклад

**Научного комитета
Организации Объединенных Наций
по действию атомной радиации**

Генеральная Ассамблея

Официальные отчеты • Пятьдесят пятая сессия

Дополнение № 46 (A/55/46)

Генеральная Ассамблея
Официальные отчеты
Пятьдесят пятая сессия
Дополнение № 46 (A/55/46)

**Доклад
Научного комитета
Организации Объединенных Наций
по действию атомной радиации**



Организация Объединенных Наций • Нью-Йорк, 2000 год

Примечание

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

Содержание

	<i>Пункты</i>	<i>Стр.</i>
I. Введение	1–7	1
II. Обзор	8–19	2
A. Воздействие радиационного облучения.....	8–10	2
B. Уровни радиационного облучения	11–17	2
C. Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС	18–19	3
III. Источники радиационного облучения	20–49	4
A. Естественное радиационное облучение	24–26	4
B. Облучение из антропогенных источников в окружающей среде	27–37	5
C. Облучение в медицинских целях	38–41	7
D. Профессиональное радиационное облучение.....	42–45	8
E. Сопоставление облучений	46–49	9
IV. Связанный с облучением рак	50–88	10
A. Радиобиологические эффекты низких доз облучения	54–67	11
B. Комбинированные воздействия	68–72	13
C. Эпидемиология рака	73–88	14
V. Авария на Чернобыльской АЭС	89–105	17
A. Выброс радионуклидов.....	92–94	18
B. Облучение людей	95–98	18
C. Воздействие на здоровье	99–105	18
Добавления		
I. Члены национальных делегаций, участвовавшие в работе сорок четвертой – сорок девятой сессий		21
II. Научные работники и консультанты, сотрудничавшие с Научным комитетом Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации при подготовке настоящего доклада		23

Глава I

Введение

1. За последние несколько лет Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации¹ провел широкий обзор источников и воздействий ионизирующего излучения. В настоящем докладе² Комитет, исходя из основных выводов своих научных оценок, резюмирует достижения радиологической науки за годы, предшествующие началу нового тысячелетия.

2. Настоящий доклад и научные приложения к нему были подготовлены в период между сорок четвертой и сорок девятой сессиями Комитета. На перечисленных ниже сессиях функции Председателя, заместителя Председателя и Докладчика выполняли, соответственно, следующие члены Комитета: сорок четвертая и сорок пятая сессии – Л. Пинильос-Аштон (Перу), А. Кауль (Германия) и Г. Бенгтссон (Швеция); сорок шестая и сорок седьмая сессии – А. Кауль (Германия), Л.-Э. Хольм (Швеция) и Ж. Липстейн (Бразилия); сорок восьмая и сорок девятая сессии – Л.-Э. Хольм (Швеция), Ж. Липстейн (Бразилия) и И. Сасаки (Япония). В добавлении I перечислены имена экспертов, которые присутствовали на сессиях Комитета, начиная с сорок четвертой и кончая сорок девятой, в качестве членов национальных делегаций.

3. Комитет хотел бы выразить признательность за помощь и рекомендации группе консультантов и партнеров, которые участвовали в подготовке научных приложений (см. добавление II). На сессиях Комитета присутствовали представители Всемирной организации здравоохранения и Международного агентства по атомной энергии. Также на сессиях были представлены Международная комиссия по радиологической защите и Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям. Комитет хотел бы выразить признательность за тот вклад, который они внесли в ходе обсуждения.

4. В своей работе Комитет руководствовался научным подходом к рассматриваемым материалам и стремился сохранить независимую и нейтральную позицию при выработке своих заключений. Результаты его работы для широкого круга читателей представлены в настоящем докладе Генеральной Ассамблеи. Научные приложения, которые легли в основу доклада и публикуются вместе с ним под

заголовком "Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes" ("Источники и эффекты ионизирующего излучения, Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации Генеральной Ассамблеи 2000 года, с научными приложениями") как издание Организации Объединенных Наций, предназначенное для продажи, адресованы широкому научному сообществу.

5. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации в качестве одного из научных комитетов Генеральной Ассамблеи является органом системы Организации Объединенных Наций, уполномоченным проводить оценку и публиковать данные об уровнях и эффектах ионизирующего излучения. Тот факт, что Комитет получил эти конкретные полномочия от столь авторитетной организации, намного увеличивает его способность эффективно и беспристрастно служить человечеству. Организация Объединенных Наций в лице ее Ассамблеи может считать своей заслугой обеспечение такой возможности. Информация, предоставляемая Комитетом, помогает Генеральной Ассамблеи при вынесении рекомендаций, в особенности тех, которые важны для международного сотрудничества в области здравоохранения, для устойчивого развития и, в определенной степени, для сохранения мира и безопасности во всем мире.

6. Постоянно возникают новые задачи, касающиеся глобальных уровней радиационного облучения, становится доступной новая биологическая информация о воздействии радиационного облучения. Например, в результате использования ядерной энергии как в мирных целях, так и для разработки ядерного оружия образовалось большое количество радиоактивных отходов; источники радиации, применявшиеся в военных и мирных целях, были оставлены без присмотра, что создало ситуацию, способствующую незаконному обороту и другой преступной деятельности. Кроме того, потенциальная опасность низкоуровневого радиационного облучения, то есть радиационного облучения, сравнимого с естественным фоновым облучением, вызывает бурные дебаты и споры. Комитет реагирует на данные проблемы и будет продолжать это делать, выдвигая новые инициативы, которые будут включаться в будущие оценки источников радиации, ее уровней и воздействия.

7. Правительства и организации всего мира полагаются на представленный Комитетом анализ источников и воздействия радиации как на научную основу для оценки риска облучения, установления норм радиационной защиты и безопасности и регулирования источников радиации. В системе Организации Объединенных Наций эти оценки используются Международным агентством по атомной энергии при выполнении его уставных функций по установлению норм радиационной защиты для охраны здоровья и обеспечению их применения. Комитетом предложена обновленная программа работы по выполнению его обязательств перед Генеральной Ассамблеей.

Глава II Обзор

A. Воздействие радиационного облучения

8. Радиационное облучение может повреждать живые клетки, вызывая гибель некоторых из них и модифицируя другие. На функционирование большинства органов и тканей тела не влияет потеря даже значительного числа клеток. Однако, если их число будет достаточно велико, органам будет причинен поддающийся наблюдению ущерб, который может привести к смерти. Такой ущерб получают лица, подвергавшиеся радиационному облучению сверх порогового уровня. Радиационные повреждения иного рода могут происходить в клетках, которые не погибли, а были модифицированы. Обычно такие повреждения репарируются. Если репарация была неполной, образовавшаяся в результате модификация будет передана клеткам-потомкам и при некоторых обстоятельствах может привести к раку. Если модификации подверглись клетки, передающие наследственную информацию потомкам облученного человека, то могут возникнуть наследственные болезни.

9. Радиационное облучение связывают с большей частью форм лейкемии и раковыми заболеваниями многих органов, таких как легкие, молочная железа и щитовидная железа, однако не обнаруживают его связи с раковыми заболеваниями некоторых других органов, например предстательной железы. Тем не менее небольшая доза радиационного облучения (сравнимая, например, со среднемировым уровнем естественного облучения) приводит к чрезвычайно малому

увеличению вероятности развития рака, который может быть отнесен на счет облучения. Кроме того, радиационно индуцированный рак может проявляться спустя десятки лет после облучения и не отличается от рака, возникающего самопроизвольно или под воздействием других факторов. Самым крупным долгосрочным исследованием населения, подвергавшегося облучению, является изучение примерно 86 500 человек, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в Японии. Оно показало, что в исследованной группе населения число летальных исходов заболевания раком на несколько сотен больше, чем у необлученного населения. Поскольку примерно половина упомянутой группы населения еще живы, необходимы дополнительные исследования для получения полной картины заболеваемости в ней раком.

10. Кроме того, радиационное облучение способно вызывать наследственные изменения в потомстве лиц, подвергавшихся облучению. Одно время считали, что такие изменения угрожают будущему человеческой расы, повышая уровень естественных мутаций до опасной величины. Однако вызванные радиацией наследственные изменения в группах людей, подвергавшихся облучению, еще предстоит выявить, хотя известно, что у других видов они наблюдаются. Комитет подготавливает всесторонний доклад о влиянии радиационного облучения на наследственность для представления на пятьдесят шестой сессии Генеральной Ассамблеи.

B. Уровни радиационного облучения

11. Все люди подвергаются облучению естественной радиацией. Природными источниками радиации являются космические лучи и встречающиеся в природе радиоактивные вещества, существующие как в самой Земле, так и в организме человека. Значительный вклад в естественное облучение людей вносит газ радон, который выделяется из почвы и может накапливаться в помещениях. Уровень естественного облучения в разных местах земного шара различен, обычно его величина колеблется в пределах трех средних уровней. Однако во многих местах типичные уровни естественного радиационного облучения превышают средние уровни в 10, а иногда даже в 100 раз.

12. Деятельность человека, включающая применение излучения и радиоактивных веществ, вызывает

радиационное облучение в дополнение к природному. Некоторые из этих видов деятельности просто усиливают облучение от природных источников. В качестве примеров можно привести добычу и использование руды, содержащей природные радиоактивные вещества, и производство энергии путем сжигания угля, содержащего такие вещества. Загрязнение окружающей среды остаточными радиоактивными веществами, образовавшимися в результате испытаний ядерного оружия, продолжает оставаться глобальным источником радиационного облучения людей. В некоторых регионах мира производство ядерных материалов для военных целей оставило в наследство большое количество остаточных радиоактивных веществ. Атомные электростанции и другие ядерные установки выделяют радиоактивные материалы в окружающую среду и производят радиоактивные отходы во время работы и в процессе снятия их с эксплуатации. Во всем мире расширяется использование радиоактивных материалов в промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях, и многие люди пострадали от неправильного обращения с радиоактивными источниками.

13. Как правило, такого рода деятельность людей приводит к радиационному облучению, которое составляет лишь малую долю от глобального среднего уровня естественного облучения. Однако отдельные лица, постоянно живущие вблизи выделяющих радиоактивные материалы в окружающую среду установок, могут подвергаться более сильному облучению. Облучение населения вследствие регулируемых выбросов ограничено международно признанными пределами, которые установлены на уровне несколько меньшем, чем глобальный средний уровень естественного облучения. Следует отметить, что, если бы некоторые местности с высоким уровнем остаточного радиоактивного загрязнения были населены или вновь заселены, поселенцы подвергались бы радиационному облучению более сильному, чем глобальный средний уровень естественного облучения.

