



Организация Объединенных Наций

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

**Пятьдесят седьмая сессия
(16-20 августа 2010 года)**

**Генеральная Ассамблея
Официальные отчеты
Шестьдесят пятая сессия
Дополнение № 46**

Генеральная Ассамблея
Официальные отчеты
Шестьдесят пятая сессия
Дополнение № 46

Доклад Научного комитета
Организации Объединенных Наций
по действию атомной радиации

Пятьдесят седьмая сессия
(16-20 августа 2010 года)



Организация Объединенных Наций • Нью-Йорк, 2010 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.

ISSN

Содержание

<i>Глава</i>	<i>Page</i>
I. Введение	1
II. Работа Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации на его пятьдесят седьмой сессии	3
III. Научный доклад: краткое изложение проблемы воздействия радиации в малых дозах на состояние здоровья	7
A. Рак, вызываемый радиацией	8
B. Передающиеся по наследству последствия радиационного облучения	16
C. Нераковые заболевания, связанные с воздействием радиации	18

Глава I

Введение

1. Источниками радиационного излучения могут быть, например, медицинская диагностика и лечебные процедуры; испытания ядерного оружия; радоновое и другое естественное фоновое излучение; производство электроэнергии на атомных электростанциях; аварии, подобные той, которая произошла в Чернобыле в 1986 году; и профессиональная деятельность, связанная с повышенным облучением от искусственных или естественных источников радиации.

2. Задачей Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации с тех пор, как он был создан Генеральной Ассамблеей на основании ее резолюции 913 (X) от 3 декабря 1955 года, является проведение широкомасштабных оценок источников ионизирующего излучения и его воздействия на здоровье людей и окружающую среду¹. В соответствии со своим мандатом Комитет проводит тщательный обзор и оценку случаев радиационного облучения на глобальном и региональном уровнях, а также изучает данные о последствиях облучения для здоровья, полученные для групп людей, подвергшихся облучению, в том числе для лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии. Кроме того, Комитет анализирует достижения в изучении биологических механизмов возможного влияния радиационного облучения на здоровье или окружающую среду. Такие оценки служат научной основой, в частности, для соответствующих учреждений в рамках системы Организации Объединенных Наций при разработке международных норм безопасности для защиты населения и профессиональных работников от ионизирующего излучения²; в свою очередь, эти нормы связаны с важными правовыми и нормативными документами.

¹ Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации был учрежден Генеральной Ассамблеей на ее десятой сессии в 1955 году. Его круг ведения изложен в резолюции 913 (X) от 3 декабря 1955 года. Первоначально в состав Комитета входили следующие государства-члены: Австралия, Аргентина, Бельгия, Бразилия, Египет, Канада, Индия, Мексика, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Соединенные Штаты Америки, Союз Советских Социалистических Республик, Франция, Чехословакия, Швеция и Япония. Впоследствии Ассамблея своей резолюцией 3154 С (XXVIII) от 14 декабря 1973 года расширила состав Комитета и включила в него Индонезию, Перу, Польшу, Судан и Федеративную Республику Германию. Своей резолюцией 41/62 В от 3 декабря 1986 года Ассамблея расширила максимальный состав Комитета до 21 члена и пригласила Китай стать его членом.

² Например, международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения в настоящее время разрабатываются при совместном финансировании Международной организации труда, Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций, Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития и Панамериканской организации здравоохранения.

Глава II

Работа Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации на его пятьдесят седьмой сессии

3. Комитет провел свою пятьдесят седьмую сессию в Вене с 16 по 20 августа 2010 года³. Функции Председателя, заместителя Председателя и Докладчика выполняли, соответственно, Норман Джентнер (Канада), Вольфганг Вайс (Германия) и Мохамед А. Гомаа (Египет). Сессию пришлось два раза откладывать – один раз из-за непредвиденного кадрового кризиса с секретарем Комитета, а второй раз из-за сбоев в воздушном сообщении во всем мире после извержения вулкана в Исландии в апреле 2010 года. Комитет ознакомился с двумя письмами Председателя Комитета на имя Председателя Генеральной Ассамблеи, в которых излагались причины переноса сессии, и выразил в этой связи свою поддержку⁴.

4. Что касается доклада с научными приложениями, который Комитет одобрил в 2006 году⁵, то он выразил свое разочарование в связи с тем, что том II с научными приложениями, озаглавленными "Ненаправленные и отдаленные эффекты воздействия ионизирующего излучения", "Воздействие ионизирующего излучения на иммунную систему" и "Оценка источников и воздействия радона в жилых зданиях и на рабочих местах", был опубликован только в июле 2009 года. Кроме того, в том что касается доклада с научными приложениями, который он утвердил в 2008 году⁶, то он также выразил свое разочарование по поводу того, что том I с научными приложениями, озаглавленными "Радиационное облучение в медицинских целях" и "Облучение населения и работников от различных источников радиации", был опубликован лишь в июле 2010 года, а том II с научными приложениями, озаглавленными "Радиационное облучение в результате аварий", "Последствия для здоровья радиационного облучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС" и "Воздействие ионизирующих излучений на биоту за исключением людей", все еще не опубликован. Комитет считает задержки с публикацией недопустимыми, поскольку государства-члены и соответствующие организации⁷ полагаются на информацию,

³ В соответствии с пунктом 14 резолюции 64/85 Генеральной Ассамблеи в работе пятьдесят седьмой сессии Комитета также принимали участие наблюдатели из Беларуси, Испании, Пакистана, Республики Корея, Украины и Финляндии, а также наблюдатели от Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), ВОЗ, МАГАТЭ, Европейской комиссии, Международной комиссии по радиологической защите и Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям.

