

РЕКОМЕНДАЦИИ МКРЗ

Радиационная безопасность

РЕКОМЕНДАЦИИ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОМИССИИ  
ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ  
ЗАЩИТЕ 1990 года

ПРЕДЕЛЫ  
ГОДОВОГО ПОСТУПЛЕНИЯ  
РАДИОНУКЛИДОВ  
В ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ,  
ОСНОВАННЫЕ  
НА РЕКОМЕНДАЦИЯХ  
1990 года

ПУБЛИКАЦИИ 60, ЧАСТЬ 1, 61 МКРЗ

Приняты МКРЗ в ноябре 1990 г.

Перевод с английского Т.Д. Кузьминой

Под редакцией И.Б. Кеирим-Маркуса



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1994

УДК 615.849.9  
Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Ч. 1.  
Пределы годового поступления радионуклидов в орга-  
низм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года.  
Публикации 60, ч. 1, 61 МКРЗ: Пер. с англ. М.: Энергоатом-  
издат, 1994. — 192 с. — ISBN 5-283-031-61-6

Публикация 60 заменяет Публикацию 26. Содержит новые рекомендации  
Комиссии по радиационной безопасности. Снижает пределы доз для персо-  
нала и населения. Публикация 61 заменяет Публикацию 30. Содержит новые  
значения пределов годового поступления радионуклидов для работающих.  
Для специалистов по радиационной безопасности, радиобиологии и дози-  
метрии и читателей, интересующихся этими вопросами в связи с чернобыль-  
ской катастрофой.

RADIATION PROTECTION

ICRP PUBLICATION 60

1990 Recommendations of the International  
Commission on Radiological Protection

ADOPTED BY THE COMMISSION IN NOVEMBER 1990

PUBLISHED FOR

The International Commission on Radiological Protection



PERGAMON PRESS

OXFORD · NEW YORK · FRANKFURT  
SEOUL · SYDNEY · TOKYO

RADIATION PROTECTION

ICRP PUBLICATION 61

Annual Limits on Intake of Radionuclides  
by Workers Based on the 1990  
Recommendations

A report from Committee 2 of the  
International Commission on Radiological Protection

ADOPTED BY THE COMMISSION IN NOVEMBER 1990

PUBLISHED FOR

The International Commission on Radiological Protection



PERGAMON PRESS

OXFORD · NEW YORK · FRANKFURT  
SEOUL · SYDNEY · TOKYO

4105060000-034

Р 051(01)-94 Без объявл.

ISBN 5-283-031-61-6

© Перевод на русский язык,  
Энергоатомиздат, 1994

#### ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

В ноябре 1990 г. Международная Комиссия по радиологической за-  
щите (МКРЗ) приняла после многолетней подготовки новые рекомен-  
дации по обеспечению радиационной безопасности, оформленные  
в виде Публикации 60 "Рекомендации МКРЗ 1990 г." Одновременно  
Комиссией была принята Публикация 61 "Пределы годового поступ-  
ления радионуклидов в организм работающих, основанные на реко-  
мендациях 1990 г."

Новые документы МКРЗ должны привлечь внимание не только  
специалистов в области радиационной безопасности, но и широких  
кругов общественности, а также представителей власти разных уров-  
ней, интерес которых к этой проблеме проявился после чернобыль-  
ской катастрофы.

Публикация 60 выпущена взамен Публикации 26, отражавшей  
прежнюю политику Комиссии в области обеспечения радиационной  
безопасности. Как отмечает Комиссия, она старалась учесть новые  
биологические данные и улучшить изложение, стремясь при этом  
по возможности сохранить стабильность своих рекомендаций. Озна-  
комившись с Публикацией, читатель оценит насколько это удалось  
осуществить.

В документе нашли отражение опыт Комиссии и общемировой  
опыт применения ее рекомендаций, накопленные с момента выхода  
Публикации 26 в 1977 г., в том числе в принципиально новых усло-  
виях, возникших после чернобыльской катастрофы.

Трагедия, начавшаяся в апреле 1986 г., показала, в частности, ис-  
кусственность разделения населения в целях нормирования на две  
категории облучаемых лиц — Б и В. Появилась необходимость нор-  
мировать облучение всего населения. Подобное мнение высказыва-  
лось и учеными нашей страны. В своих новых рекомендациях Комис-  
сия оставила только две категории облучаемых лиц: работающих  
(персонал) и все население (популяцию), объединившие прежние ка-  
тегории Б и В.

Опыт Чернобыля показал, что даже на государственном уровне  
невозможно оптимизировать решения путем использования соотно-  
шения риск — польза только для облучения; обязательно нужно учи-  
тывать и другие, нерадиационные факторы — отношение населе-

ния к принимаемым решениям, психическое воздействие радиационной обстановки на здоровье людей и т. п. В Публикации 60 это нашло отражение в более взвешенном, чем ранее, отношении к оптимизации облучения.

Имеется еще несколько новых моментов в Публикации 60, весьма интересных для отечественной системы радиационной безопасности. Так, МКРЗ уменьшает основные дозовые пределы по сравнению с рекомендациями 1977 г. в 2,5 раза для работающих (персонала) и в 5 раз — для населения (по отношению к прежнему нормативу для категории Б, т. е. ограниченной части населения). Теперь предлагается регламентировать индивидуальную дозу на уровне 100 и 5 мЗв за 5 лет для работающих и населения соответственно. Вместе с тем допустимые уровни облучения участников ликвидации последствий радиационной аварии увеличены до 0,5 Зв эффективной (эквивалентной) дозы и до 5 Зв на кожу.

Изменены значения тканевых весовых множителей  $w_T$ , входящих в выражение эффективной (эквивалентной) дозы. В результате (в рамках представлений отечественных "Норм радиационной безопасности") легкие, желудок и толстый кишечник следовало бы перевести из второй в первую группу критических органов, т. е. уменьшить для них в 3 раза значение основного дозового предела.

Принципы системы ограничения облучения в основном сохраняются в новых рекомендациях, но формулируются более сложно. Согласно второму основному принципу теперь предлагается оптимизировать не только коллективную дозу, но и число облучаемых лиц, что, впрочем, уже предлагалось нами ранее. Третий принцип — ограничение облучения пределами индивидуальной дозы — считают теперь ненужным распространять на вмешательство в радиационную обстановку. Вмешательство наряду с нормальной практической деятельностью рассматривают как основные виды деятельности, соответственно уменьшающие или увеличивающие облучение людей.

Облучение подразделяют теперь на профессиональное, т. е. происходящее во время работы и как ее результат; на медицинское, т. е. происходящее при диагностике и лечении, а также при использовании добровольцев; на облучение населения, к чему относят все прочие виды облучения. Вводится новое понятие — потенциальное облучение, которое возможно в будущем сверх обычных видов облучения.

Интересны уточнения видов контроля: контролируют источник облучения, человека и пути контакта между ними. Для работающих необходимы все три вида контроля, для медицинского персонала — тоже, но контроль должен быть подчинен основной задаче — принести пользу пациенту. Наконец, для радиационной безопасности населения обычно достаточно контролировать только

источник, и лишь в случаях, когда этого не хватает, дополнительно контролируют пути воздействия на людей.

В Публикации 60 снова внесены изменения в систему величин эквидозиметрии. Уже в Публикации 26 предлагался двойной контроль облучения: нестохастических эффектов — по эквивалентной дозе в критических органах, стохастических эффектов — по введенной в этой Публикации новой величине — эффективной эквивалентной дозе в организме. Указанная тенденция усилена в новых рекомендациях. Теперь детерминированные эффекты оценивают по максимальному эквиваленту дозы в критических органах, а стохастические эффекты — по эффективной дозе в организме. Эффективная доза отличается от эффективной эквивалентной дозы тем, что формируется из среднетканевых поглощенных доз в отдельных органах, умноженных на вновь вводимые весовые множители излучения  $w_R$  и на тканевые весовые множители  $w_T$ . Значения последних изменены по сравнению со значениями, рекомендованными в Публикации 26. Попутно вводится еще одно определение эквивалентной дозы.

Поскольку эффективная доза от внешнего облучения — это величина, непосредственно не измеряемая, ее предлагается оценивать по значениям индивидуальной эквивалентной дозы, в определении которой используют не  $w_R$ , а коэффициент качества излучения  $Q$ . Его зависимость от линейной передачи энергии излучения  $Q(L)$  изменена по сравнению с принятой в настоящее время.

Наконец, потенциальные облучения предлагается оценивать не по дозе, а по риску отдаленных последствий. Это неполное перечисление новых моментов даст некоторое представление о Публикации 60 как о важном этапе в эволюции принципов и системы регламентации облучения людей, который потребует радикальной переоценки действующих систем радиационной безопасности во всех странах.

Наряду с новыми идеями в Публикации 60 привлекает прекрасное изложение простым языком физических и биологических основ действия ионизирующего излучения на организм человека, полезное любому, кто соприкасается с облучением. По-новому построен и материал Публикации. Комиссия сознательно идет на повторения. Так, разделу эквидозиметрических величин предпослано радиобиологическое введение, делающее понятным смысл этих величин. Затем биологические аспекты более подробно излагают в отдельной главе. Основной текст заканчивается сводкой рекомендаций Комиссии с концентрированным повторением предыдущего текста. За ней следуют четыре Приложения, значительно превышающие по объему основной текст и посвященные эквидозиметрическим величинам, биологическим эффектам излучения, оценке значимости этих эффек-

тов, а также содержащие перечень публикаций Комиссии. Поскольку Приложения предназначены специалистам для углубленного изучения материала, было решено не включать их в данную книгу, рассчитанную на широкий круг читателей, а издать отдельно с комментариями редактора перевода.

Мы считали целесообразным вместе с основным текстом Публикации 60 издать перевод Публикации 61. Она призвана заменить Публикацию 30 МКРЗ, выпущенную в переводе Энергоатомиздата в 1982 - 1984 гг. в виде трех отдельных книг. Содержащиеся в Публикации 61 значения пределов годового поступления радионуклидов в организм человека через органы дыхания и пищеварения рассчитаны по тем же моделям, какие использовались в Публикации 30, но исходят из новых значений основных дозовых пределов и подсчитаны с применением новых величин, введенных в Публикации 60. Материалы Публикации 61 необходимы для практического применения новых рекомендаций МКРЗ по отношению к внутреннему облучению.

Издание перевода Публикаций 60 и 61 МКРЗ, их тщательное и критическое изучение будут несомненно полезны при подготовке первых "Норм радиационной безопасности" России и будут способствовать повышению уровня радиационной безопасности в Российской Федерации, а следовательно, и нашему общему благополучию.

Мы благодарны Элеоноре Михайловне Кравцовой, способствовавшей изданию перевода.

*И.Б. Кеурум-Маркус*

РЕКОМЕНДАЦИИ МКРЗ

## РЕКОМЕНДАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОМИССИИ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ 1990 года

ПУБЛИКАЦИЯ 60 МКРЗ, ЧАСТЬ 1

МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1994

## ПРЕДИСЛОВИЕ

(1) С 1977 г., когда Комиссия выпустила основные рекомендации в виде Публикации 26 МКРЗ, эти рекомендации ежегодно просматриваются заново, периодически выходят в свет дополнительные заявления, публикуемые в журнале "Annals of the ICRP". Полный перечень публикаций Комиссии приведен в Приложении Г\*. События последних нескольких лет привели к необходимости выпустить совершенно новый набор рекомендаций. При этом Комиссия имела в виду три цели:

- а) учесть новые биологические данные и тенденции при установлении норм радиационной безопасности;
- б) улучшить изложение рекомендаций;
- в) сохранить стабильность рекомендаций в той мере, в какой возможно согласовать их с новой информацией.

(2) Проект рекомендаций был подготовлен Рабочей группой, назначенной Комиссией состава 1985 – 1989 гг.

Члены Рабочей группы:

- Д. Бенинсон, председатель Комиссии
- А. Жамме, зам. председателя Комиссии
- У.К. Синклер, председатель Комитета 1
- К. Мейнхолд, председатель Комитета 2
- Ю. Линецкий, председатель Комитета 3
- Х.Дж. Данстер, председатель Комитета 4 по 1989 г.
- Р.Х. Кларк, председатель Комитета 4 после 1989 г.
- Б. Линделл, почетный член Комиссии
- Х. Смит, ученый секретарь Комиссии

Этот проект был обсужден и принят в ноябре 1990 г. Комиссией состава 1989 – 1993 гг.

Члены Комиссии 1985 – 1989 гг.: Члены Комиссии 1989 – 1993 гг.:  
Д. Бенинсон, председатель                      Д. Бенинсон, председатель  
А. Жамме, вице-председатель                      А. Жамме, вице-председатель

\* Приложения к Публикации 60 МКРЗ издаются отдельно в книге "Радиационная безопасность. Рекомендации Международной Комиссии по радиологической защите. 1990 года. Публикация 60 МКРЗ, часть 2. М.: Энергоатомиздат, 1994. – Прим. ред.

Р.Дж. Берри  
Х. Дж. Данстер, председатель  
Комитета 4  
В. Якоби  
Д. Ли  
Ю. Линецкий, председатель  
Комитета 3  
К.Б. Мейнхольд, председатель  
Комитета 2  
А.К. Познанский  
Г. Силини  
У.К. Синклер, председатель  
Комитета 1  
И. Тайима  
Х. Смит, ученый секретарь

Р.Х. Кларк, председатель Коми-  
та 4  
Х.Дж. Данстер  
А.К. Гуськова  
В. Якоби  
Д. Ли  
Ю. Линецкий, председатель  
Комитета 3  
К.Б. Мейнхольд, председатель  
Комитета 2  
Ф. Меттлер  
И. Шигемацу  
Г. Силини  
У.К. Синклер, председатель  
Комитета 1  
Х. Смит, ученый секретарь

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Эта глава посвящена истории деятельности Комиссии и ее рекомендациям. В ней поставлены цели и представлена форма данной Публикации, а также объяснено, почему Комиссия касается лишь защиты человека, и только от ионизирующего излучения. Перечень публикаций Комиссии приведен в Приложении Г\*.

### 1.1. ИСТОРИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМИССИИ

(3) Международная комиссия по радиологической защите, именуемая далее Комиссия, была организована в 1928 г. в соответствии с решением Второго Международного конгресса по радиологии и называлась Международным комитетом по защите от рентгеновского излучения и излучения радия. В 1950 г. она была реорганизована и переименована. Комиссия еще сохраняет особую связь с проходящими один раз в четыре года заседаниями Конгресса и международным обществом радиологов, но по прошествии нескольких лет ее интересы сильно расширились с учетом возрастающего использования ионизирующих излучений и деятельности, связанной с генерированием излучения и созданием радиоактивных веществ.

(4) Комиссия работает в тесном контакте с родственным органом — Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям, официально связана с Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ). Она также имеет важные связи с Международной организацией труда и другими учреждениями Организации Объединенных Наций, включая Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) и Программу ООН по окружающей среде, а также с Комиссией Европейских сообществ. Агентством по ядерной энергии Организации по экономическому сотрудничеству и развитию, Международной организацией стандартов, Международной электротехнической комиссией и Международной ассоциацией по радиационной защите. Она учитывает успехи ведущих национальных организаций.

\* См. примечание на с. 9.

(5) Первый доклад Комиссии был выпущен в 1928 г. Первый доклад текущей серии, озаглавленный Публикация 1 (1959 г.), содержал рекомендации, одобренные в сентябре 1958 г. Далее появились общие рекомендации в виде Публикации 6 (1964 г.), Публикации 9 (1966 г.) и Публикации 26 (1977 г.). Публикация 26 была откорректирована и расширена заявлением 1978 г. и последующими заявлениями (1983, 1984, 1985, 1987 гг.). Доклады по более узким специальным темам появились в виде дальнейших публикаций под последующими номерами (Приложение Г).

## 1.2. РАЗВИТИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ КОМИССИИ

(6) За последние десятилетия метод работы Комиссии практически не изменялся. Поскольку на уровне годовой дозы, соответствующей рекомендованным Комиссией пределам, или ниже ее имеется мало прямых доказательств вреда для здоровья, требуется тщательное научное обоснование вероятности вреда, связанного с малыми дозами. Большая часть результатов наблюдений была получена при больших дозах и обычно при большой мощности дозы. Цель Комиссии состоит в том, чтобы на основе широкого спектра экспертных оценок как других организаций, так и собственных Комитетов и рабочих групп достичь разумного согласия относительно последствий воздействия излучения. Комиссия считает неприемлемым использовать ни самое пессимистическое, ни самое оптимистическое толкование имеющихся данных, но ставит целью избежать недооценки последствий облучения. Оценка этих последствий неизбежно включает социальные и экономические аспекты, а также научные представления многих дисциплин. Комиссия считает своей целью создание как можно более ясной основы для таких решений и признает, что другие могут прийти к своим собственным выводам по многим спорным вопросам.

(7) Комиссия констатировала, что ее рекомендации использовались и регулируемыми органами, и органами управления, и их консультантами-специалистами. Поскольку рекомендации Комиссии могут быть применены для различных ситуаций, степень их детализации намеренно ограничена. Однако Комиссия исторически связана с медицинской радиологией, и ее рекомендации в этой области часто довольно подробны.