14. Медицинское применение радиации является наиболее крупным антропогенным источником радиационного облучения, использование которого все более расширяется. Оно включает диагностическую радиологию, радиотерапию, ядерную медицину и интервенционную радиологию. Большое число людей (особенно в развивающихся странах) все еще не могут пользоваться многими из этих медицинских процедур, которые не всюду доступны. Поэтому пока

эти люди получают меньшую дозу облучения от медицинской диагностики и лечения, чем те, кто живет в странах, пользующихся благами передовых медицинских технологий. Ожидается, что в будущем положение изменится, и Комитету нужно будет за ним следить.

15. Средние уровни радиационного облучения, получаемого вследствие медицинского применения радиации в развитых странах, эквивалентны примерно 50 процентам глобального среднего уровня естественного облучения. В этих странах компьютерная томография составляет лишь несколько процентов от всех применяемых процедур, но при этом производит почти половину всего облучения, используемого в медицинской диагностике. Неумелое применение некоторых интервенционных методов (таких как процедуры радиологического мониторинга расширения коронарных артерий) и радиотерапии приводило в результате к тяжелым формам лучевой болезни.

16. Кроме того, радиационное облучение происходит вследствие профессиональной деятельности. Ему подвергаются работники, занятые в промышленности, медицине и научных исследованиях, в которых применяются радиация или радиоактивные вещества, а также экипажи и пассажиры при авиаперевозках. Особенно существенно оно для космонавтов.

17. Как правило, средний уровень профессионального облучения сравним с глобальным средним уровнем естественного радиационного облучения. Однако небольшой процент работников получает дозы облучения, в несколько раз превышающие среднюю дозу естественного облучения. Облучение работников ограничено международно признанными пределами, которые установлены в размере примерно в 10 раз больше, чем средняя величина облучения естественной радиацией.

С. Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС

18. Авария на Чернобыльской атомной электростанции была наиболее серьезной аварией, вызвавшей радиационное облучение. Она привела к гибели в течение нескольких дней или недель 30 работников и к лучевой болезни у более чем ста других. Она также вынудила немедленно эвакуировать в 1986 году около 116 тыс. человек из районов, прилегающих к реактору, и постоянно переселить после 1986 года 220

тыс. человек из Беларуси, Российской Федерации и Украины. Ее результатом стали серьезные социально-психологические сдвиги в жизни пострадавших и огромные экономические потери для всего региона. Были загрязнены большие территории в этих трех странах, а отложения выброшенных радионуклидов были зафиксированы во всех странах Северного полушария.

19. Было отмечено около 1800 случаев рака щитовидной железы у детей, подвергшихся облучению во время аварии, и если эта тенденция сохранится, следует ожидать увеличения числа таких случаев в последующие десятилетия. За исключением этого, спустя 14 лет после аварии нет свидетельств существенного воздействия радиационного облучения на здоровье населения. Отсутствуют научные доказательства связи такого облучения с увеличением общей заболеваемости или смертности от рака или с заболеваниями нераковой природы. Даже среди участников ликвидации последствий аварии не обнаружено повышения риска заболевания лейкемией, которая, вследствие своего короткого латентного периода, вызывает наибольшую тревогу. Хотя у наиболее сильно облученных лиц риск связанных с облучением эффектов повышен, подавляющее большинство населения, вероятно, не испытывает серьезных проблем со здоровьем из-за облучения при аварии на Чернобыльской АЭС.

Глава III

Источники радиационного облучения

20. Ионизирующее излучение представляет собой электромагнитные волны и частицы, которые могут ионизировать, то есть выбивать электрон из атома или молекулы среды, в которой они распространяются. Ионизирующее излучение может испускаться в процессе естественного распада ядер некоторых нестабильных изотопов или вследствие возбуждения атомов и их ядер в атомных реакторах, циклотронах, рентгеновских установках или других приборах. Исторически сложилось так, что фотонная (электромагнитная) составляющая ионизирующего излучения, испускаемого возбужденным ядром, получила название гамма-излучения, а излучение,

испускаемое приборами, именуется рентгеновским излучением. Заряженные частицы, испускаемые ядром, носят название альфа-частиц (ядра гелия) и бета-частиц (электроны).

21. Процесс ионизации живой материи неизбежно изменяет атомы и молекулы, по крайней мере временно, и, таким образом, может повредить клетки. Если повреждение клетки произошло и не было адекватно репарировано, это может помешать клетке выжить, или размножиться, или выполнять свои обычные функции. Оно также может привести к появлению жизнеспособной, но модифицированной клетки.

22. Основной величиной, используемой для выражения величины облучения материала, такого как тело человека, является поглощенная доза, единицей которой является грей (Гр). Однако величина биологического эффекта единицы поглощенной дозы различается в зависимости от типа излучения и части тела, подвергшейся облучению. Для того чтобы отразить эти различия, используется взвешенная величина, которая называется эффективной дозой и измеряется в зивертах (Зв). В докладах Комитета об уровнях облучения людей обычно используется эффективная доза. В настоящем докладе как поглощенная, так и эффективная доза обычно называются просто "дозой", а единицы измерения указывают на тот вид дозы, который имелся в виду. Радиоактивный источник характеризуется своей активностью, которая представляет собой количество ядерных распадов на единицу времени. Единицей активности является беккерель (Бк). Один беккерель равен одному распаду в секунду.

23. Для оценки действия облучения на определенную группу населения может быть использована сумма всех доз, полученных членами группы, которая называется "коллективной дозой" (единица измерения – человеко-зиверт). Величина коллективной дозы, разделенная на число людей в облученной группе населения, составляет среднюю дозу на душу населения, измеряемую в зивертах. Общие процедуры, используемые Комитетом для оценки доз радиации, представлены в приложении А к настоящему докладу "Методологии оценки дозы".

А. Естественное радиационное облучение

24. Все живые организмы непрерывно подвергаются действию ионизирующего излучения, которое всегда существовало в природе. Источниками такого облучения являются космическое излучение из космического пространства и с поверхности Солнца, земные радионуклиды, которые встречаются в коре Земли, в строительных материалах, воздухе, воде и пище и в теле самого человека. Некоторые виды такого облучения довольно постоянны и однородны для всех людей повсюду, например доза, получаемая при приеме с пищей калия-40. Интенсивность других видов облучения изменяется в широких пределах в зависимости от местонахождения. Например, космическое излучение более интенсивно на большой высоте, а в отдельных районах повышена концентрация урана и тория в почве. Уровни облучения могут также изменяться в зависимости от практики и действий человека. В частности, конструкция и строительные материалы домов, а также вентиляционных систем оказывают большое влияние на уровни содержания в помещениях радиоактивного газа радона и продуктов его распада, которые вносят значительный вклад в дозу, получаемую ингаляционным путем.

25. Вклад компонентов облучения, получаемого от естественных источников радиации, в настоящем докладе подвергся переоценке на основе новой информации и результатов измерений, а также дальнейшего анализа происходящих при этом процессов. Результаты представлены в приложении В "Облучение из естественных источников радиации". Компоненты облучения были суммированы в целях получения оценки глобальной средней дозы облучения. Глобальная средняя доза не относится к какому-то конкретному индивидууму, поскольку излучение из каждого источника может изменяться в широких пределах и соответствующие эффективные дозы в разных местах комбинируются по-разному, в зависимости от конкретной концентрации радионуклидов в окружающей среде и организме человека, географической широты и высоты места над уровнем моря и многих других факторов.

Таблица 1
Средние дозы облучения из естественных источников (мЗв)

Источник	Средняя годовая общемировая	Типичный диапазон
----------	--------------------------------	----------------------

<i>эффективная доза</i>		
Внешнее облучение		
Космическое излучение	0,4	0,3–1,0 ^a
Гамма-излучение земного происхождения	0,5	0,3–0,6 ^b
Внутреннее облучение		
Ингаляционное поступление (главным образом радон)	1,2	0,2–10 ^c
Пероральное поступление	0,3	0,2–0,8 ^d
Всего	2,4	1–10

^a Диапазон от уровня моря до высокогорья.

^b В зависимости от радиоизотопного состава почвы и строительных материалов.

^c В зависимости от накопления газа радона в помещениях.

^d В зависимости от радиоизотопного состава пищи и питьевой воды.

26. Годовая общемировая эффективная доза на душу населения определяется сложением различных компонентов, которые обобщены в таблице 1. Годовая глобальная эффективная доза облучения на душу населения из естественных источников составляет 2,4 мЗв. Однако диапазон индивидуальных доз весьма широк. Следует ожидать, что в любой большой группе населения около 65 процентов получают средние годовые эффективные дозы в диапазоне от 1 до 3 мЗв, около 25 процентов членов группы получают среднюю годовую эффективную дозу менее 1 мЗв и 10 процентов будут иметь среднюю годовую эффективную дозу свыше 3 мЗв

В. Облучение из антропогенных источников в окружающей среде

27. Некоторые виды и практика человеческой деятельности, а также события, связанные с применением источников излучения, приводят к выбросам радиоактивных материалов в окружающую среду и облучению населения. Оценка полученных в результате этого доз облучения содержится в приложении С к настоящему докладу "Облучение населения из антропогенных источников радиации". Основной вклад в облучение всего населения Земли в результате деятельности человека внесли испытания ядерного оружия в атмосфере, проводившиеся с 1945 по 1980 год. Каждое ядерное испытание сопровождалось неконтролируемым выбросом в

окружающую среду значительных количеств радиоактивных материалов, которые широко распространялись в атмосфере и выпадали в виде осадков на всей поверхности Земли.

28. Комитет уделил особое внимание оценке доз, полученных в результате проведения ядерных взрывов в атмосфере. Общемировая коллективная эффективная доза, полученная в результате этих действий, была оценена в докладе Комитета за 1982 год на основе осуществленных во время проведения испытаний многочисленных измерений глобального депонирования ^{90}Sr и ^{137}Cs и присутствия этих и других выпадавших с осадками радионуклидов в продуктах питания и организме человека.

29. Стала доступной новая информация о количестве и мощности ядерных взрывов. Ранее страны, проводившие испытания, не раскрывали эти данные полностью из соображений секретности. Обновленный список ядерных испытаний в атмосфере, проведенных на каждом из испытательных полигонов, включен в настоящий доклад (см. приложение С). Хотя данные о суммарной взрывной мощности по каждому испытанию были опубликованы, информация о выходах деления и синтеза по большей части остается засекреченной. Для того чтобы получить возможность определить выходы деления и синтеза по каждому испытанию в целях оценки количества радионуклидов, получившихся в результате взрывов, был сделан ряд общих предположений. Оценка общего выхода деления при отдельных испытаниях согласуется с величиной глобального депонирования основных радиоактивных продуктов деления ^{90}Sr и ^{137}Cs , определенной с помощью сети глобального мониторинга.