⁴ См. A/64/223 и A/64/796.

⁵ См. *Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, шестьдесят первая сессия, Дополнение № 46* (A/61/46).

⁶ См. *Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, шестьдесят третья сессия, Дополнение № 46* (A/63/46).

⁷ Например, на своей пятьдесят третьей очередной сессии Генеральная конференция МАГАТЭ в своей резолюции GC(53)/RES/10, озаглавленной "Меры по укреплению международного сотрудничества в области ядерной безопасности, радиационной безопасности перевозок и безопасности отходов", призвала Секретариат МАГАТЭ продолжать принимать во внимание научную информацию, представляемую

содержащуюся в этих докладах, в свете того неоценимого вклада, который члены Комитета вносят в его работу благодаря своему опыту и знаниям, а также по той причине, что техническая основа докладов может уже устареть к моменту их выхода. Комитет указал Секретариату, что крайне важно опубликовать новые материалы по аварии на Чернобыльской АЭС до двадцать пятой годовщины аварии.

5. Секретариат сообщил, что задержки отчасти были вызваны кадровыми проблемами и отсутствием достаточного гарантированного и предсказуемого финансирования, а также установленным в Организации Объединенных Наций порядком издания публикаций. По мнению Комитета, Генеральная Ассамблея могла бы обратиться к Секретариату Организации Объединенных Наций с просьбой упорядочить порядок публикации докладов Комитета в качестве изданий для продажи, но при этом необходимо помнить, что их качество и своевременность опубликования имеют первостепенное значение для решения задач, поставленных в бюджете по программам.

6. Комитет отметил, что Генеральная Ассамблея в своей резолюции 63/89 просила Генерального секретаря при формулировании его предлагаемого бюджета по программам на двухгодичный период 2010–2011 годов рассмотреть все варианты, включая возможность внутреннего перераспределения, с тем чтобы предоставить Научному комитету ресурсы, о которых говорится в пунктах 48 и 50 доклада Генерального секретаря с изложением финансовых и административных последствий расширения членского состава Комитета и штата его профессионального секретариата и методов обеспечения достаточного гарантированного и предсказуемого финансирования⁸. Комитет с удовлетворением отметил, что в бюджет по программам на двухгодичный период 2010–2011 годов была включена дополнительная должность категории специалистов уровня С-4. Это отвечает рекомендациям, содержащимся в докладе Генерального секретаря, и позволит наконец решить проблему, связанную с тем, что наличие только одной должности категории специалистов делает секретариат Комитета весьма уязвимым и препятствует эффективному осуществлению его утвержденной программы работы.

7. Комитет подготовил и утвердил для представления Генеральной Ассамблее научный доклад, касающийся воздействия радиации в малых дозах на состояние здоровья, включая обобщенное изложение подробных выводов Комитета относительно механизмов воздействия радиации в малых дозах (глава III ниже). Комитет считает целесообразным широко распространить это резюме на всех официальных языках Организации Объединенных Наций.

8. Комитет рассмотрел основные документы по следующим вопросам: возможность отнесения последствий для здоровья на счет радиационного облучения и оценка неопределенности при установлении радиационного риска. Что касается возможности отнесения последствий для здоровья на счет радиационного облучения в малых дозах, то Комитет высказал мнение, что необходимо рассмотреть возможность научного отнесения риска и

Научным комитетом Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации при разработке норм безопасности Агентства.

⁸ A/63/478 и Corr.1.

последствий облучения и в больших, и в малых дозах и что следует прояснить такую возможность как в отношении населения в целом, так и отдельных лиц. Конкретно вопрос о документе по этому вопросу будет рассмотрен на пятьдесят восьмой сессии Комитета.

9. Комитет также рассмотрел предварительные документы по оценке уровней облучения при производстве электроэнергии и своей методике оценки облучения, вызванного выбросами из ядерных установок. Комитет признал, что его оценки воздействия радиации при производстве электроэнергии, хотя и были современными и детальными для ядерного топливного цикла, устарели в случае повышенных уровней природных радиоактивных материалов, связанных с использованием ископаемых видов топлива, и к тому же никогда не производились сопоставимые оценки по возобновляемым источникам энергии. Необходимо обновить методику, с тем чтобы делать объективные оценки, и в этой связи был организован обзор имеющейся литературы и сбор данных.

10. Комитет одобрил стратегию по улучшению сбора, анализа и распространения данных. В основе этой стратегии – разработка электронных решений, постановка задач для отдельных стран и осуществление тесного сотрудничества с другими сетями, в частности с сетями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Комитет полагает, что Генеральная Ассамблея могла бы а) предложить государствам-членам, организациям системы Организации Объединенных Наций и другим заинтересованным организациям предоставлять дополнительные соответствующие данные о дозах, действии и опасностях радиации из различных источников, что значительно облегчило бы работу по подготовке будущих докладов Комитета, представляемых Генеральной Ассамблее; и б) рекомендовать МАГАТЭ, ВОЗ и другим соответствующим организациям сотрудничать с секретариатом Комитета в деле разработки и координации работы механизмов для периодического сбора данных о воздействии радиации на население, работников и особенно пациентов медицинских учреждений, а также обмена такими данными.

11. Комитет также рассмотрел планы работы в таких областях, как медицинское радиоактивное облучение, биологическое воздействие отдельных источников внутреннего облучения, повышенная подверженность воздействию природных источников излучения вследствие деятельности человека, расширение базы данных по уровням и воздействию радиации и повышение информированности общественности в этих вопросах. Комитет принял решение о том, что работу, связанную с отдельными источниками внутреннего облучения, следует сконцентрировать на тритии и уране; что основной акцент при оценке повышенной подверженности воздействию природных источников излучения необходимо изменить, чтобы избежать дублирования с другой работой; и что развитие базы знаний по уровням и воздействию радиации следует продолжить после широкомасштабного сбора данных о ее воздействии.