(8) Рекомендации Комиссии помогли обеспечить единую основу для национальных и региональных регламентирующих норм. Со своей стороны Комиссия заинтересована в сохранении стабильности рекомендаций. Она полагает, что частые изменения могут лишь привести к путанице. Ежегодно Комиссия рассматривает новые опубликованные данные на фоне гораздо большего количества уже накоп-

енных данных. Маловероятно, чтобы эти обзоры привели к драматическим изменениям, но если новые данные покажут, что существующие рекомендации настоятельно нуждаются в изменениях, то Комиссия быстро на это отреагирует.

(9) За последние десятилетия произошли существенные изменения в акцентах представления и применения системы безопасности, предлагаемой Комиссией. Первоначально и в 50-е годы существовала тенденция рассматривать соблюдение пределов индивидуальных доз в качестве меры ее успешного выполнения. Рекомендовали удерживать все виды облучения на возможно низком уровне, но это не всегда применялось осознанно. В дальнейшем значительный упор был сделан на требования удерживать все облучения "на столь низких уровнях, какие только можно разумно достигнуть с учетом экономических и социальных факторов". Это привело к существенному снижению индивидуальных доз и значительно сократило число ситуаций, при которых пределы дозы играют основную роль в общей системе безопасности. Смысл пределов дозы, рекомендованных Комиссией, также изменился. Первоначально их основной целью было устранить непосредственно наблюдаемые незлокачественные эффекты облучения. Впоследствии их устанавливали также с намерением ограничить возникновение рака и наследуемых эффектов, вызванных облучением. За эти годы пределы дозы выражали различными способами, поэтому сравнивать их нелегко. Однако в широком толковании годовой предел для профессионального облучения всего тела был снижен в 3 раза с 1934 до 1950 г., а затем еще в 3 раза в 1958 г. — до уровня, эквивалентного 50 мЗв.

## 1.3. ЦЕЛИ ДАННОЙ ПУБЛИКАЦИИ

(10) Комиссия считает, что эта Публикация послужит в качестве руководства административным и консультативным органам на национальном, региональном и международном уровнях, главным образом по фундаментальным принципам, на основе которых может строиться соответствующая радиационная безопасность. Из-за отличия условий применения в разных странах Комиссия не намерена давать предписания. Органам власти самим следует разработать собственные законодательные, регулирующие и исполнительные структуры, официальные разрешения, правила работы и инструктивные материалы в рамках их обычной деятельности и политики. Комиссия полагает, что эти регулирующие материалы должны хорошо согласовываться с установками этой Публикации. Кроме того, Комиссия надеется, что Публикация поможет в работе органам управления, ответственным за радиационную безопасность, штату специалистов, которых они используют в качестве консультантов, и отдель-

ным лицам, например радиологам, которые должны принимать решения об использовании ионизирующего излучения.

(11) По указанным причинам Комиссия представляет эти рекомендации в виде основного текста, дополненного более подробными приложениями\*. В основной текст входят все рекомендации вместе с пояснительным материалом, достаточным для того, чтобы раскрыть лежащие в его основе аргументы. Предполагается, что тексты будут использоваться лицами, определяющими общий курс, которые могут обращаться к дополнительным приложениям, если им понадобятся более подробные сведения по отдельным вопросам. Специалистам необходимо изучить как основной текст, так и приложения.

(12) В гл. 2 и 3 рассмотрены величины и единицы, используемые в радиационной безопасности, и биологические эффекты излучения. В гл. 4 представлены концептуальные основы радиационной безопасности, и она подводит читателя к гл. 5 и 6, в которых содержатся основные рекомендации Комиссии. В гл. 7 обсуждается практическое применение рекомендаций. В заключение приведена сводка рекомендаций.

#### 1.4. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ КОМИССИИ

(13) Ионизация — это процесс, в ходе которого атомы теряют или, в некоторых случаях, приобретают электроны и становятся, таким образом, электрически заряженными атомами, или ионами. Термин "ионизирующее излучение" используется для описания переноса энергии в виде электромагнитных волн либо через пространство, способных вызвать ионизацию вещества. Если ионизирующее излучение проходит через вещество, то энергия излучения передается этому веществу по мере образования ионов.

(14) Рекомендации Комиссии, как и в предыдущих докладах, связаны с защитой от ионизирующего излучения. Хотя Комиссия признает важность осуществления соответствующего контроля за источниками неионизирующего излучения, она продолжает считать, что этот вопрос находится вне сферы ее компетенции. Комиссия также осознает, что такое сосредоточение внимания лишь на одной из многих опасностей, стоящих перед человечеством, может вызвать излишнюю тревогу. Поэтому Комиссия хочет подчеркнуть свое мнение, что с ионизирующим излучением следует обращаться скорее с осторожностью, нежели с боязнью, и риск от его воздействия следует оценивать в сравнении с другими видами риска. Доступные методы контроля ионизирующего излучения достаточны для того, чтобы

\* См. примечание на с. 9.

при их правильном использовании убедиться, что оно остается малым компонентом среди многообразных видов риска, которым мы все подвергаемся.

(15) Ионизирующее излучение и радиоактивные вещества всегда были неотъемлемым элементом окружающей нас среды, но поскольку они не воздействуют непосредственно на органы чувств, мы узнали о них лишь в конце XIX столетия. С тех пор мы нашли им множество применений и разработали новые технологические процессы, при которых они создаются либо намеренно, либо в качестве нежелательных побочных продуктов. Первичная задача радиационной безопасности — предусмотреть соответствующие нормативы для защиты человека без неоправданного ограничения полезной деятельности, приводящей к облучению. Такая цель не может быть достигнута на основе одних лишь научных концепций. Те из них, которые связаны с радиационной безопасностью, должны быть основательно подкреплены оценками относительной важности различных видов риска и баланса между риском и пользой. В этом они не отличаются от концепций, используемых в других областях, связанных с контролем опасных факторов.

(16) Комиссия считает, что нормы контроля окружающей среды, необходимые для защиты человека в той мере, которая в данное время признается желательной, обеспечат безопасность и других биологических видов, хотя случайно их отдельным особям может быть причинен вред, но не до такой степени, которая представляла бы опасность для всего вида или нарушала бы баланс между видами. В настоящее время Комиссия рассматривает окружающую человека среду лишь постольку, поскольку через нее переносятся радионуклиды, способные непосредственно влиять на радиационную безопасность человека.

## 2. ВЕЛИЧИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В гл. 2 содержатся упрощенные объяснения основных величин, используемых в радиационной безопасности. Формальные определения и более подробные сведения приведены в Приложении А\*.

### 2.1. ВВЕДЕНИЕ

(17) Исторически величины, используемые для измерения "количества" ионизирующего излучения (в дальнейшем называемого "излучение"), основываются на большом числе актов ионизации,

\* См. приложение на с. 9.

происшедших в конкретной ситуации, или большом количестве энергии, переданной обычно определенной массе вещества. Такие приближения не позволяют учитывать дискретную природу процессов ионизации, но эмпирически оправдываются тем, что макроскопические величины (подобранные для различных видов излучения) прекрасно согласуются с получаемыми биологическими эффектами.

(18) Будущие исследования вполне могут показать, что было бы лучше использовать другие величины, основанные на статистическом распределении актов в малом объеме вещества, соответствующем размерам биологических существ, таких, как ядро клетки или ее молекулярная ДНК. Но пока Комиссия рекомендует применение макроскопических величин. Они известны как дозиметрические величины и наряду с другими приведены в Приложении А\*. Их формальное определение дано Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям (МКРЗ).

(19) До обсуждения дозиметрических величин необходимо предварительно рассмотреть часть сведений о биологических эффектах излучения, приведенных в гл. 3. Процесс ионизации неизбежно вызывает изменения атомов и молекул, по крайней мере временные, и, таким образом, может иногда повредить клетки. Если повреждение произошло и полностью не устранилось, оно может воспрепятствовать выживанию или воспроизводству клетки или же дать в результате жизнеспособную, но измененную клетку. Два указанных исхода облучения клетки имеют существенно разное значение для организма в целом.

(20) Потеря даже многих клеток не влияет на большинство органов и тканей тела, но если число потерянных клеток достаточно велико, то может быть нанесен заметный ущерб, отражающийся в утрате функции ткани. Вероятность нанесения такого ущерба будет равна нулю при малых дозах, но выше некоторого уровня дозы (порога) будет круто возрастать до единицы (100%). Выше порога тяжесть ущерба также будет увеличиваться вместе с дозой. По причинам, объясненным в подразд. 3.4.1, эффекты данного типа, ранее называемые "нестохастическими", теперь называются Комиссией "детерминированными" (deterministic).

(21) Результат будет совершенно другим, если облученная клетка не погибла, а изменилась. Несмотря на существование высокоэффективных защитных механизмов, при репродуцировании измененной, но жизнеспособной соматической клетки после разной продолжительности задержки, называемой латентным периодом, может возникнуть клон клеток, являющийся проявлением злокачественного состояния, т. е. рака. Вероятность возникновения рака в результа-

\* См. примечание на с. 9.

те облучения обычно возрастает с увеличением дозы, по-видимому, без порога и приблизительно пропорционально дозе, по меньшей мере, при дозах, значительно ниже порогов для детерминированных эффектов. Доза не влияет на тяжесть заболевания раком. Эффекты такого типа называются "стохастическими", что говорит об их "случайной или статической природе". Если повреждение возникает в клетке, функция которой заключается в передаче генетической информации последующим поколениям, то любые возникающие в результате эффекты самых различных типов и степени тяжести отражаются на потомстве облученного человека. Стохастические эффекты такого типа называются "наследуемыми" (hereditary).

## 2.2. ОСНОВНЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

(22) основополагающей дозиметрической величиной в радиационной безопасности является поглощенная доза  $D$ . Это поглощенная энергия, приходящаяся на единицу массы вещества. Ее единица джоуль на килограмм имеет специальное наименование грей (Гр). Поглощенная доза определена таким образом, что позволяет отнести ее значение к некоторой точке среды, но в данном докладе она понимается как средняя доза в ткани или в органе, если специально не оговорен другой ее смысл. Использование средней дозы в качестве показателя вероятности последующих стохастических эффектов зависит от линейности соотношения между вероятностью возникновения эффекта и дозой (зависимость доза-эффект) — разумной аппроксимации в ограниченном диапазоне доз. Зависимость доза-эффект нелинейна для детерминированных эффектов, так что средняя поглощенная доза не относится непосредственно к детерминированным эффектам, если только доза в ткани или органе не распределена равномерно.

### 2.2.1. Весовые множители излучения (radiation weighting factors)

(23) Вероятность стохастических эффектов зависит, оказывается, не только от поглощенной дозы, но и от вида и энергии излучения, создающего дозу. Это учитывается путем взвешивания значения поглощенной дозы с помощью множителя, отражающего качество излучения. Раньше весовой множитель связывали с поглощенной дозой в точке и называли коэффициентом качества  $Q$ . Взвешенную поглощенную дозу называли эквивалентом дозы\*  $H$ .

\* Английский термин dose equivalent в документах Госстандарта и в другой отечественной литературе переводился как эквивалентная доза, хотя точный аналог его — эквивалент дозы. Поскольку в Публикации 60 МКРЗ введен новый термин equivalent dose именно для него будет использоваться русский перевод "эквивалентная доза". — Прим. ред.

### 2.2.2. Эквивалентная доза\* (equivalent dose)

(24) Для радиационной безопасности представляет интерес поглощенная доза, усредненная по органу или ткани (а не взятая в точке) и взвешенная по качеству данного излучения. Весовой множитель используемый для этой цели, назван теперь весовым множителем излучения  $w_R$ . Его выбирают для данного вида и энергии излучения, падающего на тело, или – для внутренних источников – излучения, испускаемого источником. Строго говоря, эта взвешенная поглощенная доза именно и есть доза, поэтому Комиссия решила вернуться к прежнему наименованию *эквивалентная доза (equivalent dose)* в ткани или органе и использовать символ  $H_T$ . Изменение наименования служит также указанием на переход от коэффициентов качества к весовым множителям излучения. Эквивалентная доза в T-й ткани выражается соотношением

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R},$$

где  $D_{T,R}$  – поглощенная доза, усредненная по T-й ткани или органу и созданная R-м излучением. Единицей измерения эквивалентной дозы является джоуль на килограмм, и она имеет специальное наименование зиверт (Зв).

(25) Комиссией были выбраны значения весовых множителей излучения, представительные для относительной биологической эффективности малых доз данных излучений при индуцировании ими стохастических эффектов. *Относительная биологическая эффективность (ОБЭ)* одного излучения по сравнению с другим представляет собой отношение, обратное отношению поглощенных доз этих излучений, вызывающих одинаковую степень тяжести данного биологического эффекта. Значения  $w_R$  в широком смысле подобны значениям  $Q$ , которые связаны с величиной линейной передачи энергии (ЛПЭ), мерой плотности ионизации вдоль трека ионизирующей частицы. Первоначально предполагалось, что эта взаимосвязь означает лишь грубое указание на изменение значений  $Q$  с изменением излучения, но ее часто неправильно трактовали как точную. Комиссия надеется, что с весовыми множителями излучения этого не произойдет. Комиссия выбрала значение весового множителя излучения, равное единице, для всех излучений с малой ЛПЭ, включая рентгеновское и  $\gamma$ -излучение любой энергии. Выбор для других видов излучения основан на наблюдаемых значениях относительной биологи-

\* См. примечание на с. 17.

ческой эффективности (ОБЭ) независимо от того, рентгеновское или  $\gamma$ -излучение использовалось при этом в качестве образцового.

(26) Когда поле излучения составлено из различных по виду и энергии излучений с разными  $w_R$ , то поглощенную дозу следует разделить на части, каждую со своим значением  $w_R$ , а затем их сложить для получения полной эквивалентной дозы. Последняя может быть также выражена в виде непрерывного распределения дозы по энергии, в котором каждый элемент поглощенной дозы в диапазоне энергии от  $E$  до  $E + dE$  умножается на соответствующее значение  $w_R$  из табл. 1 или же, как аппроксимация, на соответствующее значение  $w_R$  из непрерывной функции, приведенной в параграфе A12 Приложения A\* и на рис. 1. Обоснование выбора значений для других излучений дано в Приложении A\* (A13). Особую проблему составляют электроны Оже, испущенные ядрами, которые связаны с ДНК, поскольку нереалистично усреднять поглощенную дозу по всей массе

Таблица 1. Весовые множители излучения \*1

Вид излучения и диапазон энергии *2	Весовой множитель излучения $w_R$
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий *3	1
Нейтроны с энергией:	
< 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
> 100 кэВ до 2 МэВ	20
> 2 МэВ до 20 МэВ	10
> 20 МэВ	5
(см. также рис. 1)	
Протоны с энергией > 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
$\alpha$ -Частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

\*1 Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутренних источников – к излучению, испущенному источником.

\*2 Выбор значений для других видов излучения обсуждается в Приложении А (см. примечание на с. 9).

\*3 Кроме электронов Оже, испущенных ядрами, связанными с ДНК (см. § 26).

\* См. примечание на с. 9.

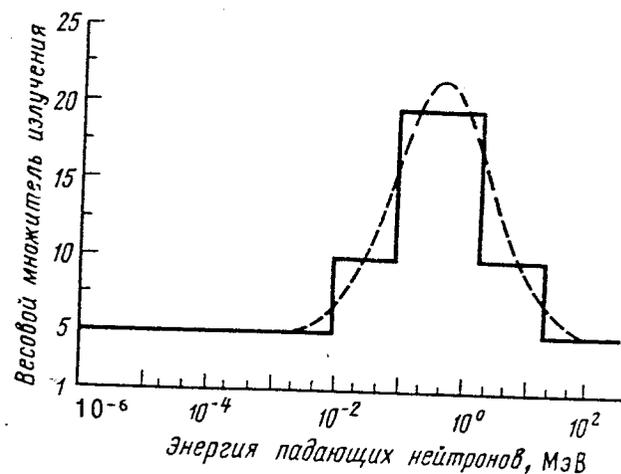


Рис. 1. Весовые множители излучения для нейтронов (необходимо рассматривать как аппроксимацию)

ДНК, как требуется согласно предложенному определению эквивалентной дозы. Эффекты электронов Оже следует оценивать с помощью методов микродозиметрии (см. Приложение Б\*, § Б67).

### 2.2.3. Тканевые весовые множители и эффективная доза (tissue weighting factors and effective dose)

(27) Установлено, что соотношение между вероятностью стохастических эффектов и эквивалентной дозой зависит также от того, какая ткань или какой орган подверглись облучению. Поэтому уместно ввести следующую величину, производную эквивалентной дозы, для определения такого сочетания различных доз в нескольких различных тканях, которое удачно соответствовало бы совокупности стохастических эффектов. Взвешивающий коэффициент эквивалентной дозы в  $T$ -й ткани или органе назван *тканевым весовым множителем*  $w_T$  и представляет относительный вклад данного органа или ткани в полный ущерб из-за стохастических эффектов при тотальном облучении всего тела (см. разд. 3.5). Взвешенная эквивалентная доза (дважды взвешенная поглощенная доза) раньше называлась эффективным эквивалентом дозы\*\*, но это излишне громоздкое наименование, особенно в более сложных сочетаниях, таких, как коллективный ожидаемый эффективный эквивалент до-

\* См. примечание на с. 9.