30. Используя уточненные оценки выделения каждого радионуклида в отдельных испытаниях и эмпирическую модель транспорта их в атмосфере, можно определить изменение дисперсии и депонирования радионуклидов во времени и оценить средние годовые дозы, получаемые различными путями, для каждого из полушарий Земли. Таким способом было вычислено, что средняя годовая общемировая эффективная доза достигла максимума, равного 150 мкЗв, в 1963 году и с тех пор уменьшилась до примерно 5 мкЗв в 2000 году; она обусловлена содержащимися в окружающей среде остаточными радионуклидами, главным образом ^{14}C , ^{90}Sr и ^{137}Cs . Средние годовые дозы на 10 процентов выше в Северном полушарии, где проводилось большинство испытаний, и ниже в Южном полушарии. Хотя в

период проведения испытаний выражалось большое беспокойство по поводу величины облучения, средние годовые дозы оставались относительно низкими и никогда не превышали примерно 7 процентов фонового уровня облучения из естественных источников.

31. Также с использованием доступной информации были оценены дозы облучения местного населения в районах, прилегающих к испытательным полигонам. Степень детальности этой информации все еще недостаточна, для того чтобы документально зафиксировать дозы с большой точностью. В первые годы проведения испытательных программ на местные условия и вероятность облучения практически не обращали внимания. Тем не менее предпринимаются попытки реконструировать дозы, с тем чтобы получить более точную реальную картину происшедшего и задокументировать локальное и региональное облучение и полученные в результате дозы.

32. Подземные испытания вызывали облучение за пределами полигонов, только если происходили выпуск или утечка радиоактивных газов. Большинство подземных испытаний были значительно меньшей мощности, чем атмосферные испытания, и обычно имела возможность предотвратить выброс образовавшихся обломков. Подземные испытания проводились с 1962 по 1990 год, ежегодно 50 или более испытаний. Хотя большинство стран намерены достичь соглашения о запрещении всех дальнейших испытаний как в атмосфере, так и подземных, Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (см. резолюцию Генеральной Ассамблеи 50/245) еще не вступил в силу. Был проведен ряд новых подземных испытаний. Таким образом, пока еще нельзя говорить о том, что практике проведения ядерных испытаний положен конец.

33. В то время, когда создавались арсеналы ядерного оружия, особенно в ранний период (1945–1960 годы), происходили выбросы радионуклидов, в результате которых облучению подвергалось местное население, проживавшее с подветренной стороны от ядерных установок или ниже их по течению рек. Поскольку потенциальная опасность облучения практически не была осознана и мониторинг выбросов был ограничен, оценку приходится проводить на основе реконструкции доз. В настоящее время продолжается получение результатов, документирующих эти события. Технологии ядерного производства с точки зрения обеспечения безопасности значительно усовершенствовались, а арсеналы ядерного оружия в

настоящее время сокращаются. Таким образом, облучение вследствие осуществления ядерного топливного цикла в военных целях уменьшилось до очень низкого уровня.

34. По-прежнему осуществляется производство электрической энергии на атомных энергетических реакторах. Если сделать допущение, что это производство продолжается в течение 100 лет, максимальную коллективную дозу можно оценить исходя из кумулятивных доз облучения, происшедшего в течение всего периода производства. Ограниченная 100 годами нормализованная округленная величина дозы составляет 6 чел.-Зв на гигаваатт-год. Если предположить, что текущий годовой объем производства в размере 250 ГВт-год сохранится, округленная коллективная доза за год производства составит 1500 чел.-Зв на все население мира, что дает оценочную величину максимума средней дозы на душу населения менее 0,2 мкЗв в год.

35. Других видов деятельности, которые могли бы привести к значительному облучению вследствие выброса радионуклидов в окружающую среду, нет, если

не считать аварий или площадок, где накопились радиоактивные отходы, что привело к значительным уровням загрязнения на ограниченных территориях. Оценки выброса изотопов, производимых и используемых в промышленности и медицине, в настоящее время анализируются, однако, судя по всему, они приводят к весьма незначительным уровням облучения. Также, по мере приобретения соответствующего опыта, могут быть рассмотрены возможные в будущем виды деятельности, такие как демонтаж боеголовок, снятие с эксплуатации установок и проекты утилизации отходов, однако все они не будут или почти не будут связаны с выбросом радионуклидов и могут привести лишь к пренебрежимо низким дозам. В медицинской практике наибольшие индивидуальные дозы, в среднем около 0,5 мЗв, могут быть получены теми членами семей больных, подвергаемых терапии ^{131}I , которые имели с ними близкий контакт.

36. В случае аварии загрязнение окружающей среды и облучение могут стать значительными. Характерным примером является авария на Чернобыльской атомной электростанции. Облучение было наиболее

значительным на территориях, непосредственно прилегающих к реактору, однако небольшие уровни облучения отмечались в Европейском регионе и во всем Северном полушарии. В первый год после аварии наивысшие годовые регионально усредненные дозы в Европе за пределами бывшего Союза Советских Социалистических Республик составляли менее 50 процентов дозы естественного фонового облучения. Впоследствии дозы облучения быстро уменьшались. Случаи более высоких доз облучения, имевшие место в районе аварии, и их возможное влияние на здоровье являются объектом исследования.

37. В нескольких отраслях промышленности используются или перерабатываются большие количества сырья, содержащего природные радионуклиды. Выбросы в воздух и воду с таких промышленных предприятий и использование побочных продуктов и отходов их производства могут привести к повышенному облучению населения в целом. По оценкам, максимальные дозы облучения связаны с производством фосфорной кислоты, производствами по переработке минерального песка и электростанциями, работающими на угле. Хотя небольшое число местных жителей может получить среднюю годовую дозу около 100 мкЗв, более частыми будут дозы порядка 1–10 мкЗв.

С. Облучение в медицинских целях

Комитетом оценки представлены в приложении D "Облучение в медицинских целях".

38. Применение ионизирующего излучения в медицинской диагностике и терапии широко распространено во всем мире. Существуют значительные различия между странами в национальных ресурсах и практике медицинской радиологии. В целом медицинское облучение ограничивается областью тела, подвергающейся лечению, и производится в конкретных лечебных целях, чтобы принести непосредственную пользу обследуемым или подвергаемым лечению людям. Диагностическое облучение характеризуется довольно низкими индивидуальными дозами (обычно эффективные дозы находятся в диапазоне 0,1–10 мЗв), которых в принципе достаточно для получения необходимой клинической информации. Результирующие дозы на душу населения приведены в таблице 2. Напротив, при терапевтическом облучении используются намного более высокие дозы, точно направленные на опухолевые участки (обычно прописываются дозы в диапазоне 20–60 Гр) для уничтожения очага заболевания, главным образом рака, или смягчения болевых симптомов. Относительно малое количество диагностических или терапевтических облучений проводится на добровольцах в контрольных обследованиях для целей научных исследований. Медицинские радиологические процедуры проводятся систематически, и радиационные травмы здесь весьма редки.

39. Комитет провел оценку облучения при прохождении медицинских процедур с использованием радиации на основе информации, полученной из вопросников, которые были распространены среди всех государств – членов ООН. Было выделено четыре уровня здравоохранения в зависимости от числа врачей, обслуживающих жителей страны. Диапазон составил от одного врача на 1 тыс. жителей на самом высоком уровне (уровень I здравоохранения) до одного врача на более чем 10 тыс. жителей (уровень IV здравоохранения). Имевшиеся данные были усреднены для определения репрезентативной частоты прохождения процедур или облучения в странах на каждом из уровней. Эти данные были затем экстраполированы на население всех стран в рамках каждого уровня и на все население мира, что отражено в таблице 2. Подробные результаты проведенной

Таблица 2

Облучение в результате диагностических медицинских рентгеновских обследований

Уровень здравоохранения	Число жителей на одного врача	Число обследований в год на 1 тыс. жителей	Средняя годовая эффективная доза для населения (мЗв)
I	<1 000	920	1,2
II	1 000–3 000	150	0,14
III	3 000–10 000	20	0,02
IV	>10 000	<20	<0,02
В среднем по всему миру		330	0,4

40. Величины оценок числа медицинских радиологических процедур, взятые из проведенных Комитетом различных обзоров, имеют тенденцию устойчивого роста со временем. Можно ожидать дальнейшего увеличения применения радиации в медицинских целях и получаемых в результате доз, обусловленного изменениями в методах работы в области охраны здоровья, которым способствуют технические достижения и экономический рост. Например, вероятно увеличение применения рентгеновских лучей, связанное, в частности, с ростом использования компьютерной томографии и интервенционных процедур. Развитие практики ядерной медицины будет обусловлено использованием новых и более специфичных радиофармацевтических препаратов для диагностики и терапии, а спрос на услуги радиотерапии будет расти в связи со старением населения. Кроме того, можно ожидать дальнейшего роста медицинской радиологии в развивающихся странах, где в настоящее время соответствующее оборудование и услуги часто отсутствуют.

41. Соответственно, Комитету необходимо предпринять новые авторитетные обзоры медицинской практики по всему миру, систематически компилировать данные из новых национальных обследований, в особенности по тем регионам, информация о которых в настоящее время скудна, а также изучать усовершенствованные методы моделирования с целью получить уточненные оценки общемировых доз облучения. Выполнение этой важной задачи облегчит мониторинг и распространение информации об уровнях и тенденциях изменения доз облучения в такой быстро меняющейся и важной

области, как медицинская радиология, а также будет стимулировать проведение дальнейших оценок и критических обзоров этой практики в отдельных странах.

D. Профессиональное радиационное облучение

42. Существует ряд профессий, занятие которыми связано с облучением из антропогенных источников излучений, имеющих на ядерных установках или в медицинских лечебных учреждениях, а некоторые работники подвергаются воздействию повышенного уровня излучения из естественных источников. Комитетом используется термин "профессиональное облучение" для обозначения облучения на месте работы, непосредственно связанного с этой работой. Оценка профессионального радиационного облучения проводилась с использованием данных, представленных Комитету национальными органами в ответ на вопросы. Данные, которые обобщены в приложении E "Профессиональное облучение", достаточно подробны. Для различных профессий представлены усредненные по пятилетним периодам данные за 1975–1994 годы. Наибольшее внимание уделяется облучению из антропогенных источников; страны обычно фиксируют эти данные для целей регулирования. В тех случаях, когда была необходима величина среднего облучения рабочей силы, принималось, что общее число работников равно числу обследованных работников.