12. Помимо рассмотрения хода осуществления нынешней программы работы Комитет проанализировал предложения по своей будущей программе работы. Он принял решение изучить в предварительном порядке преимущества и целесообразность подготовки основных оценок воздействия радиации и

связанной с ней опасности с уделением особого внимания детям, а также эпидемиологию воздействия на население радиации в малых дозах и низкого уровня из природных и искусственных источников в окружающей среде.

13. Комитет признает, что для ускорения осуществления его программы работы немалую пользу могли бы принести добровольные взносы в общий целевой фонд, созданный Директором-исполнителем Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде для сбора добровольных взносов и распоряжения ими в целях оказания поддержки работе Комитета. Комитет считает, что Генеральная Ассамблея могла бы рекомендовать государствам-членам рассмотреть вопрос о внесении добровольных взносов в целевой фонд для этих целей.

14. Комитет подробно обсудил содержащееся в пункте 13 резолюции 64/85 напоминание о том, что следует

продолжать изучать вопрос о том, каким образом его нынешний, а также потенциально пересмотренный членский состав мог бы наилучшим образом способствовать проведению им своей основной работы, в том числе путем выработки с участием стран-наблюдателей подробных, объективных и транспарентных критериев и показателей, которые будут применяться на равноправной основе к нынешним и будущим членам, и представить доклад о своих выводах.

Выводы Комитета по этому вопросу представлены в добавлении I к настоящему докладу.

15. Комитет постановил провести свою пятьдесят восьмую сессию в Вене с 23 по 27 мая 2011 года. Для руководства работой Комитета на его пятьдесят восьмой и пятьдесят девятой сессиях были избраны новые должностные лица: Вольфганг Вайс (Германия), Председатель; Карл-Магнус Ларссон (Австралия), заместитель Председателя; и Мохамед А. Гомаа (Египет), Докладчик.

Глава III

Научный доклад: краткое изложение проблемы воздействия радиации в малых дозах на состояние здоровья

16. В своей научной работе Комитет уделяет особое внимание изучению информации о последствиях воздействия на здоровье ионизирующего излучения. Основная цель здесь заключается в том, чтобы на основе фактических данных дать глобальную оценку рисков, связанных с воздействием на здоровье радиации в малых дозах, которой могут подвергнуться и население в целом, и работники соответствующих отраслей, и пациенты, проходящие медицинские процедуры. Для этих целей Комитет определяет низкие дозы на уровне 200 мГр или меньше и низкую дозовую мощность на уровне 0,1 мГр/мин (в среднем за один час или менее) для таких излучений, как внешние рентгеновские лучи и гамма-лучи⁹; однако Комитет отмечает, что для других целей используются и другие показатели, определяющие малую дозу и низкую дозовую мощность. В настоящем докладе дается сводное и краткое изложение в доступной форме понимания Комитетом этих ключевых проблем за период до 2006 года, как это и было представлено в его докладах Генеральной Ассамблее^{10, 11, 12}.

17. Комитет подготовил оценки радиационного риска в плане раковых и наследственных заболеваний. В последнее время появляется все больше подтверждений того, что облучение в малых дозах приводит к увеличению заболеваемости катарактой. Определенную озабоченность вызывает также рост заболеваний органов кровообращения среди групп населения, подвергшихся воздействию облучения в больших дозах. Такие нераковые заболевания возникают и естественным образом и могут быть сравнительно широко распространенными среди населения в целом. Однако когда пытаются отнести конкретные случаи заболеваний на счет радиационного облучения, возникает множество трудностей, в том числе следующие:

⁹ Когда ионизирующее излучение проходит через вещество, в том числе и через живую ткань, это приводит к накоплению энергии, что в конечном счете вызывает ионизацию и возбуждение этого вещества. Количество накопленной энергии, поделенное на массу ткани, подвергшейся облучению, называется поглощенной дозой и обычно измеряется в единицах, получивших название миллигреев (мГр).

¹⁰ *Действие ионизирующей радиации: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации – доклад Генеральной Ассамблее за 2006 год с научными приложениями A и B, том I* (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.08.IX.6).

¹¹ *Действие ионизирующей радиации: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации – доклад Генеральной Ассамблее за 2006 год с научными приложениями C, D и E, том II* (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.09.IX.5).

¹² *Последствия радиации для наследственности: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации – доклад Генеральной Ассамблее за 2001 год с научным приложением* (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.01.IX.2).

- а) отсутствие особенностей в виде или характере заболеваний, вызываемых воздействием радиации;
- б) длительный период (который может составлять годы или десятилетия) между воздействием радиации и выявлением заболевания;
- с) высокая спонтанность заболеваний, связанных с воздействием радиации, среди стареющих групп населения.

В ответ на конкретную просьбу Генеральной Ассамблеи¹³ Комитет готовит всеобъемлющий доклад по вопросу о возможности научного отнесения последствий для здоровья на счет воздействия радиации в малых дозах.

18. Информацию, которая имеется в распоряжении Комитета, можно разделить на две основные группы:

- а) результаты исследований повышенной заболеваемости населения вследствие воздействия радиации в умеренных или высоких дозах (полученные в ходе эпидемиологических исследований);
- б) результаты исследований с использованием экспериментальных моделей заболевания (например, с животными и культивируемыми клетками, зачастую в сочетании с исследованиями воздействия радиации на субклеточном, биохимическом и молекулярном уровне), которые могут дать информацию о механизме возникновения биологического воздействия или болезни.