\*\* См. примечание на с. 17.

Таблица 2. Тканевые весовые множители\*1

Ткань или орган	Тканевой весовой множитель $w_T$	Ткань или орган	Тканевой весовой множитель $w_T$
Половые железы	0,20	Печень	0,05
Красный костный мозг	0,12	Пищевод	0,05
Толстый кишечник	0,12	Щитовидная железа	0,05
Легкие	0,12	Кожа	0,01
Желудок	0,12	Поверхность костей	0,01
Мочевой пузырь	0,05	Остальные органы	0,05*2, *3
Молочные железы	0,05		

\*1 Значения выведены для условного контингента населения с равным числом лиц обоого пола и с широким диапазоном возрастов. При определении эффективной дозы эти значения применимы для персонала, для всего населения и для каждого пола.

\*2 При вычислениях в остальные органы включены следующие дополнительные органы и ткани: верхний отдел толстого кишечника, вилочковая железа, головной мозг, матка, мышцы, надпочечники, поджелудочная железа, почки, селезенка и тонкий кишечник. Перечень включает органы, которые, по-видимому, могут подвергаться избирательному облучению. Известно, что некоторые органы из перечня чувствительны к индуцированию рака. Если впоследствии окажется, что другие ткани и органы также подвержены значительному риску индуцирования заболевания раком, то они будут включены в таблицу со своим значением  $w_T$  или в этот дополнительный перечень, содержащий остальные органы. В него также могут входить другие ткани и органы, облученные избирательно.

\*3 В тех исключительных случаях, когда одна ткань или орган из входящих в перечень остальных органов получает эквивалентную дозу, превышающую наибольшую дозу в любом из 12 органов, для которых указан весовой множитель, этой ткани или органу следует приписывать весовой множитель 0,025, а для средней дозы в остальных органах этого списка использовать также весовой множитель 0,025.

зы. Комиссия решила использовать теперь более простое название *эффективная доза*  $E$ . Введение названия эффективная доза связано с переходом от эквивалента дозы к эквивалентной дозе, но не с изменением числа или значений тканевых весовых множителей. Единица измерения джоуль на килограмм имеет специальное наименование зизерт. Выбор значений тканевых весовых множителей обсуждается в разд. 3.5, а рекомендованные значения приведены в табл. 2.

(28) Эффективная доза — это сумма взвешенных эквивалентных доз во всех тканях и органах тела. Она определяется выражением

$$E = \sum_T w_T H_T,$$

где  $H_T$  — эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , а  $w_T$  — весовой множитель для ткани  $T$ . Можно также представить эффективную дозу

в виде суммы дважды взвешенных поглощенных доз во всех тканях и органах тела.

(29) Желательно, чтобы равномерная по всему телу эквивалентная доза давала эффективную дозу, численно равную этой равномерной эквивалентной дозе. Это достигается нормированием суммы тканевых весовых множителей на единицу. Значения весовых множителей излучения зависят от вида и энергии излучения и не зависят от ткани или органа. Аналогичным образом значения тканевых весовых множителей выбирают независимыми от вида и энергии излучения, падающего на тело. Такие упрощения не более чем приближения к реальной биологической ситуации, но они позволяют опередить поле излучений вне тела в дозиметрических терминах (см. разд. 2.4) без указания органа, подвергающегося воздействию.

(30) Последствия облучения зависят не только от дозы, вида и энергии излучения (связанных с весовым множителем излучения и распределения дозы в теле (связанного с тканевым весовым множителем), но и от распределения дозы по времени (мощности дозы и продолжительности воздействия). В более ранних определениях допускалось введение других весовых множителей, кроме тканевых и весовых множителей излучения. Произведение этих необозначенных множителей называли  $N$ . Можно было привести ряд значений  $N$  в соответствие с любым влиянием временного распределения дозы. На практике этого не пытались сделать, и Комиссия решила отказать от применения коэффициентов  $N$ . Влияние всех условий облучения, кроме связанных с весовыми множителями излучения и тканевыми весовыми множителями, может быть учтено использованием различных значений коэффициентов, связывающих эквивалентную и эффективную дозы с вероятностью возникновения стохастических эффектов, а не введением дополнительных весовых множителей в определения дозиметрических величин.

(31) Значения как весовых множителей излучения, так и тканевых весовых множителей зависят от наших современных знаний в радиобиологии и могут время от времени изменяться. Действительно, в данных рекомендациях приняты новые значения. Хотя такие изменения и не часты, они могут вызвать путаницу. Определения эквивалентной дозы (в отдельной ткани или органе) и эффективной дозы (во всем теле) не связаны жестко с какой-либо конкретной совокупностью значений этих весовых множителей, так что следует быть осторожным, чтобы избежать неоднозначности. Когда Комиссия использует эквивалентную и эффективную дозы, то подразумевается, что они содержат значения весовых множителей излучения и тканевых весовых множителей, рекомендованных Комиссией в соответствующее время. Можно считать аддитивными взвешенные величины, использованные Комиссией, но оцененные в разное время, не

смотря на применение ею различных значений весовых множителей. Комиссия не рекомендует пытаться как-либо исправлять прежние значения. Можно также без какой-либо корректировки складывать значения эквивалента дозы с эквивалентной дозой и значения эффективного эквивалента дозы\* с эффективной дозой. Если используют значения весовых множителей, отличающиеся от рекомендованных Комиссией, этот факт должен быть четко отмечен, и при введении этих величин должны быть указаны их значения. Эти взвешенные величины не следует складывать с величинами, предложенными Комиссией.

(32) И эквивалентная, и эффективная дозы являются величинами, которые предназначены для применения в радиационной безопасности, включая в общем виде и оценку риска. Они обеспечивают основу для оценки вероятности стохастических эффектов только для поглощенной дозы значительно ниже порогов детерминированных эффектов. Для оценки вероятных последствий облучения известной группы людей иногда лучше использовать поглощенную дозу и конкретные данные об относительной биологической эффективности соответствующих излучений, а также коэффициенты вероятности, относящиеся к облученной группе.

### 2.3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

(33) Оказалось полезным иметь несколько вспомогательных дозиметрических величин. После поступления в организм радиоактивного вещества оно в течение некоторого времени формирует с изменяющейся мощностью эквивалентную дозу в тканях тела. Временной интеграл мощности эквивалентной дозы называется полувековой эквивалентной дозой (committed equivalent dose)  $H_T(t)$ , где  $t$  — время интегрирования (в годах) вслед за поступлением. Если  $t$  не указано, то подразумевается, что оно составляет 50 лет для взрослых и от поступления до возраста 70 лет для детей. Аналогичным образом определяется и полувековая эффективная доза  $E(t)$  (committed effective dose). Когда Комиссия упоминает эквивалентную или эффективную дозу, накопленную за данный период времени, подразумевается, что включены все полувековые дозы от поступлений, произошедших за этот период.

(34) Все упомянутые выше дозиметрические величины относятся к облучению отдельного человека. Комиссия использует и другие величины, связанные с облучением групп или популяцией людей. Эти величины учитывают численность населения, подвергшегося облучению от источника путем умножения средней дозы по облу-

\* См. примечания на с. 17.

ченной источником группе людей на число лиц в этой группе. Такими величинами являются *коллективная эквивалентная доза*  $S$ , относящаяся к определенному органу или ткани, и *коллективная эффективная доза*  $S$ . При вовлечении нескольких групп полная коллективная доза представляет сумму коллективных доз для каждой группы. Единицей измерения этих коллективных величин является человек-зиверт. Можно считать, что коллективные величины представляют общие последствия облучения населения или группы, но такое их применение должно быть ограничено случаями, когда последствия действительно пропорциональны дозиметрической величине и численности облученного населения и когда имеются соответствующие коэффициенты вероятности (см. разд. 2.4). При необходимости различить коллективную дозу и дозу у отдельного человека последнюю называют индивидуальной дозой.

(35) Коллективная эффективная доза, создаваемая присутствием радиоактивных веществ в окружающей среде, может накапливаться в течение длительного периода времени, охватывающего последующие поколения людей. Ожидаемая в данной ситуации полная коллективная доза равна интегралу за весь период времени от мощности коллективной эффективной дозы, создаваемой или ожидаемой при единичном выбросе (или в случае продолжительной работы за единичный период деятельности). Если интегрирование проводится не по бесконечному периоду времени, то величину представляют в виде усеченной в определенный момент времени. Если диапазоны индивидуальной дозы или времени велики, то может оказаться полезным разделить коллективные дозы на части, охватывающие более ограниченные диапазоны дозы и времени. При рассмотрении последствий единичного периода практической деятельности иногда удобно различать уже полученную коллективную эффективную дозу и коллективную эффективную дозу, ожидаемую за все время.

(36) Ожидаемая доза (dose commitment)  $H_{c,T}$  или  $E_c$  — это расчетная величина. Она может относиться как к критической группе, так и ко всему населению земного шара. Она определяется как интеграл до бесконечности от мощности дозы на душу населения (per capita dose rate) ( $\dot{H}_T$  или  $\dot{E}$ ), связанной с определенным событием, например единичной практической деятельностью (за год, месяц и т. д.):

$$H_{c,T} = \int_0^{\infty} \dot{H}_T(t) dt,$$

или

$$E_c = \int_0^{\infty} \dot{E}(t) dt.$$

В случае неограниченной во времени практической деятельности с постоянной мощностью максимальная годовая мощность дозы на душу населения ( $\dot{H}_T$  и  $\dot{E}$ ) в будущем для конкретного населения будет равна ожидаемой дозе за год практической деятельности независимо от изменения численности населения. Если практическая деятельность продолжается лишь в течение периода времени  $\tau$ , то максимальная будущая годовая доза на душу населения будет равна соответствующей усеченной ожидаемой дозе, а именно:

$$H_{c,T}(\tau) = \int_0^{\tau} \dot{H}_T(t) dt,$$

или

$$E_c(\tau) = \int_0^{\tau} \dot{E}(t) dt.$$

#### 2.4. ДРУГИЕ ВЕЛИЧИНЫ

(37) В радиационной безопасности нашли специальное применение некоторые другие величины. Одной из них является *активность*  $A$  некоторого количества радионуклида. Активность — это среднее число спонтанных ядерных превращений за единицу времени. Единицей измерения является обратная секунда  $s^{-1}$ , получившая специальное наименование беккерель (Бк).

(38) Существуют также четыре рабочих величины, представляющие особый интерес при измерении полей излучения в целях защиты. Это величины МКРЕ: *амбиентный эквивалент дозы* (ambient dose equivalent)  $H^*(d)$ , *направленный эквивалент дозы* (directional dose equivalent)  $H'(d)$ , *индивидуальный эквивалент дозы проникающего излучения* (individual equivalent dose penetrating)  $H_p(d)$  и *индивидуальный эквивалент дозы поверхностный* (individual equivalent dose, superficial)  $H_s(d)$ . Их определения содержатся в Приложении А\*. Все эти величины основаны на концепции эквивалента дозы (см. параграф 24).

(39) Чтобы связать вероятность стохастических эффектов с дозиметрическими величинами, удобно использовать коэффициент вероятности. Например, коэффициент вероятности смертельного исхода (fatality probability coefficient) представляет собой отношение вероятности того, что приращение дозы может вызвать смерть, к это-

\* См. примечание на с. 9.

му приращению дозы. Упомянутая доза – это обычно эквивалентная доза или эффективная доза. Такие коэффициенты обязательно относятся к конкретному контингенту людей.

(40) В общих формулировках часто полезно использовать универсальные термины, применимые к любым соответствующим дозиметрическим величинам. В качестве такого термина Комиссия использует "дозу" в выражениях типа "предел дозы". Это может быть предел, применимый к эквивалентной или эффективной дозе. Выбор обычно ясен из контекста. Комиссия также использует термин "облучение" в общем смысле для обозначения процесса воздействия излучения или радиоактивного вещества. Облучение в этом смысле определяется создаваемыми им дозами. Маловероятно, чтобы такое применение термина позволило спутать его со специальной величиной – экспозиционной дозой\*, определяемой МКРЕ.

(41) Комиссия использует Международную систему единиц (СИ) и международное соглашение, по которому наименование единиц измерения пишут со строчной начальной буквы. Аббревиатуру единиц измерения также пишут со строчной начальной буквы, за исключением тех случаев, когда наименование единицы образовано из фамилии, например, м и мм для метра и миллиметра, но Зв и мЗв для зиверта и миллизиверта.

### 3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Эта глава является введением в стохастические и детерминированные эффекты ионизирующего излучения. В ней обсуждаются проблемы установления количественной меры ущерба, связанного с воздействием излучения. Более подробно биологические сведения, в том числе данные, относящиеся к радиационному риску, приведены в Приложении Б\*\*. Использование этой информации в качестве основы обеспечения радиационной безопасности обсуждается в Приложении В\*\*.

#### 3.1. ВВЕДЕНИЕ

(42) Как отмечено в гл. 1, цель радиационной безопасности – защита человека от вредного воздействия излучения. В своей работе Комиссия основывает вырабатываемые подходы на самой надежной доступной информации о биологических эффектах излучения и использует ее для получения упрощенной, но адекватной биологи-

\* По-английски *exposure*, что также означает облучение. – Прим. ред.

\*\* См. примечание на с. 9.

ческой основы радиационной безопасности. Таким образом, данная глава и Приложение Б\* посвящены вредным эффектам облучения лишь в той степени, которая необходима для подкрепления подобного подхода. Для ясности изложения необходимо провести различия между четырьмя терминами: изменение, повреждение, вред (*harm*) и ущерб (*detriment*). Изменения могут быть вредными, а могут и не быть. Повреждение представляет некоторую степень вредных изменений, например в клетках, но оно не обязательно вредно для облученного индивидуума. Вред – понятие, используемое для обозначения клинически наблюдаемых вредных эффектов, которые проявляются у индивидуумов (соматические эффекты) и их потомков (наследуемые эффекты). Ущерб – это сложное понятие, сочетающее вероятность, степень тяжести эффекта и время его проявления. Его трудно представить с помощью одной единственной переменной величины. Это понятие обсуждается в разд. 3.3.

(43) Ранее термин "риск" использовался Комиссией для обозначения вероятности определенного вредного результата, но он также широко используется в других случаях в качестве произведения вероятности и степени тяжести события и, в более общем смысле, в чисто описательных целях. В настоящее время Комиссия использует термин "риск" только описательно и в установившихся выражениях типа "оценка риска" или "чрезмерный относительный риск". Она также использует термин "вероятность" в его собственном значении. Аспекты терминов "вероятность" и "риск" подробно обсуждаются в Приложениях Б\* и В\*.

#### 3.2. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(44) Часть этого материала предварительно рассмотрена в разд. 2.1, а здесь обсуждается более подробно. В процессе ионизации атомы неизбежно изменяются, по крайней мере, временно, и таким образом может измениться структура молекул, в состав которых они входят. Изменения молекул могут быть также вызваны возбуждением атомов и молекул, если энергия возбуждения превышает энергию связи между атомами. Около половины энергии, переданной ткани ионизирующим излучением, связано с возбуждением, но оно имеет меньше последствий, чем ионизация, и в дальнейшем не рассматривается отдельно. Если молекулы, подвергшиеся воздействию, находятся в живой клетке, то она сама в некоторых случаях может быть повреждена либо непосредственно, если молекула критична для выполнения функции клетки, либо косвенно через химические изме-

\* См. примечание на с. 9.

нения в молекулах, соседних критичной молекуле, например при образовании свободных радикалов. Среди разнообразных форм повреждения, которые излучение может вызвать в клетках, наиболее важной является повреждение ДНК. Повреждение ДНК может нарушить существование или воспроизведение клетки, но повреждение часто устраняется самой клеткой. Если восстановление не является полным, то может появиться жизнеспособная, но измененная клетка. На появление и размножение измененной клетки могут повлиять другие изменения в клетке, возникающие как до воздействия излучения, так и после него. Такие влияния обычны и могут включать воздействие других канцерогенов и мутагенов.

(45) Если значительное число клеток органа или ткани погибли или неспособно к воспроизведению и нормальному функционированию, то может быть потеряна функция органа — эффект, в настоящее время называемый Комиссией "детерминированным". Потеря функции становится все более серьезной по мере увеличения числа подвергшихся воздействию клеток. Более подробное описание приведено в подразд. 3.4.1. Измененная соматическая клетка может сохранить способность к воспроизведению и положить начало росту клона измененных клеток, приводящих в некоторых случаях к раку. Измененная половая клетка в половых железах, наделенная функцией передачи генетической информации потомкам облученного индивидуума, может передать неправильную наследственную информацию и причинить тяжелый вред некоторым потомкам. Эти соматические и наследуемые эффекты, возникающие из одной измененной клетки, называются стохастическими эффектами. Они обсуждаются в подразд. 3.4.2 и 3.4.3. Из-за сложности процессов превращения зародыша в эмбрион и плод удобнее обсуждать детерминированные и стохастические эффекты облучения ребенка до рождения в отдельном подразделе (см. подразд. 3.4.4).