43. На качестве оценок профессионального облучения, приведенных в настоящем докладе, положительно сказалось использование гораздо более широкой и полной базы данных по сравнению с той, которая была доступна Комитету ранее. Усилия, предпринимаемые странами для регистрации и улучшения качества дозиметрических данных, нашли отражение в ответах на проведенное Комитетом обследование профессионального облучения и привели к уточнению оценок доз такого облучения.

44. Проведенная Комитетом на данный момент оценка общемировой коллективной эффективной дозы, получаемой работниками из антропогенных источников, относится к началу 90-х годов и равна 2700 чел.-Зв, что примерно в два раза меньше, чем оценка, сделанная Комитетом в конце 70-х годов. Значительный вклад в ее уменьшение внесли изменения в ядерном топливном цикле, в особенности в добыче урана. Однако снижение наблюдается во всех основных категориях:

промышленном применении, медицинском применении, оборонной деятельности и образовании. Эта тенденция отразилась также на величине общемировой средней годовой эффективной дозы, которая снизилась с примерно 1,9 до 0,6 мЗв. Средние годовые дозы, получаемые работниками различных отраслей, приведены в таблице 3.

Таблица 3
Профессиональное радиационное облучение

<i>Источник/деятельность</i>	<i>Число обследованных работников (тысяч)</i>	<i>Средняя годовая эффективная доза (мЗв)</i>
Антропогенные источники		
Ядерный топливный цикл (включая добычу урана)	800	1,8
Применение излучения в промышленности	700	0,5
Оборонная деятельность	420	0,2
Использование излучения в медицине	2 320	0,3
Образование/ветеринария	360	0,1
Всего из антропогенных источников	4 600	0,6
Повышенное облучение из естественных источников		
Полеты (экипажи)	250	3,0
Добыча полезных ископаемых (помимо угля)	760	2,7
Добыча угля	3 910	0,7
Переработка минералов	300	1,0
Облучение на надземных рабочих местах (радон)	1 250	4,8
Всего из естественных источников	6 500	1,8

45. Не предпринималось попыток обнаружить какую-либо тенденцию изменения оценочных величин дозы профессионального облучения, получаемой из естественных источников повышенной радиации, поскольку объем необходимых данных довольно ограничен.

В докладе за 1988 год была сделана ориентировочная оценка облучения из этих источников, составившая примерно 20 000 чел.-Зв, в дальнейшем она была пересмотрена в сторону уменьшения до 8600 чел.-Зв в докладе 1993 года. Сравнимый показатель для 1990–1994 годов составил 5700 чел.-Зв, однако в этот период

94 годов составил 5700 чел.-Зв, однако в этот период к нему была добавлена новая важная составляющая – профессиональное облучение, связанное с повышенным уровнем содержания радона и продуктов его распада, так что общая оценочная величина коллективной дозы увеличилась до 11 700 чел.-Зв. Эта оценка также рассматривается как ориентировочная, так что существует потребность в более качественных данных. Эта проблема будет решаться в рамках следующего оценочного исследования, проводимого Комитетом.

Е. Сопоставление облучений

46. В таблице 4 приведено сравнение доз облучения, полученных населением Земли из различных источников. Для проведения сравнений пригодны две величины. Когда мощность источника постоянна или изменяется только вследствие природных процессов, используется годовая глобальная эффективная доза на душу населения. Эта величина используется и в том случае, когда все возможное облучение из данного источника происходит за короткое время. В случае источников, которые продолжают излучать в течение длительных периодов времени, необходимо отмечать изменение облучения со временем. В таблице 4 приведены значения годовых доз, усредненных по всему населению Земли, которые не обязательно являются дозами, реально полученными какими-либо людьми. Вследствие значительных различий в облучении, зависящих от местонахождения, личных привычек, рациона питания и т. д., дозы, получаемые отдельными лицами, различаются.

47. Безусловно, наибольшая доля облучения приходится на естественный радиационный фон. Годовая доза на душу населения равна 2,4 мЗв, а ее диапазон при обычных условиях может колебаться от 1 до

10 мЗв. Однако существуют небольшие группы лиц, которые могут подвергаться значительно более сильному облучению. В некоторых местах содержание в почве природных радионуклидов создает высокие уровни внешнего облучения; они получили название районов с высоким уровнем фона. Гораздо более значительными и распространенными являются колебания содержания радона в воздухе внутри помещений.

48. Второй по величине вклад в облучение людей во всем мире вносят медицинские процедуры с

использованием излучения. Наблюдаемая тенденция роста облучения из этого источника свидетельствует о все более широком использовании и доступности услуг радиационной медицины во всем мире.

49. Был сделан вывод о том, что в период наиболее интенсивного проведения ядерных испытаний (1958–1962 годы) облучение населения земного шара в результате испытательных ядерных взрывов в атмосфере достигло вызвавшего тревогу уровня, когда осознали, сколь широкомасштабным оно было. Эта практика привела к неограниченному выбросу больших количеств радиоактивных материалов непосредственно в атмосферу. Из всех видов человеческой деятельности или событий, с нею связанных, ядерные испытания в атмосфере привели к наиболее крупным выбросам радионуклидов в окружающую среду. Максимального уровня годовая доза достигла в 1963 году, составив в среднем 7 процентов от естественного фона. На остаточные уровни долгоживущих радионуклидов, которые все еще присутствуют в окружающей среде, приходится лишь небольшая доля годовой дозы облучения населения Земли.

Чернобыльская авария	0,002	Уменьшилась по сравнению с максимальной величиной 0,04 мЗв в 1986 году (среднее по Северному полушарию). Выше в местах, расположенных ближе к месту аварии.
Производство атомной энергии (см. пункт 34)	0,002	Увеличивалась по мере расширения программы, но уменьшилась с совершенствованием технологии.

Таблица 4

Годовые эффективные дозы облучения на душу населения, ожидаемые в 2000 году от естественных и антропогенных источников

<i>Источник</i>	<i>Общепризнанная годовая эффективная доза на душу населения (мЗв)</i>	<i>Диапазон или тенденция изменения дозы</i>
Естественный фон	2,4	Обычно варьируется в диапазоне от 1 до 10 мЗв, в зависимости от местных условий, однако заметная доля населения получает от 10 до 20 мЗв.
Медицинские диагностические обследования	0,4	Находится в диапазоне от 0,04 на низшем до 1,0 мЗв на высшем уровне здравоохранения.
Ядерные испытания в атмосфере	0,005	Уменьшилась по сравнению с максимальной величиной 0,15 мЗв в 1963 году. Выше в Северном полушарии и ниже – в Южном.

Глава IV

Связанный с облучением рак

50. Эффекты облучения обусловлены повреждениями, получаемыми клетками при взаимодействии с излучением. Повреждения могут привести к гибели клетки или изменениям в ней, которые могут влиять на нормальное функционирование органов и тканей. На функционирование большинства органов и тканей тела не влияет потеря даже значительного числа клеток. Однако если число потерянных клеток будет достаточно велико, то органу или ткани, а следовательно, и всему организму будет причинен заметный ущерб. Такой ущерб может быть причинен, только если доза облучения достаточно велика, чтобы убить большое число клеток. Этот вид повреждения наблюдается у всех лиц, получивших острую дозу, превышающую необходимый для проявления эффекта порог, и называется "детерминированный эффект".

51. Если клетка не убита, а только модифицирована лучевыми повреждениями, то в жизнеспособной клетке повреждения обычно будут репарированы. Если репарация не будет полной, модификация будет передана дочерним клеткам и может с некоторой вероятностью привести к раку какой-либо ткани или органа облученного человека. Если эти клетки участвуют в передаче генетической информации потомкам облученного индивидуума, то могут возникнуть наследственные заболевания. Такого рода последствия для облученных лиц и их потомков получили название "стохастические эффекты", что указывает на их вероятностную природу.

52. Говоря кратко, детерминированные (острые) эффекты будут проявляться, только если доза облучения значительна, как бывает в случае аварии. Стохастические эффекты (рак и наследственные эффекты) могут быть вызваны повреждением одной клетки. По мере увеличения полученной тканью дозы, начиная от нижнего уровня, все большее число клеток подвергается повреждению и вероятность проявления стохастических эффектов возрастает.

53. За те 45 лет, в течение которых Комитет анализировал информацию, касающуюся биологического эффекта излучения, наукой были достигнуты значительные успехи и в результате понимание многих явлений улучшилось. Ниже резюмируются современные знания о действии

радиации и основные результаты проведенных Комитетом оценок.

А. Радиобиологические эффекты низких доз облучения

54. Комитет проанализировал широкий круг экспериментальных исследований воздействия излучения на клеточные системы, а также на растения и животных. Многие из их реакций и факторов, их изменяющих, составляют основу знаний о воздействии излучения на человека и зачастую поддаются более глубокому изучению, чем это возможно при исследованиях, проводимых с людьми. Кроме того, современная фундаментальная радиобиология включает молекулярную радиобиологию, которая вносит существенный вклад в понимание механизмов реакции на излучение.

55. Повреждение дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) ядра является основным иницирующим событием, благодаря которому излучение причиняет долговременный ущерб органам и тканям тела. Считается, что разрывы двойной спирали ДНК являются наиболее вероятной причиной критических повреждений. Даже единичные треки излучения обладают достаточной для разрыва двойной спирали энергией и в отсутствие полностью эффективной репарации могут вызвать долговременные повреждения даже при самых низких дозах. Повреждение других компонентов клетки (эпигенетические изменения) может повлиять на функционирование клетки и процесс ее перехода в злокачественное состояние.

56. В реакции клеток на радиацию участвуют многочисленные гены, включая те, которые отвечают за устранение повреждений ДНК и регуляцию клеточного цикла. Мутация таких генов проявляется у человека в виде ряда нарушений, которые повышают его чувствительность к облучению и склонность к раковым заболеваниям. Например, мутация в одном из многих так называемых генов контрольных точек может привести к нехватке времени для устранения повреждений, поскольку клетка потеряет способность к замедлению клеточного цикла после облучения.

57. Клетки обладают рядом биохимических механизмов, способных распознавать и устранять конкретные виды повреждений. Этот вопрос рассмотрен в приложении F "Репарация ДНК и мутагенез". Одним из играющих ключевую роль генов является *TP53*, подавляющий развитие опухолей,

который был утерян или подвергся мутации более чем в половине всех опухолей человека. Производимый этим геном белок p53 регулирует как остановку клеточного цикла, так и один из механизмов апоптоза (программированной клеточной гибели, которая важна для предотвращения перехода некоторых поврежденных клеток в трансформированное состояние злокачественного роста). Некоторые из этих биохимических путей также задействованы в реакции на стресс или адаптационных процессах, которые направлены на ограничение степени или последствий повреждения. Несмотря на индукцию и действие этих защитных процессов в случае радиационного повреждения, несомненно, что его неправильная репарация чревата возможностью индукции ракового процесса или развития наследственных заболеваний.