19. Поскольку интересующие нас заболевания могут быть достаточно распространенными, а частота их возникновения может зависеть от факторов, не связанных с воздействием радиации, эпидемиологические наблюдения не всегда могут дать четкие подтверждения того, что рост заболеваемости вызван воздействием радиации в малых дозах. Поэтому Комитет стремился в полной мере использовать полученные в последнее время результаты экспериментальных исследований и информацию о механизмах возникновения болезней у людей. При разработке оценок риска для здоровья Комитет ориентировался не на отдельных лиц, а на население в целом. Есть все больше свидетельств того, что на риск возникновения заболеваний могут влиять генетические и другие факторы; возможно, в будущем удастся лучше понять такие факторы.

А. Рак, вызываемый радиацией

20. Рак – это общий термин, используемый для описания серьезных нарушений в системе развития примитивных клеток в органах тела. Обычно эти примитивные клетки нормально развиваются и делятся скоординированно, с тем чтобы сформировать особые клетки организма, но аномальный рост и задержки в развитии могут привести к возникновению массы клеток в данном органе, которая известна как солидное новообразование. Такой аномальный рост или развитие примитивных клеток костного мозга и лимфатических сосудов может, соответственно, вызвать лейкемию и лимфому. В зависимости

¹³ Резолюция 62/100, пункт 6.

от того или иного органа неконтролируемый рост новообразования и дальнейшие клеточные изменения могут привести к развитию злокачественных заболеваний, которые зачастую чреваты смертельным исходом. Есть много полученных в ходе эпидемиологических исследований подтверждений того, что воздействие на людей радиации в умеренных и высоких дозах может привести к росту возникновения солидных новообразований во многих органах тела и лейкемии. Появляется также все больше информации о клеточных/молекулярных механизмах возможного развития таких раковых заболеваний.

21. Раковые заболевания возникают по многим причинам, это серьезная и широко распространенная проблема людей, и на них приходится около четверти смертей в развитых странах и все больше смертей в развивающихся странах. Однако, как показано ниже, рост заболеваемости раком, вызванный предположительно воздействием радиации в малых дозах, является сравнительно небольшим.

1. Эпидемиологические исследования

22. На протяжении ряда лет Комитет использовал систему скользящих обзоров всех исследований заболеваемости раком, вызванных радиацией, среди групп населения, подвергшихся облучению. Особое внимание уделялось правильной подготовке исследований, в том числе изучению различных отвлекающих факторов и статистической обоснованности любого такого исследования, с тем чтобы составить картину роста раковых заболеваний, вызванных воздействием радиации. Комитет проанализировал статистическую обоснованность исследований, вероятность системных погрешностей и другие причины неопределенности, включая и те, что связаны с полученными дозами облучения. Комитет также изучает оптимальные методы оценки риска в группах населения с показателями, отличающимися от показателей обследованных групп населения (например, метод оценки риска для подвергшихся облучению жителей Соединенных Штатов на основе оценок для людей, переживших атомные бомбардировки в Японии).

23. Источником эпидемиологической информации о заболеваемости раком, вызванной воздействием радиации, служат обследования людей, переживших атомные бомбардировки в Японии, групп, подвергавшихся воздействию радиации в силу своей профессии, пациентов, получивших облучение в ходе медицинских процедур, и людей, подвергшихся воздействию радиации из природных источников. В последние годы удалось также выявить рост заболеваемости раком легких у людей, подвергшихся облучению дома в результате воздействия присутствующего в естественных условиях радиоактивного газа радона и его производных.

24. Анализируя все эти исследования, Комитет пришел к выводу, что единым наиболее информативным сводом данных о воздействии всех видов радиации являются обследования лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии в 1945 году. В ходе атомных бомбардировок люди подвергались воздействию главным образом гамма-излучению с высокой дозовой мощностью при небольшом воздействии нейтронов. Комитет использовал эти данные для оценки рисков возникновения солидных раковых заболеваний в результате воздействия радиации наряду с риском развития лейкемии и лимфомы. Хотя

статистические и другие факторы неопределенности ограничивают возможности анализа всех имеющихся данных, тем не менее удалось изучить тенденции, характерные для радиационных рисков, связанных с полом, возрастом на момент облучения и временем, прошедшим с момента облучения, а также вопрос о том, как могут различаться такие риски для жителей различных частей мира. Для одних видов рака нет никаких подтверждений повышенного риска после воздействия радиации, в то время как для других повышенный риск проявляется только после воздействия радиации в больших дозах. На рисунке I показана различная восприимчивость к развитию солидного рака в 13 различных участках тела на основе данных о смертности среди людей, переживших атомные бомбардировки в Японии. Как видно из этого рисунка, существуют большие различия в риске возникновения рака различных органов¹⁴.

Рисунок I

Оценки риска смертности от солидных раковых заболеваний с разбивкой по различным органам, которые были получены при исследовании данных по людям, пережившим атомные бомбардировки в Японии



Источник: Действие ионизирующей радиации: Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации - доклад Генеральной Ассамблее за 2006 год с научными приложениями A и B, том I (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.08.IX.6), приложение A, рис.XI.