(46) Существуют экспериментальные доказательства того, что излучение может действовать в качестве стимулятора многочисленных функций клетки, включая размножение и восстановление. Такая стимуляция не всегда полезна. При некоторых обстоятельствах излучение, по-видимому, повышает иммунологическую чувствительность и изменяет равновесие гормонов в теле. В частности, излучение способно стимулировать восстановление от предыдущего радиационного повреждения, ослабляя таким образом его последствия, или улучшить систему иммунного контроля, усиливая естественные защитные механизмы организма. Большинство экспериментальных данных о таких эффектах, называемых в настоящее время "гормезисом", были неубедительны, в основном, вследствие статистических трудностей, возникающих при малых дозах. Более того, многие из них относятся к биологическим эффектам, не связанным с раком

или наследуемыми эффектами. Имеющиеся данные по гормезису недостаточны для того, чтобы учитывать его в радиационной безопасности.

### 3.3. ПОНЯТИЕ УЩЕРБА

(47) В Публикации 26 (1977 г.) Комиссия ввела понятие ущерба как меры полного вреда, который в конечном счете может быть причинен группе людей и их потомству в результате воздействия источника излучения. Ущерб здоровью включен как часть полного ущерба. На практике Комиссия использует только ущерб здоровью и рекомендует вводить отдельно допущение о других формах ущерба, когда используются методы принятия решения, например при исследованиях по оптимизации. В данном докладе Комиссия использует понятие ущерба только в смысле ущерба здоровью.

(48) В определении ущерба в Публикации 26 Комиссия использовала ожидаемое число случаев вызванного излучением воздействия на здоровье, взвешенное с помощью множителя, определяющего степень тяжести эффекта. Это была ожидаемая величина (более точно называемая математическим ожиданием) взвешенного числа эффектов вреда для здоровья, проявляющихся в данной группе. Весовой множитель принимался равным единице для случаев смерти индивидуумов и для тяжелых наследуемых эффектов у их потомков. Для других, менее тяжелых эффектов применяли меньшие весовые множители, но они не были определены. В отношении индивидуума ущерб можно было бы также выразить в виде произведения вероятности вредного эффекта и степени тяжести этого эффекта. Если степень тяжести наиболее тяжелых эффектов нормирована к единице и если значения всех указанных произведений малы, то можно суммировать эти произведения для различных результатов облучения одного индивидуума с целью определить полный ущерб, причиненный этому индивидууму. При такой концепции ущерба подразумевается, что соответствующие дозы малы, значительно меньше порогов для детерминированных эффектов.

(49) Такой подход к понятию ущерба оказался полезным, но, в известном смысле, слишком узким. В настоящее время Комиссия считает необходимым применить более широкий подход. Задача состоит еще в том, чтобы найти пути для количественного выражения комбинации вероятности изменения состояния здоровья и степени тяжести этого эффекта. В идеале следовало бы представить ущерб в виде экстенсивной величины, т. е. такой, которая позволяет к ущербу группы добавлять как дополнительные облучения отдельных лиц, так и новых лиц, присоединяющихся к этой группе. Это требование нельзя удовлетворить полностью, по крайней мере, по

отношению к отдельному индивидууму, так как одни последствия облучения являются взаимоисключающими, а другие нет. Смерть в результате одного облучения исключает возможность смерти от другого, тогда как несмертельные состояния могут возникнуть одновременно или последовательно. Разнообразие возможных исходов является второй проблемой, поскольку при представлении ущерба вероятность и степень тяжести могут сочетаться самым различным образом.

(50) Понятие ущерба необходимо Комиссии для нескольких целей. Первая – оценить последствия непрерывного или кумулятивного облучения, чтобы рекомендовать пределы дозы. Вторая – сравнить последствия облучения с различными распределениями эквивалентной дозы по телу, что позволит выбрать некоторые тканевые весовые множители. Третья состоит в том, чтобы получить основу для определения стоимости единицы эффективной дозы, например, для использования ее в целях оптимизации защиты при какой-то практической деятельности. Эти цели обсуждаются в гл. 4.

(51) Комиссия пришла к заключению, что многие стороны понятия ущерба и области его применения делают нежелательным выбор какого-то одного подхода. Поэтому Комиссия перешла от своей предыдущей концепции ущерба к многомерной концепции. Рекомендуя пределы дозы, ущерб от облучения выражали различными способами. Этот подход рассматривается в гл. 5 и более подробно в Приложениях Б\* и В\*. Предприняли лишь одну ограниченную попытку соединить с этой целью разные стороны понятия в одной величине, названной в Публикации 45 (1985 г.) унифицированным показателем вреда. Но при выборе тканевых весовых множителей предпочли агрегативный метод, поскольку эти множители используют только лишь для того, чтобы подогнать друг к другу различную чувствительность тканей и органов. Так как случаи облучения только одной ткани или органа редки, за исключением легких и, пожалуй, щитовидной железы и кожи, выбор тканевых весовых множителей не слишком чувствителен к процедуре соединения различных сторон понятия ущерба. Подробности приведены в разд. 3.5 и в Приложении Б\*.

#### 3.4. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ

(52) Для разработки системы радиационной безопасности необходимо знать, как количественно изменяются с дозой вероятность стохастических эффектов и степень тяжести детерминированных эффектов. Наиболее подходящий источник информации – это сведения, полученные непосредственно при исследованиях результатов воз-

\* См. примечание на с. 9.

действия излучения на человека. Кроме того, много сведений о механизмах повреждения и о взаимосвязи между дозой и вредными эффектами у человека можно почерпнуть из исследований на млекопитающих, изолированных клетках, выращенных in vitro, и на животных. К сожалению, очень мало, если вообще хоть сколько-нибудь сведений можно непосредственно применить в радиационной безопасности – все они требуют серьезной интерпретации. Выводы Комиссии по биологической информации, необходимые для радиационной безопасности, в максимально возможной степени основываются на данных о радиационных эффектах у человека; остальные сведения использовали лишь для их подкрепления.

(53) Данные о детерминированных эффектах у человека поступают со сведениями о побочных эффектах при радиотерапии, об эффектах у работавших ранее радиологов, об эффектах атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки в Японии и о последствиях тяжелых аварий, одни из которых связаны с атомной промышленностью, а другие – с радиографическими источниками. В настоящее время основными источниками сведений о стохастических эффектах являются эпидемиологические исследования людей, переживших атаки с применением ядерного оружия в Хиросиме и Нагасаки; пациентов, подвергшихся воздействию излучения при лечении или диагностике, и некоторых групп лиц, подвергшихся воздействию излучения или радиоактивных веществ во время работы. Исследования такого рода очень сложны и занимают много времени; сама Комиссия их не проводит. С помощью своих комитетов Комиссия изучает опубликованные отчеты об исследованиях и любые обзоры, сделанные национальными или международными органами, а затем делает выводы, отвечающие потребностям радиационной безопасности.

#### 3.4.1. Детерминированные эффекты (deterministic effects)

(54) Во многих органах и тканях тела идет непрерывный процесс потери и замены клеток. Возрастание частоты потерь, например, после облучения может компенсироваться повышением скорости замены, но может возникнуть и временное, а иногда постоянное снижение числа клеток, способных поддерживать функцию органа или ткани. На многие органы и ткани небольшое уменьшение числа подобных клеток не влияет, но если оно достаточно велико, возникнут наблюдаемые клинически патологические состояния, такие, например, как потеря функции ткани или следующая за ней реакция, когда организм пытается восстановиться от повреждения. Если ткань жизненно важна и существенно повреждена, то конечным результатом может быть смерть. Если некоторые лица в облученной груп-

не уже находятся в состоянии, близком к патологическому, они достигнут этого состояния в результате облучения после меньшей потери клеток, чем обычно необходимо. Для здоровых индивидуумов вероятность причинить вред будет равна нулю при дозах до нескольких сотен, а иногда и тысяч миллизиверт в зависимости от конкретной ткани и будет резко возрастать до единицы (100%) выше некоторого уровня, называемого порогом или, более строго, порогом клинического эффекта. График зависимости вероятности вреда от дозы в линейных координатах представляет собой сигмоидную кривую. Выше соответствующего порога степень тяжести вреда будет возрастать с дозой, отражая увеличение числа поврежденных клеток, а также обычно и с мощностью дозы, поскольку протяженное облучение будет растягивать во времени повреждение клеток, позволяя более эффективно восстанавливаться и клеткам, и их численности. Этот тип эффекта облучения, характеризующийся возрастанием степени тяжести с дозой выше некоторого клинического порога, называли ранее "нестохастическим". Хотя первоначальные изменения клеток носят случайный характер, большое число клеток участвующих в появлении наблюдаемого клинически нестохастического эффекта, дает эффект детерминированного характера. Поэтому Комиссия называет теперь такие эффекты "детерминированными" (deterministic).

(55) Наряду с потерями функциональных клеток органа или ткани могут быть повреждены обслуживающие ткань кровеносные сосуды, что приведет к вторичному повреждению ткани. Также может возникнуть частичное замещение функциональных клеток фиброзной тканью, вызывающее ослабление функции органа. Клинические проявления определяются специфической функцией облученной ткани. Например, может возникнуть помутнение хрусталика глаза, что иногда приводит к ухудшению зрения (катаракта). После облучения половых желез может возникнуть временная или постоянная потеря воспроизводительной функции.

(56) Некоторые из детерминированных эффектов являются функциональными и могут быть обратимы при условии, что повреждение не слишком тяжелое. К примерам функциональных эффектов относятся уменьшение секреции желез (например, щитовидной или слюнных желез); неврологические эффекты (например, изменения в электроэнцефалограммах или ретинограммах); сосудистые реакции (например, ранняя эритема или подкожный отек).

(57) Эквивалентная доза не всегда является подходящей величиной для использования в случае детерминированных эффектов, поскольку значения весовых множителей излучения были выбраны такими, чтобы они отражали относительную биологическую эффективность (ОБЭ) излучения различных видов и энергии при получе-

нии стохастических эффектов. Но для излучения с весовым множителем больше единицы значения ОБЭ для детерминированных эффектов меньше, чем для стохастических. Поэтому использование эквивалентной дозы для прогнозирования детерминированных эффектов излучения с большой ЛПЭ, например, нейтронов может привести к преувеличенным оценкам.

(58) Данные для излучений с малой ЛПЭ указывают на широкий диапазон чувствительности различных тканей. Можно, однако, прийти к выводу, что лишь в немногих тканях возникают клинически значимые повреждения после однократного (т. е. острого) воздействия с поглощенной дозой меньше нескольких грей. Для облучения, растянутого на годы, в большинстве тканей маловероятно появление тяжелых эффектов при дозах меньше около 0,5 Гр в год. Но половые железы, хрусталики глаз и красный костный мозг более чувствительны.

(59) Порог для временной стерильности мужчины при однократном облучении семенников составляет около 0,15 Гр. В условиях протяженного облучения порог мощности дозы составляет около 0,4 Гр · год<sup>-1</sup>. Соответствующие значения для постоянной стерильности составляют от около 3,5 до 6 Гр и 2 Гр · год<sup>-1</sup>. Порог для постоянной стерильности женщины при остром облучении составляет от примерно 2,5 до 6 Гр, причем с возрастом женщины чувствительность увеличивается. При протяженном облучении в течение многих лет пороговая мощность дозы превышает 0,2 Гр · год<sup>-1</sup> (см. Приложение Б\*, табл. Б-1).

(60) Порог для помутнения хрусталика, достаточного для ослабления зрения, лежит, по-видимому, в диапазоне 2-10 Гр при остром воздействии излучения с малой ЛПЭ. Для излучения с большой ЛПЭ пороги поглощенной дозы в 2-3 раза ниже. Значительно хуже известен порог для мощности дозы при хроническом облучении, но считается, что для многолетнего облучения он несколько выше 0,15 Гр · год<sup>-1</sup> (см. Приложение Б\*, табл. Б-1).

(61) Клинически значимое подавление кроветворения при остром облучении наблюдается с порогом 0,15 Гр поглощенной дозы во всем красном костном мозге. Порог для мощности дозы протяженного облучения в течение многих лет превышает 0,4 Гр · год<sup>-1</sup>. При остром равномерном облучении однородной группы людей без высококачественного медицинского обслуживания ЛД<sub>50</sub> за 60 сут наблюдения костномозгового синдрома составляет примерно 3-5 Гр (см. Приложение Б\*, табл. Б-2).

\* См. примечание на с. 9.

### 3.4.2. Стохастические эффекты у облученных индивидуумов

(62) Реакция организма на развитие клона измененных соматических клеток сложна. Начальное развитие такого клона может быть подавлено до тех пор, пока ему не поспособствует какой-либо дополнительный стимул, а любой выживший клон будет с большой вероятностью уничтожен или изолирован защитными механизмами организма. Но если этого не произошло, то после продолжительной задержки различной длительности, называемой латентным периодом, может развиться злокачественное состояние, при котором размножение измененных клеток становится неконтролируемым. Клетки в таком состоянии обычно группируются и называются раком. Виды раков, вызванных излучением с участием других агентов или без него, неотличимы от видов раков, возникающих от других причин. Похоже, что защитные механизмы не абсолютно эффективны даже при малых дозах, так что они, по-видимому, не приводят к появлению порога в зависимости доза-эффект. Вероятность появления рака, вызванного излучением, по крайней мере отчасти будет зависеть от числа возникших первоначально клонов измененных клеток, так как их число будет влиять на вероятность выживания по меньшей мере одного клона. Поэтому на вероятность злокачественного перерождения влияет доза, в то время как на степень тяжести определенного рака — лишь его вид и локализация. Процесс, вероятно, имеет случайный характер, хотя вследствие генетических и физиологических особенностей люди могут несколько различаться по чувствительности к вызываемому облучением раку. Некоторые индивидуумы с редкими генетическими болезнями могут быть значительно чувствительнее, чем средний индивидуум. По-видимому, никакие другие стохастические эффекты, кроме рака (и доброкачественных опухолей в некоторых органах), не возникают у облученных людей. В частности, показано, что любое сокращение продолжительности жизни у облученных в малых дозах групп людей и экспериментальных животных связано с избыточной смертностью от вызванного излучением рака.

(63) Ежегодно в общей массе ДНК, содержащейся в человеческом организме, образуются миллионы пар ионов вследствие облучения тела естественными источниками излучения. Однако не более одной смерти из четырех связано с раком, а излучение ответственно лишь за малую часть. Совершенно ясно, что процесс перехода от образования в ДНК одной пары ионов до возникновения рака завершается очень редко.

(64) Нельзя делать прямолинейные выводы о причине стохастических эффектов, поскольку эпидемиологические исследования не

могут предоставить точную информацию, которая необходима. Они могут вызывать лишь статистические ассоциации, которые, однако, усиливаются, если показывают четкую зависимость от дозы и подтверждаются соответствующими экспериментальными результатами. Данные по жителям Японии согласованы и обширны, но относятся к исследуемой группе, из которой 60% в настоящее время живы, поэтому полное число ожидаемых стохастических эффектов еще должно быть оценено. Более того, основная часть появившихся до сих пор раков характерна для людей, которым в момент облучения было меньше 20 лет и для которых приписанная пожизненная вероятность смерти на единицу дозы, по-видимому, больше, чем для лиц более старшего возраста. Хотя исследуемая группа велика (около 80 000 человек), избыточное число злокачественных новообразований, статистически значимое на уровне 95%, можно обнаружить лишь при дозах, превышающих 0,2 Зв. На более низком уровне значимости превышение можно найти при дозах порядка 0,05 Зв. Кроме того, следует иметь в виду, что все дозы у изучаемой группы японцев получены при очень большой мощности дозы, в то время как для радиационной безопасности необходимы сведения как об острых, так и о протяженных облучениях, почти всегда при очень малой мощности дозы. И все же исследования этой группы имеют преимущества перед другими исследованиями. Группа включает лиц обоего пола и всех возрастов, облучена в очень широком диапазоне доз — от несущественных до смертельных и распределена сравнительно равномерно по телу облученных людей.

(65) Исследования на пациентах также связаны с некоторыми проблемами. В частности, облучения изначально неоднородны, отбор пациентов по медицинским показаниям иногда затрудняет выбор сопоставимых контрольных групп, и пациенты не могут быть представительной группой всего населения. Тем не менее эти группы лиц также являются источником сведений и служат предметом важных исследований.