58. Протоонкогены (гены, которые могут быть неправильно активированы и затем принять участие в развитии опухоли) и гены, подавляющие развитие опухолей, регулируют сложную систему биохимических путей, участвующих в межклеточных взаимодействиях и сигнализации, росте, митогенезе, апоптозе, поддержании стабильности генома и дифференцировке. Мутации данных генов могут нарушить контроль этих процессов и внести вклад в многостадийный процесс развития рака.

59. Активацию протоонкогенов путем хромосомной транслокации часто связывают с ранними стадиями развития лейкемии и лимфом, хотя в данном случае может иметь место и утеря гена. Для развития многих солидных опухолей требуется приводящая к потере их функции мутация генов – опухолевых супрессоров, которые управляют пролиферацией клеток в конкретных тканях. Наступающая в результате нестабильность генома, связанная с дальнейшими мутациями отдельных клонов клеток, может явиться критическим событием, приводящим к трансформации клетки из доброкачественного состояния в злокачественное. Считается, что утеря апоптотического контроля также играет важную роль в процессе развития опухоли.

60. Многостадийная природа процесса развития опухоли рассматривается в приложении G "Биологическое воздействие низких доз облучения". Необходимо узнать еще многое о данном процессе. Хотя концепция последовательных взаимодействующих генетических мутаций как движущей силы процесса образования опухоли ныне получила достаточное признание, отсутствует должное

понимание сложной связи между этими событиями и их влиянием на функционирование клеток и гомеостаз тканей; также недостаточно ясным представляется вклад в злокачественную трансформацию немутационных (эпигенетических) клеточных событий, таких как инактивация генов и изменения в межклеточных взаимодействиях.

61. Прямые данные о природе связанных с облучением иницирующих событий в опухолях человека фрагментарны, и не следует ожидать быстрого прогресса в данной области. Однако сейчас имеются большие успехи в обнаружении ранних событий при индукции опухолей облучением у мышинных моделей. Эти молекулярные данные подкрепили отраженное в докладе

1993 года мнение, что развитие индуцированного облучением опухолевого процесса протекает за счет потери специфических генов; вместе с тем нельзя пренебрегать и вкладом рано проявляющихся эпигенетических событий.

62. Большое количество информации указывает на критически важную роль, которую играют в развитии опухоли процесс репарации ДНК и другие системы реакции на повреждения. Системы, отвечающие за реакцию на повреждение ДНК, влияют на появление иницирующих событий в многостадийном процессе и снижают вероятность самопроизвольного образования вторичных мутаций, необходимых для перерождения доброкачественной опухоли в злокачественную. Таким образом, происходящие в опухолях мутации генов, ответственных за реакцию клетки на повреждение ДНК, играют важную роль в самопроизвольном развитии нестабильности генома.

63. Репарация повреждений двойной спирали ДНК, иногда весьма сложных, чревата значительным числом ошибок и является важным фактором, обуславливающим влияние на клетки дозы, ее мощности и характера облучения. По-прежнему остается неясность в отношении значимости адаптивного ответа клетки на повреждения ДНК для онкогенеза; подробную характеристику механизмов такого ответа еще предстоит осуществить, хотя вероятной представляется их связь с механизмами индукции биохимического ответа на стресс. Последние достижения науки выявили различия в сложности и возможности репарации между самопроизвольными и вызванными облучением повреждениями ДНК. Эти данные указывают на то, что суждения о биологическом ответе на низкие дозы нельзя

основывать на сравнении общей частоты повреждений без учета их природы.

64. Обзор результатов научных исследований в области адаптивного ответа клеток и организмов на облучение был сделан в докладе за 1994 год, и там же описано типичное проявление адаптивного ответа. Считают, что это явление есть результат небольшой начальной (запальной) дозы, активирующей механизм репарации, который уменьшает ответ на последующую большую (ударную) дозу. Очевидно, что диапазон запальных доз ограничен, время получения ударной дозы является критичным, а сама она должна иметь соответствующую мощность. Конкретные доноры лимфоцитов весьма по-разному реагируют на одну и ту же дозу. Вместе с тем адаптивный ответ наблюдался во многих системах, включая человеческие лимфоциты, различные клетки мышей, при этом он вызывался как облучением, так и некоторыми химическими веществами, например перекисью водорода и блеомицином. Однако до сих пор не было достигнуто воспроизводимого уменьшения частоты индукции опухолей после облучения низкими дозами.

65. Основная предпосылка теории ответа на облучение состоит в том, что любое взаимодействие излучения с ДНК вызывает ее повреждение, которое, не будучи репарировано или репарированное некорректно, может явиться иницирующим событием на пути онкогенеза. Мутации генов обычно приводят к изменению их экспрессии, связанной с исчезновением их продуктов (белков), или изменением их свойств или количества. Вследствие этого биохимический баланс клетки может быть нарушен, что приведет к нарушению контроля клеточной сигнализации или стадий пролиферации и дифференцировки. Таким образом, мутированные клетки не только не будут ограничиваться количественно или уничтожаться, но получат возможность перейти в стадию клонального роста. Некоторые немутационные (эпигенетические) явления или повреждения могут иметь отношение к этим изменениям или способствовать им. В ряде случаев может произойти дестабилизация генома, что откроет путь к накоплению новых мутаций, а это, в свою очередь, может ускорять развитие опухолевого процесса.

66. Вопрос о том, может ли существовать пороговый уровень облучения, ниже которого биологический ответ отсутствует, следует рассматривать исходя из действующих механизмов. В частности, необходимо знать, на самом ли деле процессы репарации при очень

малых дозах являются более эффективными и, возможно, стимулируются адаптивной реакцией, предотвращая нанесение любого ущерба компонентам клетки. О наличии такого порогового уровня можно было бы говорить только в том случае, если процессы репарации являлись бы абсолютно эффективными в данном диапазоне доз или если бы единичный трек излучения не мог вызывать соответствующего эффекта. Отсутствие явных признаков значительных отклонений от линейного течения онкогенной реакции в ключевых точках клетки (хромосомные аберрации, мутации генов, трансформация клетки) при малых дозах, функционирование хорошо изученных и предрасположенных к ошибкам механизмов репарации ДНК, а также наличие спонтанных повреждений ДНК в клетках млекопитающих говорят об отсутствии адаптивных или иных процессов, которые могли бы обеспечивать существование порога дозы, необходимого для проявления эффекта облучения. Считается, что такие клеточные процессы, как апоптоз и дифференцировка клеток, способные защитить организм на более поздних стадиях онкогенеза, являются эффективными, однако они могут быть не задействованы; нет оснований полагать, что эти защитные механизмы по-разному действуют на самопроизвольно зародившиеся и индуцированные облучением опухоли или обладают зависимостью от дозы.

67. Таким образом, можно сделать вывод о том, что, по современным данным, даже в низких дозах облучение может выступать в качестве мутационного фактора инициации онкогенеза, и похоже, что функционирование механизмов противоопухолевой защиты не зависит от величины дозы при малой ее величине. Вообще онкогенная реакция, по-видимому, не является сложной функцией увеличения дозы. Наиболее простым ее описанием является линейная зависимость, что согласуется с большинством имеющихся количественных данных и данных о механизмах этого процесса. Реакция на облучение может варьироваться в зависимости от типа опухоли, кроме того, в каждом наборе данных неизбежно присутствуют статистические колебания. Отклонение от линейности отмечено в данных по лейкемии, для описания которых используется линейно-квадратичная функция. Рак кожи и некоторые виды рака, вызванные облучением альфа-частицами, могут иметь виртуальные пороговые уровни. Ввиду многоступенчатого характера процесса онкогенеза линейная или линейно-квадратичная функции

используются только в целях представления оценки возможных рисков облучения. Фактически же реакция на него может состоять из множества разнонаправленных процессов, которые пока еще невозможно дифференцировать.

В. Комбинированные воздействия

68. Комбинированное воздействие излучения и других химических, физических и биологических агентов, присутствующих в окружающей среде, является одной из характерных черт современной жизни. Характеристики и эффекты комбинированного воздействия рассмотрены в приложении Н "Комбинированное действие облучения и других агентов". Хотя при высоких уровнях облучения обычно проявляются как синергические, так и антагонистические комбинированные эффекты, бесспорные свидетельства больших отклонений от аддитивности при контролируемом профессиональном облучении или воздействии окружающей среды отсутствуют. Это подтверждается исследованиями на животных, рассмотрением механизмов воздействия и эпидемиологическими оценками. Таким образом, несмотря на потенциальную важность комбинированных воздействий, результаты оценок воздействия отдельных агентов на здоровье человека обычно считаются применимыми для ситуаций воздействия нескольких агентов.

69. Отклонение от аддитивности зависит от особенностей влияния конкретных агентов на различные стадии последовательного процесса, ведущего к проявлению клинического эффекта. Однако таких эффектов можно ожидать только в случаях, когда оба агента оказывают влияние на большую часть переходов в данной последовательности. Для агентов, действующих независимо и через различные механизмы и пути, теорией предсказывается простая аддитивность эффектов.

70. Ввиду того что человек часто подвергается совместному воздействию табачного дыма и радона, это комбинированное воздействие имеет особое значение. Табачный дым представляет собой сложную смесь химических и физических агентов, четкая картина механизмов взаимодействия которых пока что отсутствует. Эпидемиологические данные четко указывают на то, что взаимодействие этих факторов при средних и высоких уровнях облучения дополнительно стимулирует развитие рака легких. Так,

например, из исследований воздействия радона на шахтеров следует, что риск заболеть раком у курящих выше (больше, чем аддитивный, но меньше, чем мультипликативный).

71. За исключением воздействия облучения и курения, почти нет эпидемиологических данных, указывающих на необходимость учитывать сильные синергические или антагонистические комбинированные эффекты. Отсутствие соответствующих данных о комбинированных эффектах не означает само по себе, что взаимодействий между облучением и другими агентами не происходит или что они не оказывают влияния на степень риска развития рака при малых дозах. Действительно, вещества, обладающие стимулирующим или ингибирующим развитием рака действием, содержатся в ежедневном рационе человека, и, следовательно, риск развития рака зависит от образа жизни, особенно от пищевых привычек. Эти агенты могут не только изменять естественную, или спонтанную, частоту возникновения рака, но также модифицировать онкогенный потенциал облучения. Такие модификации могут повлиять, в частности, на результаты сравнения радиационных рисков с частотой спонтанного возникновения рака.