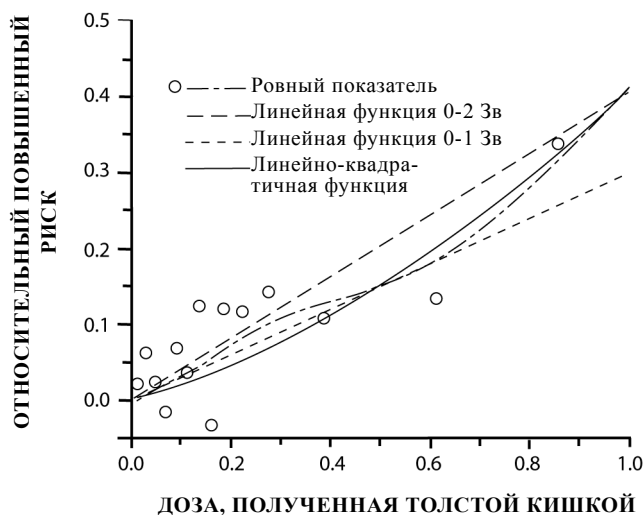
¹⁴ По состоянию на декабрь 2000 года были живы 45 процентов из когорты лиц, переживших бомбардировки, которая составляла 86 611 человек. Из 10 127 человек, скончавшихся от солидного рака по разным причинам, причиной смерти 479 человек, по оценкам, стало воздействие радиации во время бомбардировок, а 93 случая смерти от лейкемии из в общей сложности 296 случаев смерти по этой причине были вызваны самыми различными причинами.

^a Хотя для отображения поглощенной дозы используются греи (Гр), при оценке биологического воздействия используется взвешенное количество, и это отражает тот факт, что различные виды радиации оказывают разное биологическое воздействие при одном и том же объеме поглощенной энергии. Взвешенное количество выражается в зивертах (Зв). Горизонтальные линии представляют 90-процентные доверительные интервалы.

25. Для изучения взаимосвязи между полученной дозой облучения и риском возникновения рака, т.е. взаимосвязи между дозой и реакцией, Комитет использовал эпидемиологические данные. Повышенный сравнительный риск – это показатель возрастания риска возникновения рака в обследуемых группах населения в результате воздействия радиации в определенных дозах (большее число свидетельствует о более высоком риске). Самую четкую картину этой взаимосвязи в совокупности для всех видов солидных раковых заболеваний дают данные по лицам, пережившим атомные бомбардировки в Японии; это показано на рисунке II. Взаимосвязь между дозой и реакцией для уровня смертности при облучении в малых дозах, показанную на рисунке II, можно описать с помощью как линейной, так и нелинейной функции. Статистически значимые оценки риска отмечаются при дозах 100-200 мГр и выше. Одни только эпидемиологические исследования вряд ли смогут дать серьезные оценки риска при дозах гораздо ниже этих уровней. Получение на основе всех информативных исследований общей оценки риска возникновения рака в результате воздействия радиации на протяжении всей жизни представляет собой сложный процесс. При рассмотрении этого вопроса Комитет использовал математические модели наряду с данными об основных уровнях возникновения рака по пяти группам населения в разных регионах мира, но тем не менее он полностью признает, что эти оценки нельзя считать абсолютно определенными. Сделанные Комитетом текущие оценки риска возникновения смертельных раковых заболеваний в результате воздействия радиации представлены в таблице 1; эти оценки риска развития рака аналогичны тем, что были сделаны Комитетом и другими органами ранее. Оценки риска меняются в зависимости от возраста, причем молодежь в большей степени подвержена этим рискам; исследования воздействия радиации во время внутриутробного развития показывают, что эмбрион особенно чувствителен в этом плане, причем повышенный риск отмечается при дозах 10 мГр и выше.

Рисунок II

Реакция на дозу облучения для солидных раковых заболеваний со смертельным исходом на основе проведенных в 2002 году обследований лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии



Источник: Действие ионизирующей радиации: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации — доклад Генеральной Ассамблеи за 2006 год с научными приложениями A и B, том I (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.08.IX.6), приложение A, рис. IX.

26. Картина воздействия радиации на лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии, весьма существенно отличается от того, что наблюдается в большинстве групп людей, подвергшихся воздействию радиации либо на рабочем месте, либо из природных источников. Люди, пережившие атомные бомбардировки, подверглись воздействию внешнего излучения от гамма-лучей и нейтронов, как правило, в больших дозах в течение короткого периода времени. Многие же представители других групп, наоборот, подвергались воздействию малых доз в течение длительного времени; а иногда воздействие было вызвано радионуклидами, попавшими внутрь организма. Ценную информацию о долгосрочном воздействии радионуклидов, попавших внутрь организма, в малых дозах дали эпидемиологические исследования состояния здоровья работников ядерного комплекса "Маяк" на Южном Урале в России, а также населения, проживающего в районе реки Теча, которое подверглось воздействию радиации в результате сброса радиоактивных отходов с этого предприятия. Наблюдения за лицами, подвергшимися воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС, позволили получить полезную информацию о воздействии внешнего облучения в малых дозах и о последствиях воздействия на щитовидную железу радиоактивного йода. В целом оценки риска развития рака, полученные в ходе этих исследований, мало отличаются от результатов, полученных при обследовании лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии. И наоборот, обследования жителей тех районов Китая и Индии, где отмечается повышенная естественная фоновая радиация, не свидетельствуют о том, что радиация при таких уровнях

увеличивает риск возникновения рака. Эти и другие исследования дают все новые данные. Комитет будет и дальше изучать эти вопросы.

Таблица 1

Повышенный риск смертности на протяжении всей жизни (в среднем по обоим полам)^a

Доза острого облучения (Гр)	Солитные раковые заболевания в целом (% при конкретной дозе)	Лейкемия (% при конкретной дозе)
0,1	0,36-0,77	0,03-0,05
1,0	4,3-7,2	0,6-1,0

Источник: Действие ионизирующей радиации: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации— доклад Генеральной Ассамблее за 2006 год с научными приложениями А и В, том I (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.08.IX.6), приложение А, пункт 593.