(66) Исследования работающих, которые до сих пор дают существенные результаты, связаны с людьми, работавшими с  $^{226}\text{Ra}$  в первые десятилетия XX в., и с теми, кто вдыхал радон и его дочерние продукты при работах в середине этого столетия в рудниках, главным образом в урановых. В обоих случаях имелись трудности в оценке поступления в организм радиоактивных веществ. Кроме того, горняки урановых шахт могли подвергаться воздействию других канцерогенов. Облучение было протяженным, а дозы локализовались в тканях костей и легких и формировались в основном  $\alpha$ -частицами. Сравнить их с эффектами от  $\gamma$ -излучения непросто. Исследования на первых радиологах обнаруживают некоторые стохастические эффекты, но восстановить дозы нелегко, и количественные

оценки риска невозможны. Исследования других групп работающих, например, в атомных лабораториях США или Великобритании дают оценки риска с очень широкими доверительными интервалами. Приведенные в данной Публикации номинальные коэффициенты вероятности смерти включают и их диапазон оценок.

(67) Время, от времени в литературе появляются многочисленные сообщения об облучении населения в малых дозах. Комиссия тщательно изучает эти данные. Одни связаны с облучением радиоактивными источниками, например от выпадения радиоактивных осадков, другие — с облучением военных при испытаниях оружия, а третьи — с окружающей средой вокруг атомных предприятий. Остальные данные включают сведения об облучении эмбриона при диагностике рентгеновским излучением групп людей, при медицинских процедурах, а также популяций, живущих в районах с относительно высоким уровнем естественного фона излучения, включая районы в Индии, Бразилии, шт. Колорадо в США и в Китае. Такие исследования при малых дозах позволяют избежать применения коэффициентов перехода от данных, полученных при большой мощности дозы, к результатам облучения с малой мощностью дозы, т. е. коэффициента DDREF (см. § 74). В то же время эти исследования страдают от одной или более методологических трудностей, из которых необходимо выделить малый размер выборки, отсутствие адекватного контроля, посторонние эффекты, не связанные с излучением, неадекватную дозиметрию и сопутствующие социальные факторы. Существует также тенденция сообщать о "позитивных" находках и замалчивать негативные исследования. В целом исследования при небольших дозах, потенциально очень важные для проблемы радиационной безопасности, мало что дали для количественных оценок риска.

(68) Если существует вероятность того, что некоторые виды рака могут возникнуть из-за повреждения одной единственной клетки, то реальный порог в зависимости доза-эффект для этих видов рака будет существовать лишь в случае, если защитные механизмы будут полностью эффективны при малых дозах. Баланс поражения и восстановления клетки и существование механизмов последующей защиты могут влиять на форму этой зависимости, но маловероятно, что они приведут к реальному порогу.

(69) При небольших добавках дозы к фоновому излучению вероятность вызвать дополнительно рак, естественно, мала, и ожидаемое число случаев, которые можно приписать добавке дозы у облучаемой группы людей, может быть меньше единицы даже в большой группе. Поэтому почти очевидно, что дополнительных случаев не будет, но это не доказательство существования реального порога.

(70) Почти во всех случаях, кроме аварий и лечения пациентов, эквивалентная доза у индивидуумов накапливается в течение дли-

тельного периода времени и при годовой мощности, которая не добавляет много к дозе на все тело от естественных источников. Обычно годовая добавка от искусственных источников составляет от небольшой доли до десятков значений годовой дозы, создаваемой естественными источниками. Легкие являются особым случаем, поскольку эквивалентная доза от дочерних продуктов радона очень переменна и в некоторых случаях в несколько тысяч раз больше эквивалентной дозы от естественных источников на другие части тела.

(71) Присутствие доз от естественных источников излучения во всех частях тела снижает важность формы зависимости доза-эффект при дозах, близких к нулю. Малые дозы всегда добавляются к дозе от естественного фона. Для умеренных добавок к фоновому излучению линейная зависимость между добавленной дозой и дополнительной вероятностью возникновения вредного эффекта будет адекватной аппроксимацией, каков бы ни был истинный вид соотношения между эквивалентной дозой и вероятностью стохастических эффектов. Но даже в этом случае еще имеет значение вид такого соотношения, поскольку он может изменить оценки наклона зависимости для приращения дозы.

(72) Наиболее простой зависимостью между приращением эквивалентной дозы и получающимся из-за этого приращением вероятности определенного стохастического эффекта является прямая, проходящая через начало координат. Эпидемиологические данные по людям недостаточно точны для подтверждения или исключения такой зависимости. Но почти все данные о стохастических изменениях в клетках *in vitro* и в простых биологических организмах, таких, как традесканция, а также об индукции многих опухолей у животных свидетельствуют о криволинейных зависимостях доза-эффект для излучений с малой линейной передачей энергии (ЛПЭ), причем их наклон при малых дозах меньше, чем при больших дозах. В этом контексте малые дозы (и малые мощности дозы) соответствуют условиям, при которых крайне маловероятно, что произойдет более одного акта ионизации в критических участках клетки за время, в течение которого в клетке действуют восстановительные механизмы. В таких условиях зависимость доза-эффект будет линейной. При больших дозах и мощности дозы могут комбинироваться два акта или более, вызывая повышенный эффект, который проявляется в квадратичном члене зависимости доза-эффект. При еще больших дозах, когда становится важной гибель клеток, наклон кривой снова уменьшается. Результаты для излучений с большой ЛПЭ обычно ближе к прямолинейным в диапазоне доз меньше тех, которые приводят к заметной гибели клеток. Однако некоторые исследования на клетках *in vitro* свидетельствуют об увеличении наклона в этом диапазоне при малых дозах.

(73) Другими словами, для излучений с малой ЛПЭ наиболее характерной формой зависимости между эквивалентной дозой в органе и вероятностью возникающего рака является начальная пропорциональная зависимость при малых значениях эквивалентной дозы с последующим более крутым нарастанием (наклоном), которое можно представить квадратичным членом, и в завершение наклона уменьшается из-за гибели клеток. Соответствующих оснований для предположений о реальном пороге в этой зависимости не имеется. Хотя данная форма зависимости и типична, она вовсе не является определяющей для всех видов рака у человека. Вместе с линейно-аппроксимацией для приращений дозы выше доз, обусловленных естественным фоном, она обеспечивает приемлемую основу для использования Комиссией пропорциональной зависимости при всех уровнях эквивалентной и эффективной доз, меньших пределов дозы, рекомендуемых в этой Публикации.

(74) Комиссия пришла к выводу, что для задач радиационно-безопасности имеется достаточно доказательств, оправдывающих принятое ею допущение о нелинейности при использовании данных для излучения с малой ЛПЭ при больших дозах и больших мощностях дозы с целью оценить вероятность эффектов при малых дозах и малых мощностях дозы. На основе обсуждений, приведенных в Приложении Б\*, Комиссия решила уменьшить в 2 раза коэффициенты вероятности, полученные непосредственно из наблюдений при больших дозах и мощностях дозы, исправленных при необходимости с учетом допущения об эффектах гибели клеток. Имеется большой разброс данных, и Комиссия сознает, что выбор этого значения до некоторой степени произволен и, возможно, консервативен. Подобный коэффициент не используется при интерпретации данных для излучения с большой ЛПЭ. Этот уменьшающий коэффициент назван Комиссией коэффициентом, учитывающим эффективность дозы и мощности дозы DDREF (Dose and Dose Rate Effectiveness Factor). Он включен в коэффициенты вероятности для всех эквивалентных доз, полученных из поглощенных доз меньше 0,2 Гр и из больших поглощенных доз при мощности дозы меньше 0,1 Гр · ч<sup>-1</sup>.

(75) Другая основная сложность в интерпретации данных по человеку состоит в оценке числа стохастических эффектов, которые еще не появились в исследуемой группе людей. Для некоторых видов рака это сделать нетрудно, поскольку частота возникновения новых случаев рака в настоящее время убывает или уже близка к ожидаемой частоте в соответствующей контрольной группе людей. Это справедливо для больных лейкемией, наблюдаемой у выживших японцев и у британских больных спондилитом, и раком костей сре-

\* См. примечание на с. 9.

ди пациентов, которым вводили <sup>224</sup>Ra. Для всех других видов рака частота выявления еще остается повышенной, а согласно исследованиям японцев даже возрастает в основном в результате избыточной смертности лиц, облученных в детстве.

(76) Для большинства видов рака избыточная смертность после начального периода отсутствия риска или очень малого риска, который называется минимальным латентным периодом, имеет, по-видимому, то же распределение во времени, что и естественная смертность от рака того же вида. Если такая картина продолжается в течение всей жизни, а это несомненно так, то между естественной смертностью от рака и избытком, вызванным излучением, в течение всего времени после минимального латентного периода будет наблюдаться просто пропорциональная зависимость. Такая модель экстраполяции, мультипликативная модель риска (multiplicative risk projection model), по-видимому, слишком упрощена даже для облучения взрослых. Данные японских исследователей свидетельствуют о том, что ни она, ни аддитивная модель риска (см. ниже) не отображают адекватным образом распределение смертности после облучения маленьких детей. Такая модель не обязательно должна отражать мультипликативный биологический процесс, она может быть лишь удобным описанием пути, по которому приписанная вероятность рака изменяется со временем, прошедшим после облучения.

(77) Альтернативная модель экстраполяции, аддитивная модель риска (additive risk projection model) основывается на положении, что избыточная смертность, вообще говоря, не зависит от обычной смертности. После начального минимального латентного периода частота случаев смерти в течение нескольких лет после облучения возрастает, а затем остается довольно постоянной или убывает, как при лейкемии или раке костей. С учетом современных коэффициентов вероятности эта модель предсказывает полную конечную вероятность смерти, составляющую около половины значений, прогнозируемых моделью мультипликативного риска. Она предсказывает также больше потерянных лет жизни на приписанную смерть. Но ее уже не считают согласующейся с большинством эпидемиологических наблюдений.

(78) Вследствие ненадежной регистрации случаев возникновения рака по сравнению со смертностью от него большинство данных об облученных группах людей выражают через избыточную смертность от рака, обусловленную облучением. Но само по себе появление рака, даже несмертельного, также важно, и Комиссия учитывает его по наблюдаемой в настоящее время частоте излечения от основных видов рака. В общем смысле Комиссии нужна более широкая основа для выражения вреда, ожидаемого в облученной группе людей,

и поэтому она использует понятие ущерба, рассматриваемое в разд. 3.3. Наследуемые эффекты обсуждаются в подразд. 3.4.3.

(79) Все эти затруднения приводят к неопределенности в оценке риска возникновения рака от облучения. По этой причине и в связи с тем, что Комиссия оценивает риски для представительных групп людей с конкретными условиями облучения, она называет оцененную вероятность смертельных случаев рака на единицу эффективно дозу номинальным коэффициентом вероятности смерти (nominal fatality probability coefficient). Коэффициент может применяться при малых дозах и малых мощностях дозы (см. § 74). Выводя значения номинального коэффициента вероятности, Комиссия первоначально использовала вероятность вызвать появление смертельного рака без каких-либо допущений об уменьшении этой вероятности из-за конкурирующих причин смерти. Если использовать мультипликативную, а не аддитивную модель риска, то эта поправка существенно Она принята Комиссией в настоящее время при выводе всех значений коэффициентов вероятности. Как будет обсуждено в гл. 5, для целей защиты весьма желательно использовать одни и те же номинальные коэффициенты и для мужчин, и для женщин, и для представительных групп людей в широком интервале возрастов. Хотя существуют различия между полами и между группами людей с разной возраст-специфичной частотой смерти, они не настолько велики, чтобы Комиссии пришлось использовать разные номинальные коэффициенты вероятности. Но все же вводится небольшое различие в номинальных коэффициентах вероятности для работающих и для всего населения. Хотя оно и невелико, но, по-видимому, существует, поскольку в принципе должно появляться из-за того, что население включает в себя более чувствительные группы лиц младшего возраста.

(80) Обзор доступных данных приведен в Приложении Б\*. Выбирая значения номинальных коэффициентов вероятности. Комиссия была вынуждена учесть широкий разброс мнений. Так как данные из Японии получены для большой популяции людей всех возрастов и обоего пола и поскольку дозы были довольно равномерно распределены по всему телу, эти данные принимались в качестве основного источника информации. Интерпретация данных об облученных пациентах со спондилитом приводит к более низкой оценке головной вероятности возникновения смертельного рака на единицу дозы — примерно в 2 раза. Более низкие оценки также могут быть получены на основании исследования пациенток, лечившихся по поводу рака шейки матки, хотя дозы при этом распределялись весьма неравномер-

\* См. примечание на с. 9.

о. Эти результаты подтверждают точку зрения Комиссии, что переоценка риска на основе данных по Хиросиме и Нагасаки маловероятна.

(81) Комиссия также выбрала модель риска. Для лейкемии выбор модели не имеет большого значения, так как, по-видимому, почти все смерти от лейкемии уже наблюдались. Используемое Комиссией сочетание моделей отдает предпочтение мультипликативной модели для всех видов, кроме лейкемии, с пониманием того, что это может привести к завышенной вероятности случаев возникновения рака у старших возрастов, так как коэффициент умножения может не сохраняться постоянным на протяжении всей жизни. Влияние конкурирующих причин смерти снижает важность любой подобной ошибки.

(82) Наконец, Комиссия приняла решение, как перенести выводы, полученные на послевоенной популяции японцев, на другие популяции. Для этого снова можно использовать две модели. Ту же абсолютную частоту смерти на единицу дозы можно применить к другим популяциям, либо для перехода можно пропорционально увеличить по очереди частоту смерти от каждого вида рака. В любом случае, чтобы учесть конкурирующие причины смерти, нужно использовать картину смерти, характерную для новой популяции. Для разумного представления типичной популяции Комиссия усреднила результаты по пяти популяциям. В настоящее время нет адекватной основы для выбора одной из двух моделей переноса, и Комиссия усредняет результаты двух методов.

(83) Данные Приложения Б\*, относящиеся к большим дозам и к большим мощностям дозы излучений с малой ЛПЭ, показывают, что для стандартной группы людей обоего пола и трудоспособного возраста значение коэффициента вероятности смерти за всю жизнь от суммы всех злокачественных заболеваний составляет приблизительно  $8 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ . В сочетании со значением DDREF, равным 2, получается номинальный коэффициент вероятности для работающих  $4 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ . Для всей популяции, включая детей, соответствующие значения составляют около  $10 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$  при больших дозах и мощностях дозы и  $5 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$  при малых дозах и мощностях дозы (табл. 3). Как правило, мультипликативная модель приводит в среднем к 13–15 годам потерянной жизни на каждую приписанную смерть от рака. При аддитивной модели соответствующее число составляет около 20 лет.

(84) Существуют обширные данные о взаимосвязи между вероятностью рака костей и содержанием радия у работающих в прежние годы с люминофорами в промышленности, между вероятностью рака

\* См. примечание на с. 9.

Таблица 3. Номинальные коэффициенты вероятности стохастических эффектов

Облученный контингент	Смертельные случаи рака*2	Ущерб*1, 10 <sup>-2</sup> Зв <sup>-1</sup>		
		Несмертельные случаи рака	Тяжелые наследуемые эффекты	Суммарный эффект
Взрослые работающие	4,0	0,8	0,8	5,6
Все население	5,0	1,0	1,3	7,3

\*1 Округленные значения.  
\*2 Для смертельных случаев рака ущерб равен коэффициенту вероятности.

костей у пациентов и активностью введенного им <sup>224</sup>Ra и вероятностью рака легких и оцененным облучением радоном и дочерними продуктами при работе на рудниках. Почти во всех указанных случаях трудно оценить значения дозиметрических величин, поэтому такие данные по человеку не позволяют достаточно хорошо установить соотношение между стохастическими эффектами от воздействия излучения с большой ЛПЭ и дозами на органы человека. Однако из исследований на клетках и работ с экспериментальными животными известно, что излучения с большой ЛПЭ вызывают на единицу поглощенной дозы больше стохастических повреждений, чем излучения с малой ЛПЭ.

(85) Значения относительной биологической эффективности дают непосредственно значений весового множителя данного излучения. Экспериментальные данные по животным и клеткам используют, чтобы оценить соответствующие значения ОБЭ для типичных стохастических эффектов при малых дозах. В экспериментах применяют либо рентгеновское излучение с энергией в несколько сот килоэлектрон-вольт, либо  $\gamma$ -излучение с энергией около 1 МэВ. Эти виды излучений обладают почти одинаковой эффективностью при больших дозах и больших мощностях дозы, но при малых дозах биологическая эффективность в двух указанных диапазонах энергии различается примерно в 2 раза. Поскольку значения весового множителя излучения должны применяться ко всем тканям и органам тела, требуется значительная степень упрощения. Поэтому Комиссия не делает различия между рентгеновским и  $\gamma$ -излучением, а для других излучений выбирает значения весовых множителей излучения представительные для наблюдаемых значений ОБЭ как относительно рентгеновского, так и  $\gamma$ -излучения. Поэтому номинальные коэффициенты вероятности смерти на единицу эквивалентной дозы и на

единицу эффективной дозы для излучения с большой ЛПЭ такие же, как для излучения с малой ЛПЭ. Указанные значения приведены в табл. 1 гл. 2.