72. В целом можно сделать вывод, что генотоксические агенты, обладающие сходными биологическими и механическими свойствами и действующие одновременно, будут оказывать совместное концентрационно-зависимое (изоаддитивное) действие. Это означает, что совместное воздействие ионизирующего излучения и других повреждающих ДНК агентов, не имеющих конкретной связи с важными для процесса онкогенеза последовательностями ДНК, как правило, не будет приводить к эффектам, сильно отличающимся от изоаддитивных.

С. Эпидемиология рака

73. Вызываемые облучением раковые заболевания человека изучаются у тех групп населения, которые получили дозы облучения, достаточные для обнаружения дополнительных случаев заболевания раком по сравнению с обычным уровнем заболеваемости. Оценки риска можно получить на основании обследования групп населения, в которых могут быть достаточно точно определены

индивидуальные дозы. К ним относятся люди, пережившие атомную бомбардировку, больные, проходящие радиотерапию, работники, подвергающиеся профессиональному облучению, лица, подвергшиеся облучению вследствие выброса радионуклидов в окружающую среду или живущие в местности с повышенным радиационным фоном. С тех пор как Комитет привел в докладе за 1994 год оценку риска возникновения рака, вызванного облучением, в эпидемиологических исследованиях была получена новая важная информация. Эти данные приведены в приложении I "Эпидемиологическая оценка риска заболевания раком в результате облучения".

74. В настоящее время известно, что облучение может приводить к возникновению рака практически любой ткани или органа тела, хотя некоторые из них намного более предрасположены к нему, чем другие (см. пункт 77). В последние годы удалось более ясно понять действие таких модифицирующих реакцию на облучение физиологических факторов, как пол и возраст. Хотя различия в абсолютном риске индукции опухоли в зависимости от пола невелики и варьируются в зависимости от места ее локализации, для большинства солидных опухолей абсолютный риск развития заболевания у женщин выше, чем у мужчин. Лица, подвергшиеся облучению в молодом возрасте, имеют более высокие относительные и абсолютные показатели риска заболевания раком, чем люди старшего возраста, хотя и в этом случае локализация имеет значение.

75. Постоянное наблюдение за облученными группами населения показало, что избыточные случаи заболевания раком продолжают появляться спустя большой период времени после облучения, так что прогноз пожизненных рисков может содержать большие погрешности. Данные о лицах, переживших атомные бомбардировки в Японии, согласуются с линейной или линейно-квадратичной функцией доза-реакция в широком диапазоне доз, однако при низких дозах количественные оценки риска менее определены из-за ограничений статистической точности, потенциальных остаточных систематических погрешностей или других методических проблем, а также вероятности случайных результатов вследствие неоднократных статистических исследований. Более длительное наблюдение за группами лиц, получивших дозы в широком диапазоне, такими как пережившие атомную бомбардировку, позволит получить более важную информацию о влиянии низких доз, однако, пользуясь только эпидемиологическими методами,

нельзя решить вопрос о существовании нижнего порога дозы. Тем не менее следует отметить, что невозможность обнаружить увеличение риска при очень низких дозах не означает, что этого увеличения не существует.

76. Обследования выживших после атомных бомбардировок в Японии людей являются особенно ценными, поскольку они включают лиц обоего пола, всех возрастных групп, подвергшихся сильному облучению в широком диапазоне доз. Результаты этих исследований составляют исходную базу для оценки риска возникновения рака после облучения. Из 86 572 человек, охваченных "Исследованием продолжительности жизни людей, переживших атомные бомбардировки", 7578 умерли от поражения солидными опухолями в период с 1950 по 1990 год. Из этого числа 334 случая можно считать результатами облучения. Из 249 случаев смерти от лейкемии за тот же период 87 можно приписать воздействию облучения. Во время проведения последней оценки в 1991 году около 48 тыс. человек (56 процентов) еще были живы. Прогнозируется, что в 2000 году в живых будет около 44 процентов данной группы.

77. Содержащиеся в "Исследовании продолжительности жизни людей, переживших атомные бомбардировки" данные о заболеваемости раком и смертности от раковых заболеваний в широком смысле сходны с вышеизложенными и демонстрируют статистически значимое влияние радиации на развитие всех солидных опухолей как группы, а также рака желудка, ободочной кишки, печени, легких, молочной железы, яичников и мочевого пузыря. Данные о частоте случаев свидетельствуют также о повышенном риске заболевания раком щитовидной железы и немеланомными видами рака кожи в результате облучения. Данные о заболеваемости и смертности в результате рака прямой кишки, желчного пузыря, поджелудочной железы, шейки и полости матки, предстательной железы, почек и почечной лоханки не демонстрируют статистически значимого повышенного риска. Связь с облучением прослеживается при большинстве типов лейкемии, но не при лимфоме или множественной миеломе.

78. Количество солидных опухолей, которые можно связать с облучением, недостаточно для детального анализа зависимости реакции на облучение от дозы для многих мест локализации или типов опухолей. Для всех солидных опухолей в целом график зависимости доза-реакция линеен вплоть до около 3 Зв, однако кривая

доза–реакция в случае лейкемии лучше описывается линейно-квадратичной функцией. Статистически значимые риски для рака в "Исследовании продолжительности жизни людей, переживших атомные бомбардировки" обнаруживаются только при величине дозы на орган свыше 100 мЗв.

79. Исследования, которые касаются групп населения, подвергавшихся облучению в медицинских целях, профессиональному облучению или облучению из окружающей среды, содержат информацию об аспектах, которые невозможно прояснить с помощью данных о людях, выживших после атомных бомбардировок, а именно об эффекте хронического воздействия низких доз, облучения легких альфа-частицами, испускаемыми радоном, воздействия дробного облучения и различиях между группами населения. Очень полезные данные, касающиеся некоторых видов опухолей, включая лейкемию, рак молочной и щитовидной желез, костной ткани и печени, получены из других исследований помимо "Исследования продолжительности жизни людей, переживших атомные бомбардировки". Оценки риска, полученные на основании этих исследований, в целом согласуются с оценками, приведенными в "Исследовании продолжительности жизни людей, переживших атомные бомбардировки".

80. Крупномасштабные исследования лиц, получающих профессиональное облучение, также являются источником ценных данных о воздействии малых доз. Совместный анализ данных, полученных от большого числа работников атомной промышленности, показывает, что риск возникновения лейкемии возрастает с увеличением дозы. Тем не менее статистическая точность этих исследований все еще остается низкой по сравнению с данными о влиянии облучения с большой мощностью дозы, полученными от переживших атомные бомбардировки лиц. В результате сложно прийти к определенному заключению относительно влияния мощности дозы на риск развития рака, в особенности потому, что оно различно для разных типов рака. Тем не менее сделанные в докладе Комитета за 1993 год на основе как эпидемиологических, так и экспериментальных свидетельств заключения в отношении того, что при экстраполяции эффектов облучения на низкие дозы или мощности доз необходимо уменьшать их величину в три раза, по-видимому, все еще являются в целом обоснованными.

81. Объем информации об эффектах доз внутреннего облучения, получаемого в результате облучения с линейной передачей энергии (ЛПЭ) как низкого, так и высокого уровня, возрос со времени выхода доклада 1994 года. В частности, повышенный риск заболевания раком щитовидной железы в регионах Беларуси, Российской Федерации и Украины, загрязненных вследствие чернобыльской аварии, имеет связь с облучением, полученным в детском возрасте от радиоактивного йода. Однако оценка риска, связанного с этими свидетельствами, затруднена из-за проблемы определения доз и количественного выражения результатов скрининга по обнаружению данного заболевания. Другие исследования, проведенные в бывшем Советском Союзе, дали новую информацию о воздействии доз внутреннего облучения, например об увеличении риска возникновения рака легких у сотрудников завода "Маяк". Обнаружено, что заболеваемость лейкемией повышена среди жителей окрестностей реки Теча. Тем не менее наличие различных (как внешних, так и внутренних) источников облучения и, в случае исследований, проведенных на реке Теча, возможных эффектов, связанных с их миграцией, влияет на количественное определение рисков. В последние годы были опубликованы результаты нескольких контрольных исследований рака легких и содержания радона внутри помещений, которые, будучи рассмотрены совместно, хорошо согласуются с экстраполяцией данных, полученных на облучаемых радоном шахтерах, хотя статистические погрешности этих результатов остаются значительными.

82. В приложении I особое внимание уделено риску возникновения специфических видов рака. Как и в предыдущих случаях, новая информация, полученная за последние годы, способствовала изучению некоторых рисков. Тем не менее в случае некоторых видов рака по-прежнему существуют проблемы с описанием риска вследствие низкой статистической точности, обусловленной тем, что число избыточных случаев их возникновения невелико или мало. Это может ограничить, к примеру, способность оценивать тенденции изменения риска в зависимости от таких факторов, как возраст в момент облучения, время, прошедшее после облучения, и пол. Исключение составляет рак молочной железы, в отношении которого сравнение данных о переживших атомные бомбардировки Японии и о женщинах, получавших облучение в медицинских целях в Северной Америке, указывает на абсолютный перенос рисков между этими группами. В отношении связи некоторых видов рака

(например, не-Ходжкиновские лимфомы, болезнь Ходжкина и множественная миелома) с облучением практически нет свидетельств. Хотя на оценки данных о лимфомах частично влияет малое количество случаев заболевания, рассмотренных в некоторых исследованиях, они, тем не менее, контрастируют с данными о лейкемии (за исключением хронической лимфоцитарной лейкемии), несомненная связь которой с облучением прослеживается во многих группах населения, хотя она также является редким заболеванием.

83. Оценки пожизненных рисков чувствительны к колебаниям естественной заболеваемости раком, и эти колебания могут привести к различиям в результатах, сравнимых с теми, что получаются при переносе оценок между группами населения или использовании разных методов прогнозирования риска. Расхождение значений в таких прогнозах указывает на сложность выбора одной величины, отражающей пожизненный риск возникновения рака, связанного с облучением. Кроме того, неопределенности в оценках риска отдельных видов рака, как правило, больше, чем для всех его видов в целом.