^a Повышенный риск смертности на протяжении всей жизни в размере 1,0 процента означает один дополнительный случай на 100 человек.

2. Исследования механизмов

27. Понимание механизмов развития рака в результате воздействия радиации может помочь в расшифровке эпидемиологических данных, в частности в отслеживании тенденций при оценке рисков для малых доз и низкой дозовой мощности. С 2000 года Комитет уделяет повышенное внимание развитию ситуации в этой области.

28. В течение многих лет исследования развития рака давали все новые подтверждения того, что этот процесс, как правило, начинается с изменения (мутации) одного или нескольких генов ДНК одной стволовой клетки в том или ином органе тела. Последующее развитие рака и возникновение злокачественной опухоли, предположительно, проходит в несколько этапов, и это также связано с мутацией или другими изменениями клеточных генов.

29. Комитет изучил выводы этих исследований, а также многих других исследований последствий воздействия радиации на клеточном и субклеточном уровне. Современное понимание заключается в том, что энергия, полученная клеткой после облучения, может привести к повреждению всех внутриклеточных компонентов. Главной внутриклеточной мишенью изменений, вызванных радиацией, являются молекулы ДНК в хромосомах. ДНК кодирует порядка 25 000 генов, которые координируют все функции в каждой клетке, и если не устранить повреждение, причиненное радиацией гену (или группе генов), клетка может погибнуть. Клетка может и выжить, однако произойдут мутации ДНК, которые повлияют на поведение клетки. Даже небольшая часть таких мутаций может привести к развитию рака. У клеток есть ряд систем восстановления ДНК, которые помогают устранить многие формы повреждения ДНК, возникшие случайно или под воздействием внешних факторов. В широком смысле системы исправления ДНК нужны для восстановления генетической целостности клетки. И важно отметить, что основные моменты мутации при развитии рака часто зависят от органа, в

котором находится облученная клетка, и они подразделяются на две общие категории – мелкие конкретные мутации отдельных генов и мутации, которые приводят к потере ДНК (иногда это затрагивает не один ген).

30. Самые последние исследования того, как радиация приводит к повреждению ДНК клеток, а также клеточных систем, которые распознают и устраняют повреждения, и развития вызванных радиацией мутаций ДНК позволяют в новом свете взглянуть на вероятные механизмы развития рака. Радиация может привести к одновременному повреждению обеих нитей двойной спирали ДНК, что часто влечет за собой разрушение молекулы ДНК и сопутствующие этому сложные химические изменения.

31. Подобные сложные повреждения ДНК трудно устранить надлежащим образом, и даже при малых дозах радиации есть пусть и очень малая, но не нулевая вероятность возникновения мутаций ДНК, которые увеличивают риск развития рака. Поэтому имеющиеся в настоящее время свидетельства говорят в пользу непороговой реакции на мутационный компонент, вызывающий развитие рака под воздействием радиации в малых дозах и при низкой дозовой мощности. Информация о характере вызванных радиацией мутаций показывает, что процесс потери ДНК (исчезновение генов) будет, скорее всего, доминировать в этой составляющей компоненте мутаций. Есть также подтверждения того, что снижение риска заболевания раком при определенном воздействии радиации в малых дозах и при низкой дозовой мощности по сравнению с большими дозами и высокой дозовой мощностью связано, по крайней мере отчасти, с возможностями клетки бороться с повреждениями ДНК после радиационного облучения. Для того чтобы учитывать относительное снижение воздействия облучения в малых дозах и при низкой дозовой мощности, часто используется поправочный коэффициент, известный как коэффициент воздействия дозы и дозовой мощности; однако в докладе Комитета за 2006 год для экстраполяции оценочных рисков при малых дозах была использована непосредственно линейно-квадратичная модель, и, соответственно, коэффициент воздействия дозы и дозовой мощности не применялся.

32. Возникновение и развитие рака после воздействия радиации – это не просто вопрос постепенного накопления мутаций в ДНК соответствующих клеток. Проводились исследования и для проверки следующих гипотез: а) адаптация клеток и тканей к малым дозам радиации может сделать их более устойчивыми к развитию рака (адаптивная реакция); б) воздействие радиации на иммунные системы, которые распознают и уничтожают аномальные клетки, может повлиять на вероятность развития рака; и с) радиация может обусловить изменения, которые приведут к долгосрочным и передающимся последствиям для устойчивости клеточной ДНК (геномная нестабильность) и/или вызовут передачу сигналов от поврежденных клеток к их неповрежденным соседям ("соседский" эффект); высказывалось предположение, что и геномная нестабильность, и соседский эффект, возможно, являются теми факторами, которые изменяют вероятность возникновения рака в результате облучения. Эти и другие модулирующие факторы, как, например, возникновение воспалительных реакций, могут вести как к росту, так и снижению риска развития рака в результате воздействия радиации.

33. Комитет рассмотрел эти исследования и пришел к выводу, что эти процессы не вносят существенного вклада в толкование эпидемиологических данных.

34. Риск возникновения рака зависит от характера воздействия радиации. Радиация разного свойства (например, рентгеновские лучи, бета-излучение, альфа-частицы) различается по своему воздействию на возможность развития рака. Кроме того, воздействие радиации может быть внутренним вследствие заглатывания или вдыхания радиоактивных материалов или внешним от таких источников облучения, как диагностическое рентгеновское обследование. Рассеивание радиоактивных материалов, попавших в тело извне, представляет собой сложный процесс, и для оценки доз, полученных тканями, и их воздействия на состояние здоровья необходимо разработать соответствующие модели. После аварии на Чернобыльской АЭС одним из основных компонентов общего радиационного облучения было внутреннее воздействие. Комитет особо занимался последствиями этого события¹⁵. Оценки рисков при внутреннем воздействии были также получены в ходе эпидемиологических обследований работников ядерного комплекса "Маяк" в России и нескольких других групп лиц, подвергшихся воздействию радиации.