(86) В особом случае рака легкого от ингаляционного поступления дочерних продуктов радона эпидемиологические данные о горняках, облучавшихся радоном, дают прямую связь между кумулятивной экспозицией дочерними продуктами радона и избыточной вероятностью рака легких (см. Приложение Б\*). В этих обстоятельствах разумно выразить коэффициент приписанного риска на единицу экспонирования радоном, а не на единицу дозы на легкие или на бронхиальный эпителий.

### 3.4.3. Стохастические эффекты у потомства

(87) Если повреждение, вызванное излучением, происходит в половых клетках, то это повреждение (мутации и хромосомные аберрации) может передаваться и обнаруживаться в форме наследуемых нарушений у потомства облученного человека. Нет подтверждений того, что излучение может быть причиной таких эффектов у людей, но экспериментальные исследования на растениях и животных позволяют предположить, что такие эффекты возможны и что последствия могут находиться в пределах от незначительных и нерегистрируемых до больших дефектов развития или потери функции и даже преждевременной смерти. Следует полагать, что любое несмертельное повреждение половых клеток человека может передаваться далее последующим поколениям. Этот тип стохастического эффекта называют "наследуемым".

(88) Наследуемые эффекты сильно различаются по тяжести. Один из эффектов — образование доминантных мутаций, ведущих к генетическому заболеванию в первом поколении потомства. Некоторые такие заболевания весьма вредны для пораженного человека и иногда представляют угрозу для его жизни. Они проявляются преимущественно в первом и втором поколениях после облучения. Хромосомные аберрации также могут привести к врожденным аномалиям у детей. Рecessивные мутации вызывают мало эффектов в нескольких первых поколениях, но добавляют генетические повреждения в общий пул у последующих поколений. Существует также множество вредных состояний, часто встречающихся у людей и вызванных взаимодействием генетических факторов и факторов окружающей среды. Они известны как многофакторные нарушения. Общее увеличение числа мутаций может увеличить частоту возникновения таких нарушений, хотя это не было обнаружено ни у чело-

\* См. примечание на с. 9.

века, ни у животных. Оценивая последствия для облученных людей Комиссия прежде всего учитывала наследуемые эффекты, которые могут появиться у их детей и внуков. Эффекты у более поздних поколений оставляли в стороне как часть последствий для общества. В настоящее время Комиссия относит весь ущерб за счет дозы, полученной облученным человеком, избегая, таким образом, необходимости двухстадийной оценки.

(89) Для малых доз и мощности дозы номинальный коэффициент вероятности наследуемых эффектов, отнесенный к дозам на половые железы и распространенный на всю популяцию, равен  $0,5 \times 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$  для тяжелых эффектов (исключая многофакторные эффекты, см. ниже). Около 80% всех эффектов вызывается доминан-

Таблица 4. Номинальные коэффициенты вероятности для отдельных тканей и органов\*1

Ткань или орган	Вероятность смертельных случаев рака, $10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$		Совокупный ущерб*2, $10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$	
	Все население	Работающие	Все население	Работающие
Желудок	1,10	0,88	1,00	0,80
Кожа	0,02	0,02	0,04	0,03
Красный костный мозг	0,50	0,40	1,04	0,83
Легкие	0,85	0,68	0,80	0,64
Молочные железы	0,20	0,16	0,36	0,29
Мочевой пузырь	0,30	0,24	0,29	0,24
Печень	0,15	0,12	0,16	0,13
Пищевод	0,30	0,24	0,24	0,19
Поверхность костей	0,05	0,04	0,07	0,06
Толстый кишечник	0,85	0,68	1,03	0,82
Щитовидная железа	0,08	0,06	0,15	0,12
Яичники	0,10	0,08	0,15	0,12
Остальные органы	0,50	0,40	0,59	0,47
Всего	5,00	4,00	5,92	4,74
	Вероятность тяжелых наследуемых нарушений			
Половые железы	1,00	0,6	1,33	0,80
Общий итог (округленно)	—	—	7,3	5,6

\*1 Эти значения относятся к популяции с одинаковым числом лиц обоего пола и с широким диапазоном возрастов.

\*2 См. § 95 и 96 и табл. Б-20 в Приложении Б (примечание на с. 9.)

ными мутациями и мутациями, связанными с X-хромосомой. Из них около 15% эффектов происходит в каждом из первых двух поколений. Надежные оценки коэффициента вероятности для многофакторных условий отсутствуют, но взвешенный по степени тяжести, он, вероятно, составляет  $0,5 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ . Из-за другого распределения работающего населения по возрастам коэффициенты для работающих немного меньше, чем для всего населения (снижение составляет около 40%). Как полагает Комиссия, номинальные коэффициенты вероятности наследуемых эффектов, равные для всего населения  $1 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$  и для работающих  $0,6 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ , адекватны взвешенному числу эффектов, наследуемых во всех поколениях (см. табл. 3). Использовали лишь взвешивание по степени тяжести. С последующим взвешиванием по числу потерянных лет жизни в случае, если проявился ущерб (см. § 96), соответствующие значения составят  $1,3 \cdot 10^{-2}$  и  $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$  (табл. 4).

#### 3.4.4. Эффекты облучения в утробе матери

(90) Эффекты облучения зародыша зависят от времени облучения по отношению к зачатию. Если в зародыше мало клеток и они еще не специализировались, то наиболее вероятным эффектом будет отсутствие имплантации или необнаруживаемая гибель зародыша. Считается, что на этой стадии любое клеточное повреждение с гораздо большей вероятностью вызовет гибель зародыша, а не стохастические эффекты, проявляющиеся у живорожденного. Облучение эмбриона в первые 3 нед после зачатия вряд ли вызовет детерминированные или стохастические эффекты у живорожденного ребенка несмотря на то, что у зародыша на третьей неделе начинают развиваться центральная нервная система и сердце. В течение остальной части периода основного образования органов, началом которого обычно считают третью неделю после зачатия, могут возникнуть пороки формирования того органа, который развивается во время облучения. Эти эффекты носят детерминированный характер с порогом для человека около 0,1 Гр, оцененным по экспериментам на животных.

(91) В течение периода после 3 нед от зачатия и до конца беременности от облучения, по-видимому, могут возникать стохастические эффекты, проявляющиеся в виде увеличенной вероятности рака у живорожденного ребенка. Имеющиеся данные плохо согласованы и содержат большую неопределенность. Но Комиссия принимает, что номинальный коэффициент вероятности смерти самое большее в несколько раз превышает коэффициент для популяции в целом.

(92) Как сообщалось, у некоторых детей, облученных в чреве матери в Хиросиме и Нагасаки, значения коэффициентов умственного

развития ( $IQ$ ) были меньше ожидаемых. Имеется два факта количественной природы. Один состоит в том, что с увеличением дозы общее распределение значений  $IQ$  (по шкале пунктов) смещается в сторону их уменьшения. Комиссия принимает, что это смещение пропорционально дозе. Небольшие смещения не могут быть выявлены клинически. Коэффициент, составляющий около 30 пунктов  $IQ$   $Zv^{-1}$ , относится к дозе на плод в период от 8 до 15 нед после зачатия. Подозреваемое, но меньшее смещение отмечается после облучения в период между 16 и 25 нед. Похоже, что это детерминированный эффект, причем, вероятно, с порогом, который определяется лишь по такому минимальному смещению  $IQ$ , которое может быть установлено клинически.

(93) Второе наблюдение – это связанное с дозой увеличение частоты появления детей, классифицируемых как дети с тяжелой умственной отсталостью. Число случаев невелико, но данные указывают на то, что избыточная вероятность тяжелой умственной отсталости равна 0,4 при 1  $Zv$ . Как показано в Приложении Б\*, это наблюдение согласуется с общим смещением распределения  $IQ$  (в шкале пунктов) с увеличением дозы. Поскольку распределение  $IQ$  имеет форму гауссиана, избыточное число случаев тяжелой умственной отсталости будет очень невелико при малых смещениях  $IQ$  и резко возрастет лишь тогда, когда смещение приблизится к 30 пунктам  $IQ$ . Поэтому большое значение  $IQ$  у человека может быть вызвано только большой дозой. При дозах порядка 0,1  $Zv$  эффект не будет виден в общем распределении  $IQ$ . Лишь при нескольких больших дозах эффект может оказаться достаточным, чтобы выявилось увеличение числа детей, классифицируемых как тяжело умственно отсталые. При всех уровнях доз эффекты менее заметны, если облучение приходится на период от 16 до 25 нед после зачатия, и не наблюдаются в другие периоды. Все наблюдения  $IQ$  и тяжелой умственной отсталости относятся к большим дозам и большим мощностям дозы, и их непосредственное использование, по-видимому, приводит к переоценке рисков.

### 3.5. ТКАНЕВЫЕ ВЕСОВЫЕ МНОЖИТЕЛИ

(94) Тканевые весовые множители, введенные в гл. 2 для определения величины "эффективная доза", были задуманы для того, чтобы взвешенная тканевая эквивалентная доза создавала в общем ущерб одинаковой степени независимо от того, какой орган или ткань в этом участвует. С этой целью Комиссия приняла совокупное представление понятия ущерба. Оно включает четыре составляю-

\* См. примечание на с. 9.

щих: вероятность приписанных смертельных случаев рака, взвешенную вероятность приписанных несмертельных случаев рака, взвешенную вероятность тяжелых наследуемых эффектов и относительную продолжительность потерянных лет жизни. Так как эффективная доза должна использоваться только в тех пределах, в которых полная вероятность приписанной смерти мала, то даже когда облучается несколько органов, вклад смертельных исходов можно рассматривать как аддитивный. Каждое последствие можно затем взвесить с помощью множителя, выбранного для представления степени его тяжести. Как и в Публикации 26, смерть и тяжелые наследуемые эффекты характеризуются весовыми множителями, равными единице.

(95) На основании обсуждения вопроса в Публикации 45 (1985 г.) было предложено считать вес несмертельных случаев рака по сравнению с весом смертельных случаев рака равным средней доле летальности рассматриваемого рака. Плохо излечимый вид рака, для которого доля летальности, очевидно, больше, а для выживших обычно и качество жизни хуже, должен иметь большой весовой множитель для событий с несмертельным исходом. В то же время легко излечимый рак должен иметь малый весовой множитель для событий с несмертельным исходом, этот множитель должен находиться в пределах от 0,01 для несмертельного рака кожи примерно до 0,99 для несмертельной лейкемии. Весовой множитель, который следует использовать в коэффициенте смертности, выведен в Приложении Б\*. Весовые множители для степени тяжести наследуемых эффектов уже включены в коэффициенты вероятности.

(96) Второе взвешивание используется для того, чтобы учесть различие средней продолжительности латентного периода у разных видов рака. Это взвешивание соответствует относительной потере лет жизни вследствие приписанных случаев смерти от рака. При несмертельных случаях рака и наследуемых эффектах оно соответствует относительному времени неполноценной жизни из-за болезни раком, которое считали равным потере лет жизни из-за смерти от того же вида рака. Наконец, произведения коэффициента смертности и весовых множителей для болезни и потери лет жизни нормализуются так, чтобы в сумме (для всех органов и тканей) они давали единицу. Тем самым они составляют основу для рекомендуемых Комиссией тканевых весовых множителей. Эти тканевые весовые множители в виде округленных значений для отдельных тканей и органов приведены в табл. 2, обоснование которой имеется в Приложении Б\*.

\* См. примечание на с. 9.

(97) Данные табл. 4 представительны по отношению к номинальной популяции с одинаковым числом мужчин и женщин. За исключением наличия молочных желез, различия между полами невелики. Влияние комбинации данных на тканевые весовые множители состоит в том, что некоторые весовые множители несколько больше, а некоторые несколько меньше значений, которые относились бы отдельно к мужчинам или женщинам. Ограничение рассматриваемого контингента одними работающими проявляется в уменьшении номинального коэффициента вероятности для работающих до  $4 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ , но значения тканевых весовых множителей при этом существенно не изменяются.

(98) Если эквивалентная доза распределена почти равномерно по всему телу, то вероятность возникновения смертельного случая рака, связанного с этой эффективной дозой, можно получить, используя номинальный коэффициент вероятности смертельного исхода. Если же распределение эквивалентной дозы неоднородно, то такое применение номинального коэффициента будет менее точным, поскольку тканевые весовые множители учитывают и несмертельные случаи рака, и наследуемые эффекты. Например, вклад смертельных случаев от эквивалентной дозы на легкие будет недооценен приблизительно на 25%, а вклад от кожи и щитовидной железы будет переоценен приблизительно в 3 раза. Если известны тканевые эквивалентные дозы, то можно использовать номинальные коэффициенты вероятности смертельного исхода для отдельных органов и тканей, хотя различие между двумя методами будет значительно, так как коэффициенты для отдельных тканей известны с недостаточной точностью. Необходимые сведения для применения обоих методов приведены в табл. 4. В качестве приближения для разнообразных распределений эквивалентной дозы по организму можно считать, что ущерб от несмертельных стохастических эффектов составляет около 20 – 30% к ущербу от смертельных эффектов.

#### 4. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Эта глава посвящена общей политике обеспечения радиационной безопасности. В ней рассмотрена идея оценок, отнесенных к источнику и к человеку, намечена в общих чертах основная система безопасности при профессиональных, медицинских облучениях и облучениях населения и проведено различие между "практической деятельностью" (practice), которая вызывает облучение, и "вмешательством", которое уменьшает облучение.

#### 4.1. ОСНОВНАЯ СТРУКТУРА

(99) Каждый человек подвергается облучению от естественных и искусственных источников. Следовательно, любая разумная система радиационной безопасности должна иметь четко определенную область применения, если только она не предназначена для всей человеческой деятельности. Кроме того, эта система должна в согласованной форме учитывать весьма широкий спектр обстоятельств.

(100) К фундаментальным основам радиационной безопасности должно обязательно принадлежать ее социальное, а также научное обоснование, поскольку первичной целью радиационной безопасности является обеспечение людей приемлемыми нормами безопасности без чрезмерного ограничения полезной практической деятельности, приводящей к увеличению облучения. Кроме того, следует полагать, что даже малые дозы излучения могут вызывать какие-то вредные для здоровья эффекты. Поскольку для детерминированных эффектов существуют пороги, то этих эффектов можно избежать, ограничив дозы у отдельных лиц. В то же время стохастические эффекты нельзя полностью устранить, так как для них не существует порога. Принципиальные основы позиции Комиссии состоят в том, чтобы предотвратить появление детерминированных эффектов, удерживая дозы ниже соответствующих порогов, и обеспечивать все разумные шаги для того, чтобы снизить вероятность появления стохастических эффектов.

(101) Большинство решений в человеческой деятельности основывается в скрытой форме на балансе между пользой, с одной стороны, затратами и убытками, с другой, что приводит к заключению, являются ли данное направление действий или практическая деятельность стоящими или нет. При этом реже осознают, что практическая деятельность должна быть направлена на достижение максимальной чистой пользы для индивидуума или для общества. Это не простая процедура, поскольку цели человека и общества могут не совпадать. В радиационной безопасности, как и в других областях, становится возможным количественно формализовать процедуру, чтобы помочь найти такие решения. При этом следует обращать внимание не только на преимущества и неблагоприятные обстоятельства для общества, но и на защиту отдельных лиц. Когда польза и ущерб распределяются среди населения неодинаково, то это приводит к известной несправедливости. Можно избежать серьезной несправедливости, уделяя внимание защите отдельных лиц. Кроме того, следует осознавать, что многие виды текущей практической деятельности приведут к увеличению доз, которые будут получены в будущем, иногда в отдаленном будущем. Эти будущие дозы необходимо учитывать при защите и населения, и отдельных лиц, хотя не обя-

зательно тем же способом, какой используется для текущих доз. Современная практическая деятельность может повысить вероятность того, что в последующем произойдет облучение. Поэтому в дополнение к масштабу облучения важно учитывать и его вероятность.

(102) Для пояснения пути, по которому Комиссия вела разработку своих рекомендаций, удобно представить процессы, приводящие к облучению человека, в виде дерева событий и ситуаций. Каждая ветвь дерева начинается с источника. Этот термин используется Комиссией для обозначения определенного, не обязательно физического, источника излучения. Поэтому источником профессионального облучения в больнице могут служить рентгеновские установки, а не аноды рентгеновских трубок, которые являются физическими источниками рентгеновского излучения. Когда радиоактивными вещества переходят в виде отходов в окружающую среду, то источником можно считать установку в целом. Излучение или радиоактивные вещества проходят затем через окружающую среду различными путями, которые могут быть простыми на рабочем месте и очень сложными в природной среде, причем некоторые из путей могут быть общими для многих источников. В одних обстоятельствах отдельные лица или, возможно, много людей будут облучаться от одного исходного источника. В других (поскольку может быть много источников) некоторые лица будут подвергаться воздействию не одного источника. Если еще учитывать естественные источники, то все люди облучаются по меньшей мере несколькими источниками.