84. На основе доступных эпидемиологических данных Комитетом получены оценки рисков возникновения индуцированного облучением рака. Для группы населения, состоящей из людей всех возрастов обоего пола, получивших острую дозу 1 Зв в результате облучения с линейной передачей энергии низкого уровня, предлагается принять оценку пожизненного риска смерти от солидного рака, равной 9 процентам для мужчин и 13 процентам для женщин. Вследствие погрешности эти оценки могут отличаться от реальных значений примерно в два раза в большую или меньшую сторону. В случае хронического облучения величину оценок следует уменьшить на 50 процентов, как указано в докладе 1993 года, при этом погрешность также будет составлять около двух раз в большую или меньшую сторону. Риски заболевания солидным раком могут быть приняты примерно в два раза большими, чем соответствующие риски смертности. Оценки пожизненных рисков возникновения солидного рака у тех, кто был облучен в детском возрасте, могут быть в два раза выше, чем для всего возрастного диапазона облученной группы населения. Однако для определения пожизненных рисков крайне важно продолжать наблюдения в ходе изучения этих групп населения. Опыт переживших атомные бомбардировки Японии является убедительным доказательством линейности оценок избыточных рисков солидного рака;

поэтому в первом приближении линейная экстраполяция оценок, полученных для дозы 1 Зв, может использоваться для оценки рисков солидного рака при меньших дозах.

85. Оценки пожизненных рисков лейкемии менее подвержены колебаниям. Пожизненный риск смерти от лейкемии после кратковременного облучения дозой 1 Зв можно принять равным 1 проценту для обоих полов. Вследствие неопределенности эта оценка может быть в два раза больше или меньше реального значения. С учетом нелинейной зависимости доза–ответ десятикратное уменьшение дозы с 1 до 0,1 Зв приведет к 20-кратному снижению пожизненного риска в случае острой дозы. Величины рисков солидного рака и лейкемии в целом подобны тем, что были приведены в докладе 1994 года.

86. Из всех видов рака, связанных с облучением, особого внимания заслуживает рак щитовидной железы у детей. Имеются несомненные доказательства того, что риск возникновения рака щитовидной железы уменьшается с увеличением возраста, в котором произошло облучение, так что этот риск у детей, облученных в возрасте до 15 лет, существенно выше, чем у взрослых. Дети в возрасте до 5 лет в пять раз более чувствительны к облучению, чем те, кто был облучен в возрасте от 10 до 14 лет. Ввиду такой высокой чувствительности детей к облучению нет ничего удивительного в том, что после чернобыльской аварии 1986 года в Беларуси, Российской Федерации и Украине наблюдалось значительное увеличение заболеваемости раком щитовидной железы у детей. Частота заболевания детей раком щитовидной железы в некоторых регионах этих стран была в десять раз выше в 1991–1994 годах, чем в предшествующие пять лет. К 1998 году было выявлено около 1800 случаев детского рака щитовидной железы. Эта тема подробно рассмотрена в приложении J "Облучение при чернобыльской аварии и его последствия".

87. Развитие рака может быть индуцировано пренатальным облучением плода. Об индукции детского рака, лейкемии и солидного рака у человека в результате пренатального рентгеновского облучения было впервые сообщено в 1958 году, когда так называемое "Оксфордское обследование" установило повышенную частоту возникновения детских опухолей в первые 15 лет жизни у тех, кто подвергался рентгеновскому облучению *in utero*, по сравнению с необлученными. Объяснение этого увеличения воздействием облучения оспаривается некоторыми на

том основании, что облученные женщины, возможно, страдали от каких-либо болезней или испытывали влияние иных факторов, которые и привели к увеличению частоты случаев рака. В некоторых других исследованиях содержатся свидетельства в поддержку тезиса о роли облучения как причины рака, и риск, если он действительно существует, согласно оценке, составляет приблизительно 5 процентов на Зв. У людей, получивших облучение *in utero* во время атомных бомбардировок, подобного эффекта не наблюдалось.

88. Еще труднее оценить риск возникновения индуцированного рака у взрослых, подвергшихся облучению *in utero*. Тем не менее тот факт, что относительные риски заболевания раком у лиц, переживших атомные бомбардировки, возрастают с уменьшением возраста в момент облучения, вызывает беспокойство в связи с потенциально большей чувствительностью к индуцированию рака у лиц, подвергшихся облучению *in utero*, по сравнению с облученными в раннем возрасте. Тем, кто получил облучение *in utero* в результате атомных бомбардировок, в настоящее время 55 лет. Поэтому представляется особенно важным оценить, как реально проявили себя риски заболеваемости раком в течение их дальнейшей жизни.

Глава V

Авария на Чернобыльской АЭС

89. Комитет уделяет особое внимание аварии на атомном реакторе Чернобыльской АЭС, происшедшей 26 апреля 1986 года. Это была самая серьезная авария из всех когда-либо случившихся в атомной энергетике.

В результате аварии реактор был разрушен, произошел выброс в окружающую среду значительных количеств радиоактивных материалов и многие работники получили высокие дозы облучения, оказавшие серьезное и даже фатальное воздействие на здоровье (см. ниже). Среди детей, проживавших в близлежащих районах Беларуси, Российской Федерации и Украины, было зарегистрировано намного более тысячи (около 1800) случаев заболевания раком щитовидной железы. Несмотря на трудности, связанные с проведением скрининга, эти случаи, вероятнее всего, были вызваны облучением, полученным во время аварии. Среди населения были выявлены и многие другие нарушения здоровья, связь которых с облучением менее вероятна. С научной точки зрения необходимо оценить и понять технические причины и последствия аварии. В человеческом плане мы обязаны также провести объективный анализ влияния аварии на здоровье пострадавших людей. Комитет подготовил новую оценку аварии, имея в виду обе эти цели.

90. Вскоре после аварии были проведены замеры и оценки осадения рассеянных радионуклидов и доз облучения во всем пострадавшем регионе. Комитет использовал эти данные для оценки средних индивидуальных и коллективных доз для различных регионов и стран и всего Северного полушария. Результаты этой оценки были приведены в приложении D к докладу Комитета за 1988 год, озаглавленном "Облучение в результате чернобыльской аварии". Опыт лечения непосредственных радиационных поражений у работников АЭС и пожарных, принимавших участие в аварийных работах, был также рассмотрен в дополнении к приложению G "Первые эффекты воздействия высоких доз излучения на человека" к вышеупомянутому докладу.

91. Для оценки доз облучения, полученных людьми, эвакуированными из наиболее пострадавших в результате аварии районов или продолжающими жить в них, потребовалось много времени и усилий. Первоначальные измерения должны быть дополнены информацией о том, где живут и чем питаются люди в каждом из населенных пунктов. Накопление данных об отдаленных последствиях облучения для здоровья также потребовало дополнительного времени. Только сейчас, спустя почти 15 лет после аварии, можно сделать первичную оценку облучения и последствий аварии на местах. Подробное изложение сделанной Комитетом оценки приведено в приложении J к

данному докладу "Облучение и воздействие чернобыльской аварии".

А. Выброс радионуклидов

92. Авария на реакторе Чернобыльской АЭС произошла во время экспериментальной проверки работы системы управления электропитанием, в тот момент, когда реактор был заглушен для проведения плановых профилактических работ. В нарушение правил безопасности операторы отключили важные системы управления и позволили реактору выйти на нестабильный маломощный режим. В результате внезапного подъема мощности произошел взрыв пара, разорвавший корпус реактора, что привело в дальнейшем к взрывному взаимодействию пара с топливом, разрушившему активную зону реактора и причинившему колоссальный ущерб всему реакторному зданию.

93. Следует отметить, что авария, происшедшая ранее на реакторе АЭС "Три Майл Айленд" в Соединенных Штатах Америки, также привела к серьезному повреждению активной зоны реактора, однако взрыва пара не произошло. В этом случае, однако, защитная оболочка реактора предотвратила выброс радиоактивных газов в окружающую среду, за исключением незначительных количеств. У реактора Чернобыльской АЭС такая защитная оболочка отсутствовала. После взрывов в результате возгорания графитовых сердечников произошел сильный пожар, продолжавшийся 10 дней. В этих условиях имел место выброс большого количества радиоактивных материалов.

94. Выброшенные в результате аварии радиоактивные газы и частицы первоначально переносились ветром в северном и западном направлениях. В последующие дни ветер дул во всех направлениях. Осаждение радионуклидов определялось главным образом выпадением осадков, происходившим во время перемещения радиоактивного облака, что определило сложный и неравномерный характер облучения во всем пострадавшем регионе.

В. Облучение людей

95. Основными выброшенными в результате аварии радионуклидами, которые вызвали облучение людей, были йод-131, цезий-134 и цезий-137. Йод-131 имеет короткий период полураспада (восемь дней), однако он

может относительно быстро поступать в организм человека из воздуха, а также с молоком и зеленью. Йод локализуется в щитовидной железе. Ввиду потребления этих продуктов детьми младшего и среднего возраста, а также особенностей их метаболизма и размеров щитовидной железы они обычно получают дозы облучения значительно большие, чем взрослые.

96. Изотопы цезия имеют относительно более долгие периоды полураспада (цезий-134 имеет период полураспада 2 года, тогда как у цезия-137 он составляет 30 лет). Эти радионуклиды, попадая в организм человека с пищей и являясь источниками внешнего излучения за счет осаждения на землю, вызывают долговременное облучение. В результате аварии было выброшено множество других радионуклидов, которые также были учтены при оценке облучения.

97. Средние дозы, полученные наиболее пострадавшими от аварии людьми, составили около 100 мЗв для 240 тыс. участников ликвидации последствий аварии, 30 мЗв – для 116 тыс. эвакуированных лиц и 10 мЗв в течение первых десяти лет после аварии для тех, кто продолжал жить на загрязненных территориях. Максимальные значения доз могут быть на порядок выше. Помимо Беларуси, Российской Федерации и Украины от аварии пострадал ряд других европейских стран. Дозы, полученные их жителями в течение первого года после аварии, составили не более 1 мЗв и постепенно уменьшались в последующие годы. По оценкам, пожизненная доза будет в 2–5 раз выше дозы, полученной в первый год. Такое облучение сравнимо с годовой дозой облучения от естественных источников фоновой радиации и поэтому имеет малую радиологическую значимость.

98. Люди, участвовавшие в ликвидации последствий аварии, и жители близлежащих районов получили значительно большие дозы облучения. Дозы облучения, полученные ими, рассматриваются более подробно в данной Комитетом оценке.