35. Наконец, Комитет рассмотрел развитие базы знаний о причинах, определяющих наследственную предрасположенность некоторых людей к тем или иным видам раковых заболеваний по сравнению со среднестатистическими показателями. Есть определенные данные эпидемиологических исследований, основанных на обследовании пациентов, проходивших курс радиотерапии, которые показывают, что люди с повышенной предрасположенностью подвергаются большему риску возникновения раковых заболеваний после облучения. Результаты экспериментальных исследований с клетками и животными только подкрепили этот вывод и позволяют предположить, что такая повышенная восприимчивость к радиационному облучению у людей, предрасположенных к раковым заболеваниям, может иметь более распространенный характер. Повышению индивидуальной восприимчивости к облучению могут способствовать и другие индивидуальные (например, возраст, состояние гормональной и общей иммунной системы) и экологические факторы (например, воздействие токсинов, пищевой рацион). Однако в настоящее время этот предварительный вывод ограничивается лишь теми случаями, когда в семье явно проявляется повышенная предрасположенность к раковым заболеваниям. В целом для населения это достаточно редкое явление, для того чтобы Комитет мог сделать соответствующую оценку риска развития рака; тем не менее более низкая степень наследственной предрасположенности к раковым заболеваниям, вызываемым воздействием радиации, может иметь более общий характер.

¹⁵ См. *Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, шестьдесят третья сессия, Дополнение № 46 (A/63/46)*.

В. Передающиеся по наследству последствия радиационного облучения

36. В отличие от исследований раковых заболеваний, вызываемых воздействием радиации, эпидемиологические исследования не дали четких подтверждений того, что передающиеся по наследству последствия радиационного облучения часто проявляются у людей. Самое крупное и наиболее обширное исследование данного вопроса было проведено с использованием данных о детях лиц, переживших атомные бомбардировки в Японии. Никакого увеличения частотности передающихся по наследству последствий ни в ходе этого, ни в ходе какого-либо другого обследования людей выявлено не было. Таким образом, эти исследования не позволяют сделать прямую оценку каких-либо передающихся по наследству рисков, обусловленных воздействием радиации. В то же время они не подтверждают и тот факт, что никакого риска передачи по наследству последствий радиационного облучения нет, поскольку трудно выявить небольшое превышение заболеваемости в результате воздействия радиации в сравнении с и без того достаточно высокой заболеваемостью в группах населения, не подвергшихся облучению (таблица 2). Тем не менее результаты этих исследований являются полезными в том плане, что они позволяют установить верхнюю границу для оценки любого связанного с этим риска.

Таблица 2

Оценки риска возникновения наследственных заболеваний в следующем поколении в результате радиационного облучения родителей в малых дозах

Класс заболевания	Базовая частотность (на миллион человек)	Риск в первом поколении на единицу радиационной дозы с низким ЛПЭ ^a (на миллион человек, подвергшихся облучению в размере 1 Гр)
Доминантные (включая заболевания, связанные с рентгеновским облучением)	16 500	~750-1 500
Хромосомные	4 000	^b
Хронические полифакториальные заболевания	650 000	~250-1 200
Аномалии развития	60 000	~2 000

Источник: *Последствия радиации для наследственности: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации – доклад Генеральной Ассамблеи за 2001 год с научным приложением* (United Nations publication, Sales No. E.01.IX.2), приложение, таблица 46.

^a Виды радиации с низким линейным переносом энергии (низкий ЛПЭ) включают рентгеновское излучение, гамма-излучение и бета-частицы.

^b Предположительно это частично подпадает под категорию рисков, связанных с аутосомными доминантными заболеваниями и заболеваниями, связанными с рентгеновским облучением, и частично – под категорию аномалий развития.

37. В то время как последствия облучения, приводящие к развитию раковых заболеваний, проявляются в органах людей, непосредственно подвергшихся воздействию радиации, наследственные последствия возникают в результате повреждения ДНК половых клеток (сперматозоидов и яйцеклеток) в репродуктивных органах (семенниках у мужчин и яичниках у женщин) таких людей, подвергшихся воздействию радиации. Если такие повреждения ДНК вызывают мутации половых клеток, то они могут передаваться по наследству потомкам облученного человека и далее будущим поколениям. Доля этих мутаций непосредственно приведет к росту доминантных наследственных заболеваний. Другие мутации проявляются косвенно в результате взаимодействия с другими генами, и здесь возникновение хронических полифакторных заболеваний зависит от образа жизни или экологических факторов. В любом случае оба класса заболеваний возникают естественным образом, способствуя появлению врожденных дефектов (аномалий развития) у детей. Исследования частоты возникновения врожденных пороков развития у большого числа новорожденных детей в районах с высоким уровнем естественного радиоактивного фонового излучения в Индии и Китае не свидетельствуют об увеличении такой частоты.

38. Самыми наглядными примерами передающихся по наследству последствий воздействия радиации являются результаты широких экспериментальных исследований на животных с использованием больших доз, в частности на лабораторных мышах. Комитет рассмотрел и проанализировал полученные в ходе этих исследований данные о мутациях, особенно в свете новой информации о соответствующих мутациях ДНК половых клеток (в основном потери ДНК), а также вопрос о том, как они связаны с передающимися по наследству последствиями у потомства. В качестве показателя передающихся по наследству последствий воздействия радиации Комитет принял так называемую двойную дозу, вызывающую мутации. Двойная доза радиации – это доза, которая приводит к такому же количеству новых мутаций в одном поколении, что и в случае спонтанно возникающих мутаций. До недавнего времени двойная доза, полученная на основании опытов с мышами, составляла 1 Гр, и она использовалась при оценке передающихся по наследству последствий воздействия радиации среди групп населения, получавших малые дозы радиации на протяжении многих поколений.