(103) К счастью, это дерево событий редко приходится рассматривать как одно целое. При условии, что индивидуальные дозы значительно меньше порога для детерминированных эффектов, вклад в индивидуальную дозу от одного из источников дает эффект, не зависящий от доз, создаваемых другими источниками. Для многих задач каждый источник или группу источников следует рассматривать отдельно. Но облучение каждого человека является результатом воздействия нескольких источников. Отсюда следует, что оценки эффективности защиты могут быть связаны с отдельным источником, приводящим к увеличению индивидуальных доз (оценки, относящиеся к источнику), или же с индивидуальной дозой, полученной человеком от всех соответствующих источников (оценки, относящиеся к индивидууму).

(104) Оценки, относящиеся к источнику, позволяют судить о том, может ли источник принести пользу, достаточную для того, чтобы она перевесила любые убытки, которые он может причинить, и все ли разумные шаги были предприняты для того, чтобы снизить вызываемое им облучение. Оценки, относящиеся к источнику, будут учиты-

вать значения индивидуальных доз, связанных с данным источником, и вероятность их получить, а также число облученных при этом лиц, но они не учитывают дополнительного вклада других источников.

(105) Поэтому приходится также давать оценки (относящиеся к индивидууму) общих доз у отдельных лиц от всех соответствующих источников, чтобы определить, не стала ли у кого-нибудь слишком большой вероятностью возникновения стохастических эффектов и не приближается ли у кого-нибудь индивидуальная доза к одному из пределов для детерминированных эффектов.

(106) Некоторые виды человеческой деятельности увеличивают общее облучение вследствие подключения новых групп источников, новых путей воздействия источников на человека, новых лиц или вследствие такого изменения дерева событий, связывающих существующие источники и человека, которые увеличивают облучение людей или число облученных людей. Комиссия называет такие виды человеческой деятельности "практической деятельностью" (practice). Другие виды человеческой деятельности могут уменьшать общее облучение, воздействуя на имеющуюся форму этого дерева. Подобная деятельность может состоять в удалении имеющихся источников, изменении путей воздействия или уменьшении числа облучаемых лиц. Комиссия обозначает все подобные виды деятельности как "вмешательство" (intervention).

(107) Шаги, необходимые для ограничения облучения людей при контроле практической деятельности или при вмешательстве, могут предусматривать действия в любой точке дерева событий, связывающих источник с человеком. Действия могут предприниматься по отношению к источнику, к окружающей среде или к человеку. Они наименее разрушительны, если применены к источнику, и могут быть настолько эффективны, насколько требуется, если не откажут в результате аварии. Кроме того, они влияют на все связанные с данным источником пути воздействия и на всех людей. В пределах действия может сводиться к прекращению применения источника. Там, где возможно, предпочтителен контроль источника. Действия, приложенные к окружающей среде или к людям, влекут за собой больше неудобств и могут иметь отрицательные социальные последствия, не все из которых можно предвидеть. Их эффективность может быть ограниченной, поскольку они направлены лишь на отдельные пути воздействия источника и на отдельных лиц.

(108) Система безопасности, разработанная Комиссией, как полагают, должна быть возможно более универсальной — отчасти с позиций логики, отчасти чтобы избежать изменений в линии поведения, происходящих при разграничении различных ситуаций. Однако разнообразные варианты облучения и различие между практической деятельностью и вмешательством обуславливают разную степень

контролируемости и тем самым влияют на мнение о разумности различных способов контроля.

(109) Комиссия разделяет облучение на три вида: профессиональное облучение, т. е. облучение во время работы и, преимущественно, в результате работы; медицинское облучение, т. е. по преимуществу облучение людей в качестве неотъемлемой части их диагностики и лечения; облучение населения, которое включает все другие виды облучения. Более подробные определения приведены в гл. 5.

(110) При профессиональном облучении обычно можно контролировать все три позиции: контроль источника — путем фиксации его параметров, его непосредственной защиты и контейнента; контроль окружающей среды — наблюдая за вентиляцией и дополнительной защитой; контроль человека — предъявляя требования к рабочим операциям, используя защитную одежду и оборудование. Не все эти виды контроля необходимы постоянно. При медицинском облучении также применяют три вида контроля, но скорее в качестве части основной задачи — диагностики или лечения, а не как части отдельной системы безопасности. При облучении населения необходимо использовать контроль источника. Только если контроль источника не может быть достаточно эффективным, следует контролировать окружающую среду или людей.

(111) Выбор соответствующих мероприятий для контроля зависит также от того, используются ли они при практической деятельности, приводящей к облучению, или при вмешательстве, направленном на снижение облучения. Если появится новая практическая деятельность, то можно решить, принять ли ее в том виде, как ее предлагают, или принять с изменениями, или отказаться от нее с самого начала. Продолжающиеся виды практической деятельности можно пересматривать в свете новых сведений или измененных нормативов безопасности и, по крайней мере в принципе, отказываться от них; при этом источники и пути их воздействия могут сохраняться. Поэтому любые последующие изменения потребуют вмешательства. Аварии, если они произошли, приведут к таким ситуациям, в которых единственным приемлемым действием будет какая-либо форма вмешательства. В практической деятельности и при вмешательстве часто заранее ясно, что облучение состоится, и его размер можно предвидеть, хотя и с некоторой неопределенностью. Но иногда может появиться потенциальная возможность облучения, хотя и без уверенности в том, что оно случится. Комиссия называет такие облучения "потенциальными облучениями". Часто в известной степени можно контролировать как вероятность, так и масштаб потенциального облучения.

## 4.2. СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

(112) Рекомендованная Комиссией система радиационной безопасности для вновь предлагаемой и продолжающейся практической деятельности основана на следующих ниже основных принципах. Детали системы, касающиеся различной практической деятельности, приведены в гл. 5. Система вмешательства обсуждается в следующем параграфе и в гл. 6.

(а) Никакая практическая деятельность, связанная с облучением, не должна приниматься, если польза от нее для облученных лиц или общества в целом не превышает ущерба от вызванного ею облучения (оправданность практической деятельности).

(б) Для любого отдельного источника в рамках данной практической деятельности значения индивидуальных доз, число облученных лиц и возможность подвергнуться облучениям, которые необязательно случатся, должны поддерживаться на столь низких уровнях, какие только могут быть разумно достигнуты с учетом экономических и социальных факторов. Эту процедуру следует ограничивать, сужая диапазон доз у отдельных лиц (используя граничные дозы) или уменьшая риск для отдельных лиц в случае потенциальных облучений (используя граничные риски), чтобы положить предел несправедливости, которая может возникнуть в результате процедуры экономического и социального оправдания (оптимизация защиты).

(в) Облучение отдельных лиц от сочетания всех соответствующих видов практической деятельности должно ограничиваться пределами дозы или контролем риска в случае потенциального облучения. Их цель — обеспечить, чтобы ни один из людей не подвергался риску от облучения, считающимся неприемлемым для этих видов практической деятельности в любых нормальных условиях. Не все источники поддаются контролю путем воздействия на них, и нужно определить, какие из них следует учитывать перед выбором предела дозы (пределы индивидуальной дозы и риска).

(113) Рекомендованная Комиссией система радиационной безопасности для вмешательства основана на следующих основных принципах.

(а) Предполагаемое вмешательство должно принести больше пользы, чем вреда, т. е. уменьшение ущерба в результате уменьшения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред от вмешательства и затраты на него, включая социальные затраты.

(б) Форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от уменьшения дозы, т. е. польза от уменьшения ущерба от излучения за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была максимальной.

Пределы дозы не применяют в случае вмешательства (см. § 131). Принципы (а) и (б) позволят установить уровни вмешательства, которые помогут определить, при каких ситуациях вмешательство окажется уместным. Видимо, есть некий уровень планируемой дозы, выше которого вмешательство будет почти всегда оправдано из-за опасности возникновения серьезных детерминированных эффектов.

(114) В любую систему безопасности должна входить и общая оценка ее эффективности при практической деятельности. Она должна исходить из распределения полученных доз и из оценки шагов, направленных на ограничение вероятности потенциальных облучений. Важно рассматривать основные принципы как взаимосвязанную систему. Ни одну из ее частей не следует использовать изолированно. В частности, простое соответствие пределам дозы еще не служит достаточным свидетельством успешного действия системы безопасности.

#### 4.3. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ И ПРОДОЛЖАЮЩЕЙСЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

##### 4.3.1. Оправданность практической деятельности

(115) Решения, касающиеся принятия и продолжения любой человеческой деятельности, включают выбор между различными вариантами, и их часто принимают в два этапа. На первом этапе каждый вариант исследуют отдельно, чтобы определить тот из них, от которого можно ожидать больше пользы, чем вреда. Получается "краткий перечень", из которого затем можно выбрать предпочтительный вариант. На втором этапе — окончательного выбора — осуществляемую практическую деятельность часто заменяют другой. Поэтому характерным признаком становится чистая польза этой замены, а не чистая польза от каждого варианта в отдельности. В тех случаях, когда рассматривается практическая деятельность, включающая облучение или потенциальное облучение людей, Комиссия рекомендует в процессе выбора обязательно учитывать ущерб от излучения. Ущерб, который следует рассматривать, не ограничивается ущербом, ассоциирующимся с излучением, он включает другие виды ущерба и затрат при данной практической деятельности. Часто ущерб от излучения составляет малую часть общего ущерба. Тогда установление оправданности вмешательства выходит далеко за рамки радиационной безопасности. Именно по этим причинам Комиссия ограничивает использование термина "оправданность" только первым из приведенных выше этапов, т. е. требует, чтобы чистая польза была положительной. Поиск наилучшего из доступных вариантов явля-

ется обычно задачей, выходящей за рамки компетенции органов радиационной безопасности.

(116) Процесс обоснования оправданности требуется не только тогда, когда начинается новая практическая деятельность в свете пересмотра существующих видов практической деятельности в свете новых сведений об их эффективности или последствиях. Если такой анализ свидетельствует о том, что практическая деятельность не может больше претендовать на создание достаточной пользы, перекрывающей общий ущерб, то следует подумать об отказе от этой деятельности. Этот вариант нужно исследовать так же, как и оправданность новой практической деятельности, но следует помнить, что убытки вследствие отказа от установившейся деятельности могут быть более очевидны, чем преимущества от введения другой, сравнительно новой, и что прекращение данной практической деятельности необязательно устранит все связанные с нею источники облучения. В некоторых случаях разумным компромиссом может послужить предотвращение дальнейшего расширения существующей деятельности, переставшей быть оправданной, но это может привести к несоответствию между прошлым и настоящим и не всегда будет выглядеть логичным.

##### 4.3.2. Оптимизация защиты

(117) Коль скоро практическая деятельность оправдана и принята, следует рассмотреть, как наилучшим образом распорядиться ресурсами для уменьшения рисков облучения отдельных лиц и населения. В качестве общей цели следует добиваться того, чтобы значения индивидуальных доз, число облученных людей и вероятность подвергнуться облучениям, которые необязательно должны произойти, поддерживались на столько низких уровнях, какие могут быть разумно достигнуты с учетом экономических и социальных факторов. Необходимо рассмотреть любые взаимодействия между этими различными величинами. Если следующего шага по уменьшению ущерба можно достигнуть лишь привлечением ресурсов, вступающим в серьезное противоречие с последующим уменьшением ущерба, то при условии, что отдельные лица достаточно защищены, не в интересах общества делать этот шаг. Тогда можно сказать, что защита оптимизирована и облучения настолько малы, насколько это разумно достижимо с учетом экономических и социальных факторов. Такую же процедуру следует использовать при пересмотре существующей практической деятельности.

(118) Подобный анализ усложняется взаимодействием различных факторов, которые необходимо учитывать и методы обращения с которыми различны — от простого здравого смысла до сложной техни-

ки анализа стоимости — пользы или применения многофакторного анализа. По мнению Комиссии, все эти методы помогают в решении, если прилагается достаточно усилий для уменьшения ущерба, связанного с данным видом деятельности или ее определенной частью. Во всех случаях, кроме потенциального облучения, удобно применять эффективную дозу в качестве показателя ущерба для отдельного лица, поскольку весовые множители, используемые при расчете эффективной дозы, позволяют учесть весь ущерб для здоровья людей и их потомства, а не только ущерб от смерти. Коллективная эффективная доза адекватно представляет коллективный ущерб. Для потенциальных облучений положение более сложное (см. подразд. 4.3.4).

(119) Оправданность, связанная с оптимизацией защиты, не является чисто количественной. Она включает предпочтительный выбор между различного рода ущербами, между используемыми ресурсами и факторами здоровья. Руководство по требующимся для этого методам было издано Комиссией в Публикациях 37 (1983 г.) и 55 (1989 г.).

(120) Процесс оптимизации защиты должен быть тщательно структурирован. Он обязательно связан с источником и должен в первую очередь применяться на стадии разработки любого проекта. Вероятнее всего, именно таким путем можно добиться уменьшения дозы с помощью наиболее эффективных затрат. При создании проекта, оптимизированного по защите, разработчикам нужно учитывать и по возможности оказывать влияние на то, как будет в дальнейшем использоваться это предприятие или оборудование, хотя эти сведения и возможность воздействия на будущие аспекты деятельности могут быть ограниченными. Разработчики могут также захотеть учесть существенные преимущества, представляемые технической стандартизацией. Таким образом, на стадии разработки процесс оптимизации защиты может иметь некоторые общие свойства. Дальнейшую оптимизацию защиты следует проводить на стадии эксплуатации, на которой оптимизация обычно неформальна и включает известные изменения действий, но при этом зачастую весьма эффективна.

(121) В большинстве методов, используемых при оптимизации защиты, усиленно подчеркивается польза и ущерб для общества и всей облученной группы людей. Но маловероятно, чтобы ущерб и польза распределялись в обществе одинаково. Поэтому оптимизация защиты может привести к существенному неравенству между людьми. Такое неравенство можно ограничить, введя в процесс оптимизации отнесенные к источнику граничные значения индивидуальной дозы. Эти связанные с источником пределы, которые ранее называли верхними границами, в настоящее время Комиссия

называет граничными значениями дозы (dose constraints). Они составляют существенный элемент оптимизации защиты. Для потенциальных облучений соответствующее понятие — это граничные значения риска. Выбор граничных значений зависит от конкретных обстоятельств и обсуждается в гл. 5.

#### 4.3.3. Пределы индивидуальной дозы

(122) Если методы обоснования оправданности практической деятельности и оптимизации защиты используются эффективно, то лишь в редких случаях потребуется применять пределы индивидуальной дозы. Но эти пределы устанавливают четко определенные границы применения подобных более субъективных методов и предотвращают чрезмерный индивидуальный ущерб, который мог бы возникнуть от сочетания различных видов практической деятельности. Пределы доз, установленные Комиссией, следует использовать только при контроле практической деятельности.

(123) Намерение Комиссии заключается в выборе таких значений пределов дозы, чтобы непрерывное облучение на несколько большем уровне приводило при определенной практической деятельности к таким дополнительным рискам, которые в обычных условиях обоснованно считались бы "неприемлемыми". Следовательно, определение и выбор пределов дозы включают их социальную оправданность. Такая оправданность является трудным делом отчасти потому, что предел дозы должен иметь вполне определенное значение, а шкала приемлемости не содержит разрывов. Для факторов, подобных ионизирующему излучению, в отношении которого можно предполагать, что у некоторых последствий облучения порог в зависимости доза-эффект отсутствует, эта трудность неустранима, и выбор пределов нельзя основывать на рассмотрении одного здоровья.

(124) На практике по поводу определения и назначения пределов дозы возникло несколько ложных концепций. Во-первых, предел дозы широко, но ошибочно считают демаркационной линией между "безопасно" и "опасно". Во-вторых, так же широко и так же ошибочно он рассматривается как наиболее простой и эффективный путь удерживать облучения на низком уровне и форсировать улучшение. В-третьих, предел дозы обычно считают единственной мерой строгости системы безопасности. Эти ложные концепции в известной степени усиливаются введением пределов дозы в инструменты регулирования. В случае превышения предела дозы считается, что нарушены правила, а иногда и что совершено наказуемое законом преступление. На этом фоне неудивительно, что руководство, регулирующие органы и правительства — все неправильно пытаются,

где только возможно, применять пределы дозы, в том числе и тогда, когда источники частично или даже полностью вне их контроля, когда наиболее подходящим образом действия является оптимизация защиты.

(125) Стало также очевидным, что пределы дозы обычно исполняют двумя совершенно различными способами: в первом варианте, связанном главным образом с профессиональным облучением, предел дозы рассматривают как предельное ограничение на устройство и функционирование установки. Во втором предел дозы используют в его первоначальном назначении применительно контролю за накоплением дозы каждым лицом. Никогда не следует применять пределы дозы ко всем видам облучения и при любых обстоятельствах. В условиях, для которых эти пределы не предназначены, например при чрезвычайных обстоятельствах или во время особых действий аналогичного значения, их часто можно заменить специально разработанными предписанными пределами или специфическими уровнями дозы, побуждающими начать определенные действия. Подобные уровни часто называют уровнями действия или исследования, или в более широком смысле контрольными (reference) уровнями. С их помощью можно упорядочить процедуры обеспечения радиационной безопасности.

(126) По указанным выше причинам Комиссии пришлось разработать более сложный подход к пределам дозы. Определение пределов дозы и выбор их значений обсуждаются в гл. 5.