С. Воздействие на здоровье

99. Авария на Чернобыльской АЭС практически сразу вызвала множество тяжелых радиационных поражений. Из 600 работников станции, присутствовавших на месте аварии ранним утром 26 апреля 1986 года, 134 получили высокие дозы облучения (0,7–13,4 Гр) и страдали лучевой болезнью. Из них 28 умерли в течение первых трех месяцев после аварии и еще двое –

вскоре после этого. Кроме того, в течение 1986 и 1987 годов около 200 тыс. ликвидаторов получили дозы облучения от 0,01 до 0,5 Гр. Для этой группы существует потенциальный риск проявления отдаленных последствий, таких как рак и другие заболевания, и за их здоровьем продолжают тщательно наблюдать.

100. Авария на Чернобыльской АЭС привела также к радиоактивному загрязнению больших территорий в Беларуси, Российской Федерации и Украине с населением в несколько миллионов человек. Помимо радиационного облучения авария вызвала долговременные изменения в жизни людей, обитающих в загрязненных районах, поскольку меры, направленные на ограничение доз облучения, включали переселение, изменения в снабжении продуктами питания и ограничения деятельности отдельных людей и их семей. В дальнейшем эти изменения сопровождались крупными экономическими, социальными и политическими переменами, происшедшими после распада бывшего Советского Союза.

101. В последние 14 лет основное внимание уделялось изучению связи между облучением за счет радионуклидов, выброшенных при чернобыльской аварии, и отдаленными эффектами, в частности раком щитовидной железы у детей. Большая часть исследований, завершенных к настоящему моменту, носит описательный характер – в них средние дозы облучения населения сопоставляются со средними показателями заболеваемости раком в конкретные периоды времени. Поскольку данные индивидуальной дозиметрии отсутствуют, трудно определить, связаны ли наблюдаемые эффекты с облучением, а кроме того, невозможно сделать достоверные количественные оценки риска. Ключевым элементом будущих исследований по проблеме связи заболеваемости раком, индуцированным облучением, с чернобыльской аварией является реконструкция значений индивидуальных доз облучения.

102. Число случаев заболевания раком щитовидной железы среди лиц, облученных в детском возрасте (около 1800), особенно в сильно зараженных районах трех пострадавших стран, существенно превышает оценки, сделанные на основе ранее известных данных. Необычными являются и частота заболевания, и короткий период развития болезни. Возможно, на увеличение риска влияют и другие факторы. Если эта тенденция сохранится, следует ожидать увеличения

числа заболевших раком щитовидной железы, особенно среди тех, кто подвергся облучению в раннем возрасте.

103. Помимо роста заболеваемости раком щитовидной железы среди подвергшихся облучению в детстве такого увеличения общей заболеваемости раком или смертности, которое можно было бы приписать действию ионизирующего излучения, не наблюдалось. Даже среди ликвидаторов не обнаруживается возрастания риска лейкемии, которая вызывает, наряду с другими факторами, наибольшую озабоченность (ввиду короткого латентного периода, равного 2–10 годам, лейкемия после облучения развивается быстрее, чем другие виды рака). Отсутствуют и какие-либо доказательства появления других, незлокачественных нарушений, связанных с ионизирующим излучением. Однако наблюдалось широкое распространение психологических реакций на аварию, обусловленных страхом перед радиацией, а не реальными дозами облучения.

104. Наблюдается тенденция приписывать рост заболеваемости всеми видами рака с течением времени на счет чернобыльской аварии, однако следует отметить, что такой рост также наблюдался в пострадавших районах и до аварии. Кроме того, в последние годы сообщается об общем увеличении смертности в большинстве районов бывшего Советского Союза, и это должно учитываться при интерпретации результатов исследований по проблеме Чернобыля.

105. Имеющееся на сегодня понимание отдаленных эффектов продолжительного воздействия ионизирующего излучения является ограниченным, поскольку оценки связи доза–реакция в основном опираются на исследования, связанные с высокими дозами облучения, и эксперименты на животных; при этом возникает необходимость экстраполяции, которая всегда включает элемент неопределенности. Авария на Чернобыльской АЭС могла бы пролить свет на отдаленные эффекты продолжительного облучения, однако из-за малой величины доз, полученных большинством облученных людей, будет трудно обнаружить какое-либо увеличение частоты рака или смертности от него в процессе эпидемиологических исследований. Одной из задач будущих исследований является получение оценок индивидуальных доз, включая оценки погрешностей и определение воздействия доз, накопленных за большой промежуток времени.

Примечания

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

² Предыдущие доклады по вопросам существования Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации Генеральной Ассамблее см. *Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, тринадцатая сессия, Дополнение № 17 (A/3838)*; там же, *семнадцатая сессия, Дополнение № 16 (A/5216)*; там же, *девятнадцатая сессия, Дополнение № 14 (A/5814)*; там же, *двадцать первая сессия, Дополнение № 14 (A/6314 и Согг.1)*; там же, *двадцать четвертая сессия, Дополнение № 13 (A/7613 и Согг.1)*; там же, *двадцать седьмая сессия, Дополнение № 25 (A/8725 и Согг.1)*; там же, *тридцать вторая сессия, Дополнение № 40 (A/32/40)*; там же, *тридцать седьмая сессия, Дополнение № 45 (A/37/45)*; там же, *сорок первая сессия, Дополнение № 16 (A/41/16)*; там же, *сорок третья сессия, Дополнение № 45 (A/43/45)*; там же, *сорок восьмая сессия, Дополнение № 46 (A/48/46)*; там же, *сорок девятая сессия, Дополнение № 46 (A/49/46)*; там же, *пятьдесят первая сессия, Дополнение № 46 (A/51/46)*. Эти документы упоминаются как

доклады за 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972, 1977, 1982, 1986, 1988, 1993, 1994 и 1996 годы, соответственно. Доклад 1972 года с научными приложениями был опубликован как документ "*Ионизирующее излучение: уровни и эффекты*", том I "*Уровни*" и том II "*Эффекты*" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под номером R.72.IX.17 и 18). Доклад за 1977 год с научными приложениями опубликован как документ "*Источники и эффекты ионизирующего излучения*" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под номером R.72.IX.1). Доклад за 1982 год с научными приложениями опубликован как документ "*Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты*" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под номером R.82.IX.8). Доклад за 1986 год с научными приложениями опубликован как документ "*Генетические и соматические эффекты ионизирующего излучения*" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под номером R.86.IX.9). Доклад за 1988 год с научными приложениями опубликован как документ "*Источники, эффекты и риски ионизирующего излучения*" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под номером R.88.IX.7). Доклады за 1993, 1994 и 1996 годы с научными приложениями были опубликованы под названием "*Источники и эффекты ионизирующего излучения*" (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под номерами R.94.IX.2, R.94.IX.11 и R.96.IX.3, соответственно).

Добавление I

Члены национальных делегаций, участвовавшие в работе сорок четвертой – сорок девятой сессий

Австралия	П.А. Бернс (представитель), К.Х. Локан (представитель), Дж. Лой, Д.И. Макнаб
Аргентина	Д. Бенинсон (представитель), Э. Д'Амато, Д. Кансио
Бельгия	Дж.Р. Майсин (представитель), А. Дебош, Р. Кишманн, Х.П. Леенхоутс, Дж. Лембрехтс, К. Санкарарайанан, П. Смеестерс, Ж. ван Дам, Х. Ванмарке, А. Вамберсье
Бразилия	Ж.Л. Липстейн (представитель), Д. Мело, А.Т. Рамальо, Э.Р. Рочедо
Канада	Р.М. Чаттерджи (представитель), Д.Б. Чамберс, Р.Дж. Корнетт, Н.Э. Гентнер (представитель), Р.В. Осборн (представитель), С. Влахович (представитель)
Китай	З. Пан (представитель), Н. Гу, Ф. Хе, К. Хе, Ж. Ма, Б. Мао, К. Ли, П. Лю, И. Сон, Ц. Тао, К. Вэй, Б. Сю, Х. Ян, Л. Цзян, И. Цзяо, Ж. Чжоу, Б. Цзю
Египет	А.М. Эль-Наггар (представитель), Ф. Хаммад (представитель), М.А. Гомаа
Германия	В. Буркарт (представитель), У. Элинг, В. Якоби, Т. Юнг, А. Кауль (представитель), А. Келлерер, Ю. Кифер, Г. Кишнер, В. Кёнляйн, К. Райнерс, Ф.Е. Штиве, К. Штреффер
Индия	К.Б. Саинис (представитель), П.К. Кесаван (представитель)
Индонезия	К. Вихарто (представитель), Т. Суприхади, С. Захир
Мексика	Х.Р. Ортис-Маганья (представитель), Э. Арайко (представитель)
Перу	Л.В. Пинильос-Аштон (представитель)
Польша	З. Яворовски (представитель), М. Валигорски
Российская Федерация	Л.А. Ильин (представитель), Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, К.И. Гордеев, А.К. Гуськова, Ю.Б. Холина, И.С. Кошкин, И.И. Крышев, И.И. Кулешов, Б.К. Лобач, О.А. Павловский, М.Н. Савкин, В.А. Шевченко
Словакия	Д. Викторы (представитель), И. Бучина, П. Гааль, Э. Кунц
Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Р.Х. Кларк (представитель), Х.Дж. Данстер, В. Берал, Ф.А. Фрай, Дж.У. Стазер

Соединенные Штаты Америки	Ф.А. Меттлер (представитель), Л. Анспауф, Дж.Д. Бойс-мл., Н.Х. Харли, Э.В. Холахан, С.Б. Мейнхолд, Р.Дж. Престон, П.Б. Селби, У.К. Синклер
Судан	К.Э.Х. Мохамед (представитель), О.И. Эламин (представитель)
Франция	Ж.Ф. Лакроник (представитель), А. Ауранго, М. Бургиньон, А. Флюэри-Эрар, Ж. Лалльман, К. Лючиони, Р. Масс (представитель), Ж. Пешовски, А. Ранну
Швеция	Л.-Э. Хольм (представитель), Г. Бенгтссон (представитель), У. Беверштам, Л. Моберг, В. Лейтц, Ю.О. Снихс
Япония	И. Сасаки (представитель), Т. Асано, Х. Иизука, Т. Исояма, С. Кумазава, С. Мицусита, К. Морита, И. Мурамацу, Н. Накагава, Д. Онодера, К. Сато, Т. Сато, И. Тагути, К. Тацуми

Добавление II

Научные работники и консультанты, сотрудничавшие с Научным комитетом Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации при подготовке настоящего доклада

Л. Анспауф
Б. Беннетт
А. Бувиль
В. Буркарт
Р. Кокс
Дж. Крофт
П. Холл
Х. Леенхоутс
С. Мюирхед
Э. Рон
М. Савкин
П. Шримптон
Дж. Стазер
Дж. Такер
А. Риксон

00-58722 (R) 100800 100800
0058722