39. В 2001 году Комитет пересмотрел свои методы, с тем чтобы:

а) включить новые оценки уровней мутаций, спонтанно возникающих в организме человека;

б) учесть летальные последствия некоторых мутаций для эмбрионального развития и другие моменты, которые больше не будут присутствовать у людей, поскольку они исключают или значительно снижают вероятность воспроизводства населения;

с) использовать пересмотренный подход к взаимосвязи между воздействием новых мутаций на жизнь человека и частотностью наследственных заболеваний.

40. Благодаря вышеуказанным изменениям и результатам других аналитических исследований Комитет смог не только подготовить новую

оценку риска возникновения доминантных наследственных заболеваний при изменении одного гена, но и впервые дал оценку риска полифакторных заболеваний. Эти оценки приведены в таблице 2 и основаны на более надежных с научной точки зрения данных, чем те, что имелись до 2001 года. В свете стремительного прогресса в развитии методов секвенирования ДНК и понимании механизмов наследственной изменчивости человека, возможно, удастся получить более конкретную информацию о рисках возникновения наследственных заболеваний в будущем.

С. Нераковые заболевания, связанные с воздействием радиации

41. Воздействие радиации на развивающийся эмбрион/плод во время беременности может также способствовать возникновению у детей нераковых заболеваний. Помимо появления врожденных пороков развития сильному воздействию подвергается центральная нервная система. Риски здесь обусловлены двумя основными факторами: доза облучения и конкретный этап развития эмбриона/плода во время воздействия радиации. Основываясь главным образом на результатах исследований на животных и некоторых наблюдениях беременных женщин, получивших большую дозу радиации, Комитет пришел к выводу, что порог для возникновения подобных последствий составляет порядка 100 мГр.

42. Есть подтверждения того, что риск возникновения широко распространенных заболеваний помимо рака может увеличиться после получения по крайней мере от умеренной до высокой дозы радиации. Основным источником таких свидетельств являются эпидемиологические исследования данных по лицам, пережившим атомные бомбардировки в Японии, в частности исследования заболеваний органов кровообращения. В своем докладе за 2006 год¹⁰. Комитет рассмотрел данные, полученные как в ходе обследования лиц, переживших атомные бомбардировки, так и в ходе других исследований групп населения, подвергшихся облучению. При проведении этого анализа возник ряд трудностей, среди которых можно отметить следующие: высокая общая частотность возникновения этих заболеваний у групп населения, не подвергавшихся воздействию радиации; внесение соответствующей поправки на действие других факторов помимо радиационного облучения (например, курение, уровень холестерина, наследственная предрасположенность); и отсутствие выявленных клеточных механизмов, участвующих в их развитии. Единственными четкими доказательствами повышенного риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний в связи с воздействием радиации на сердце в дозах ниже 1-2 Гр являются данные по лицам, пережившим атомные бомбардировки. Другие исследования, которые были изучены Комитетом, свидетельствуют о росте сердечно-сосудистых заболеваний при облучении более высокими дозами. Для всех других нераковых заболеваний в совокупности справедлив тот же общий вывод, который был сделан в отношении сердечно-сосудистых заболеваний. Проведенный Комитетом обзор не позволил сделать какие-либо выводы о прямой причинно-следственной связи между облучением в дозах ниже 1-2 Гр и повышенной частотой возникновения сердечно-сосудистых и других

нераковых заболеваний. Для этих заболеваний взаимосвязь между дозой и реакцией при малых дозах пока не ясна.

43. В ходе последних эпидемиологических исследований появились данные, свидетельствующие о повышенном риске возникновения нераковых заболеваний при облучении дозами ниже 1-2 Гр, а в некоторых случаях и при гораздо меньших дозах. Однако механизмы этого все еще неясны, и оценка рисков при малых дозах по-прежнему проблематична. Здесь ведутся активные исследования, и Комитет будет и дальше следить за развитием событий в этой области.

44. В 2006 году Комитет также произвел оценку воздействия ионизирующего излучения на иммунную систему¹¹. В принципе, если радиация способствует повышению или снижению потенциала организма формировать иммунологическую реакцию на инфекцию, раковое или иное заболевание, то это можно отнести и к риску возникновения любых заболеваний в результате воздействия радиации. Хотя были изучены материалы многих исследований, по-прежнему невозможно сделать четкий вывод относительно того, служит ли воздействие на иммунную систему радиации в малых дозах активизации или подавлению иммунологической реакции.

45. И наконец, Комитет отмечает, что, как показывают последние исследования, увеличение частотности возникновения катаракты может быть связано с воздействием радиации в малых дозах. На протяжении уже ряда лет возникновение таких нарушений в хрусталике глаза считается следствием воздействия высоких доз облучения. Как и в случае заболеваний органов кровообращения, Комитет будет и дальше отслеживать и анализировать новую информацию в этой области. Кроме того, будут изучаться механизмы, которые могут иметь отношение к объяснению заболеваний, вызываемых радиацией, как, например, геномная нестабильность и "соседский" эффект, равно как и новые концепции и технологии, которые могли бы способствовать лучшему пониманию последствий воздействия радиации в малых дозах для здоровья и механизмов, которые объясняют такие последствия.