#### 4.3.4. Потенциальные облучения

(127) Не все облучения происходят согласно предсказанию. Возможны случайные отклонения от планируемых методов работы или отказы оборудования. После удаления радиоактивных отходов могут измениться условия в окружающей среде или же способы использования среды. Подобные события можно предвидеть и оценить вероятность их появления, но их нельзя предсказать в деталях. Поэтому концепцию ущерба от облучения как индивидуального, так и коллективного следует расширить таким образом, чтобы она могла учитывать и то облучение, которое может не произойти.

(128) Потенциальные облучения следует рассматривать как одну из частей оценки практической деятельности, но они могут также потребовать вмешательства. Поэтому их следует учитывать в обеих ситуациях. Если вероятность возникновения события, приводящего к потенциальному облучению, довольно велика, отчего в течение года возможно несколько таких событий, то следует считать, что возникающие от этого события дозы будут, безусловно, получены.

(129) Дозовые пределы неприменимы непосредственно к потен-

циальным облучениям. В идеальном случае их следовало бы заменить пределами риска, которые учитывали бы и вероятность получения дозы, и связанный с дозой ущерб, если бы она была получена. Но пределы риска отличаются от пределов дозы тем, что вероятность возникновения и размер потенциального облучения не могут быть определены — их можно лишь предположить по сценарию будущих событий. Более того, потенциальное облучение может стать реальным облучением, и в таком случае потребуются вмешательства. Эти проблемы обсуждаются в разд. 5.6.

#### 4.4. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ВМЕШАТЕЛЬСТВЕ

(130) В некоторых ситуациях источники, пути их воздействия и облучаемые лица уже присутствуют, когда приходится рассматривать решения о мерах контроля ситуации. Иногда можно установить новые процедуры контроля в порядке пересмотра первоначальной деятельности, но чаще требуется вмешательство. Важной группой таких ситуаций являются те, которые включают облучение от естественных источников излучения. Аварии и чрезвычайные ситуации могут рассматриваться как источники потенциального облучения при обсуждении практической деятельности, но если они уже произошли, то может понадобиться вмешательство. Все эти случаи рассмотрены в гл. 6.

(131) В большинстве ситуаций вмешательство не может быть применено к источнику, и следует вмешиваться в окружающую среду и в свободу действия людей. Контрмеры, формирующие программу вмешательства, всегда приносят какие-то убытки и поэтому должны быть оправданными, т. е. приносить больше пользы, чем вреда. Забыть их вид, масштаб и длительность следует оптимизировать, чтобы получить наибольшую чистую пользу. Рекомендованные Комиссией пределы доз предназначены для контроля за практической деятельностью. Использование пределов дозы Комиссии или любых других определенных заранее пределов дозы в качестве основы для принятия решения о вмешательстве может потребовать проведения таких мероприятий, которые будут несоизмеримы с полученной пользой и вступят в противоречие с принципом оправданности. Поэтому Комиссия возражает против применения пределов дозы для решения вопроса о необходимости или границах вмешательства. Но как бы то ни было при каком-то уровне дозы, приближающемся к тому, который может вызвать серьезные детерминированные эффекты, некоторые виды вмешательства могут стать почти принудительными.

#### 4.5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

(132) Чтобы убедиться в том, что система безопасности действует успешно, необходимо оценить общую эффективность системы, а не только ее составных частей. Рассматривая предполагаемую или подлежащую практической деятельности, следует изучить ожидаемое или наблюдаемое распределение индивидуальных доз и коллективной эффективной дозы при конкретных работах. На возможность улучшения часто указывают результаты сравнения сопоставимых операций и тенденций к изменению во времени. Оценивать потенциальные облучения более сложно, так как оценка обязательно будет зависеть от способа определения вероятности облучения. Ведь вероятность нельзя определить непосредственно. Для вмешательства, включая вмешательство, вызванное аварией, нужно в первую очередь оценить эффективность заблаговременного планирования, а в ретроспективе — эффективность действий, предпринятых в конкретных случаях.

#### 5. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ И ПРОДОЛЖАЮЩЕЙСЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В этой главе Комиссия развивает концепции, изложенные в гл. 4, применительно к профессиональному облучению (облучению людей на работе), к медицинскому облучению (облучению людей как составной части их медицинской диагностики или лечения) и к облучению населения (все другие виды воздействия облучения). Рассмотрена практическая деятельность, вызывающая облучение, а вмешательство не включено. Приведена основная структура рекомендованных методов контроля и там, где это уместно, определена область применения и рекомендованные значения пределов доз.

(133) В гл. 5 основы системы безопасности, рекомендованные Комиссией и изложенные в гл. 4, развиваются применительно к практической деятельности. Глава подразделена на части, соответствующие различным видам облучения, определенным в гл. 4, а именно на профессиональное облучение, медицинское облучение и облучение населения, так как по многим обстоятельствам эти виды облучения лучше рассматривать и обсуждать раздельно. Однако разделение не всегда приемлемо. Например, все виды облучения в результате некоей практической деятельности при оценке ее оправданности следует рассматривать совместно. Поэтому в гл. 4 обсуждается и оправданность практической деятельности в целом. Некоторые дополнительные стороны оправданности медицинской практики рассмотрены в подразд. 5.4.1, а обстоятельства, при которых решения

относительно облучения населения связаны с профессиональным облучением, в разд. 5.7. Практические мероприятия, предлагаемые для введения в действие системы безопасности, обсуждаются в гл. 7.

#### 5.1. ВИДЫ ОБЛУЧЕНИЯ

##### 5.1.1. Профессиональное облучение

(134) Комиссия отмечает, что при определении профессионального воздействия любого опасного агента обычно учитывают все воздействия, происходящие во время работы, независимо от их источника. Но из-за вездесущности излучения прямое применение этого определения к облучению означало бы, что все работающие являются субъектами режима радиационной безопасности. Поэтому Комиссия ограничивает использование ею выражения "профессиональное облучение (воздействие излучения)" теми облучениями, которые случаются во время работы, и в обстоятельствах, которые разумно считать лежащими в пределах ответственности руководства работами.

(135) Среди компонентов облучения от естественных источников облучение за счет содержания  $^{40}\text{K}$  в теле человека, космического излучения на уровне земли и содержания радионуклидов в земной коре выходят за пределы разумных границ применения контроля. Руководство работами может обоснованно отвечать только за облучение от радона на рабочих местах и при работе с веществами, содержащими естественные радионуклиды. Правда, какое-то облучение радоном присутствует на всех рабочих местах, и, значит, не следует к этому вопросу подходить формально для исключения из рассмотрения каждого рабочего места, где контроль не нужен. Необходимо выработать некоторую общую систему, для чего нужны серьезные знания и обоснования. Поэтому Комиссия рекомендует, чтобы облучение радоном и обращение с веществами, содержащими следы естественных радионуклидов, рассматривались как не входящие в профессиональное облучение и обсуждались отдельно, если только соответствующий регулирующий орган не решит по-другому для определенного географического района или для определенной практической деятельности.

(136) В качестве практического указания Комиссия рекомендует учитывать облучение от естественных источников как части профессионального облучения только в следующих случаях:

- а) регулирующий орган объявляет о необходимости уделять внимание на рабочих местах радону и перечисляет конкретные рабочие места;
- б) установленные регулирующими органами действия с веществами и хранение веществ, обычно не считающихся радиоактивными,

но содержащими заметное количество естественных радионуклидов;

в) управление реактивным самолетом;

г) космические полеты.

Установление количественных критериев для случаев а) и б) будет зависеть от местных условий, но в качестве самых общих примеров, относящихся к случаю а), можно указать работу на источниках минеральных вод, на большинстве урановых рудниках, включая открытые разработки, на многих других подземных рудниках, карьерах и некоторых других подземных рабочих местах. Случай в) относится, в принципе, к экипажам самолетов, но следует также обратить внимание на такие группы лиц, как курьеры, летающие гораздо чаще остальных пассажиров. Случай г) касается очень небольшого числа людей и больше не будет здесь обсуждаться.

(137) Следует рассмотреть, что делать с облучением от естественных источников на рабочих местах, где уже необходимо контролировать облучения, непосредственно связанные с работой. Было бы достаточным учитывать облучение от естественных источников, если его и только его следует контролировать само по себе, как указано в предыдущем параграфе. Иначе его не нужно включать в радиационный мониторинг и в статистические отчеты о профессиональном облучении.

(138) Любое облучение во время работы (за исключением медицинского облучения во время работы) как результат воздействия искусственных источников на рабочем месте или связанное с таким воздействием должно входить в профессиональное облучение, если только источники формально не исключены из объектов контроля или не освобождены регулирующим органом от соответствующих мер контроля. (Руководство по исключению и освобождению от контроля содержится в разд. 7.8.)

### 5.1.2. Медицинское облучение

(139) Медицинское облучение ограничивается облучениями, являющимися составной частью медицинской диагностики и лечения и теми облучениями (но не профессиональными), которым сознательно и добровольно подвергаются лица, поддерживающие пациентов и создающие для них комфортные условия во время диагностики и лечения. Облучение человека другими источниками, такими, как рассеянное излучение при диагностике и лечении других лиц, в медицинское облучение не включается, как и профессиональное облучение штатных сотрудников. Облучение добровольцев по программе медико-биологических исследований также рассматривают в этом документе как медицинское облучение.

### 5.1.3. Облучение населения

(140) Облучение населения охватывает все виды облучения, кроме профессионального и медицинского. Облучение населения естественными источниками намного больше других компонентов облучения, но его оправданности не требуется, чтобы не отвлекать внимания от меньших, но более просто контролируемых облучений искусственными источниками.

### 5.2. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

(141) Представленная в гл. 4 система радиационной безопасности обычно используется одинаково для всех видов облучения. Когда появляются значительные различия, их обсуждают в соответствующих разделах. Для потенциальных облучений необходимо применять несколько иные методы, что обсуждается отдельно в разд. 5.6. Вмешательство рассмотрено в гл. 6.

(142) Следует рассмотреть применение для целей радиационной безопасности различных коэффициентов, связывающих эффективную дозу и ущерб с возрастными и половыми различиями. Эти различия появляются в результате большого различия причин смерти и из-за неодинаковой чувствительности к облучению некоторых тканей и органов, особенно молочных желез. Но, как отмечено в разд. 3.5, учет этих различий лишь незначительно влияет на определение эффективной дозы и на номинальный коэффициент вероятности. Кроме того, многие наиболее эффективные методы контроля облучения применяют без учета возраста и пола облученных лиц, поэтому желательно устанавливать пределы и оптимизировать защиту такими путями, которые не зависят ни от возраста, ни от пола.

(143) Рекомендованные в следующих разделах пределы дозы применимы только к сумме вкладов дозы от соответствующего набора облучений, а не к сумме от всех источников излучения. Поскольку не так просто обобщить способы идентификации соответствующих вкладов в дозу, то этот вопрос подробнее рассмотрен в следующих разделах. Но во всех случаях пределы применения к сумме всех соответствующих доз от внешнего облучения за установленный период времени и полувековых доз от поступлений за то же время.

### 5.3. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ

#### 5.3.1. Оптимизация защиты при профессиональном облучении

(144) Важной стороной оптимизации является выбор граничных доз (dose constraints) — значений индивидуальной дозы, связанной с ис-

точником, которые используют для ограничения диапазона вариантов, рассматриваемых при оптимизации. Для многих видов профессиональной деятельности можно решить, какой уровень индивидуальных доз будет, вероятно, достигнут при хорошо организованной работе. Эти сведения затем можно использовать для ограничения дозы при данном виде профессиональной деятельности. Комиссия считает, что характер профессиональной деятельности следует определять с помощью достаточно широких понятий, например, таких, как работа в отделениях рентгеновской диагностики, обычная деятельность предприятий ядерной энергетики или контроль и поддержание их в рабочем состоянии. Пределы, предписанные регулирующими органами, и ограничения, применяемые руководством предприятия для конкретных операций в качестве составной части повседневного контроля облучений, не являются граничными в используемом здесь смысле. Эти пределы и ограничения, вообще говоря, должны быть установлены уже на основе результатов оптимизации. Более подробные сведения приведены в подразд. 7.3.1.

(145) Было бы уместно закреплять значения граничных доз на национальном или локальном уровне. При использовании граничной дозы разработчик должен указать источники, к которым она относится, чтобы не смешать их с другими источниками, которые также могут облучать работающих.

(146) Оптимизация защиты должна, в принципе, учитывать как фактические, так и потенциальные облучения. Но соответствующие методы оптимизации потенциальных облучений не так хорошо разработаны, и решения для потенциальных облучений часто не применимы при реальных облучениях. Поэтому их следует рассматривать отдельно (см. разд. 5.6).

### 5.3.2. Пределы дозы при профессиональном облучении

(147) Пределы дозы необходимы в качестве составного элемента контроля профессионального облучения как защита от ошибок при обосновании применения оптимизации и как предел для выбора граничных значений дозы (чтобы охватить случаи, когда одно и то же лицо используется для разных дел, каждое со своими граничными значениями). На практике пределы дозы от профессионального облучения применяют ко всем профессиональным по определению облучениям (см. подразд. 5.1.1), включая и те, которые возможны при небольших казусах и просчетах в работе, а также при техническом обслуживании и ликвидационных работах в условиях, заранее не предвиденных конструкторами. Это является расширением прежней концепции Комиссии в отношении пределов дозы и представ-

ляет собой существенное усиление строгости рекомендаций Комиссии независимо от любых изменений значений этих пределов.

(148) Всегда было трудно определить основу для выбора предела риска, которому может подвергнуться человек. В своих рекомендациях пределы дозы от профессионального облучения Комиссия в 1977 г. пыталась использовать сравнение с частотой гибели при авариях в отраслях промышленности, не связанных с излучением. Подобные сравнения не вполне удовлетворительны по целому ряду причин. Например, нормы безопасности в промышленности не охватываются постоянными и неодинаковыми в разных странах мира; данные о смертности относятся к средним значениям во всей отрасли промышленности, тогда как пределы дозы применяют к отдельным лицам; количественные сравнения ограничивались данными о смертности, хотя включение с обеих сравниваемых сторон несмертельных ситуаций привело бы к менее строгим пределам дозы; наконец, мало оснований полагать, что общество приемлет одни и те же нормы безопасности в пределах широкого диапазона отраслей промышленности.

(149) В настоящее время Комиссия приняла более объемлющее приближение, цель которого состоит в том, чтобы для определенных видов практической деятельности установить такой уровень дозы, выше которого последствия для человека считались бы по распространенному мнению неприемлемыми. Ограничивающая доза может быть представлена как доза за всю жизнь, получаемая равномерно в течение периода трудовой деятельности, или же как годовая доза, получаемая за каждый рабочий год независимо от способа, которым будет окончательно определен предел дозы. В прошлом Комиссия использовала приписанную вероятность смерти либо тяжелых наследуемых состояний в качестве основы для суждений о последствиях облучения. Эта величина еще остается основным фактором, но уже не считается Комиссией достаточной для характеристики ущерба. При определении ущерба рассматриваются и другие факторы (см. разд. 3.3). К ним относятся число потерянных лет жизни, обусловленное приписанной смертью, и появление несмертельных случаев.

(150) В принципе, для количественной оценки облучения можно было бы использовать один единственный показатель ущерба в том виде, как он теперь определен, но очень сложно оценивать значение установленного ущерба по одному единственному совокупному показателю и таким путем судить о его допустимости. Комиссия сочла полезным использовать три слова для обозначения степени допустимости облучения (либо риска). Они неизбежно носят субъективный характер и должны интерпретироваться с учетом вида и источника рассматриваемого облучения. Первое слово — "неприемлемо" — используется, чтобы показать, что с позиций Комиссии дан-

ное облучение на любой разумной основе считалось бы неприемлемым для нормальной работы в рамках любой практической деятельности, использование которой являлось бы предметом выбора. Подобные облучения могли бы быть приемлемы в ненормальных ситуациях, например авариях. Облучения, которые не являются неприемлемыми, далее подразделяются на "толерантные", что означает такие облучения, которые нежелательны, но допустимы в разумных пределах, и на "приемлемые", что означает такие облучения, которые допустимы без дальнейших улучшений, т. е. при оптимизированной защите. В этих представлениях предел дозы для ситуации, в которой он должен применяться, является выбранной границей между "неприемлемо" и "толерантно". Уровни облучения, рассматриваемые как неприемлемые в этом контексте, могут все же быть толерантными в другом контексте, если, например, их можно снизить, лишь отказавшись от желательной практической деятельности, например от космических полетов.

(151) Чтобы обеспечить количественную основу для выбора предела дозы, Комиссия в своем подходе к понятию ущерба учла некоторые поддающиеся количественной оценке факторы. Ни для одного из них нельзя установить бесспорный критерий различия определений неприемлемого и толерантного, но, взятые вместе, они создают основу для такой оценки. Данные о рассматриваемых факторах приведены в Приложениях Б и В\*.

(152) Комиссия рассмотрела эти определяемые количественно факторы при выборе нескольких возможных значений дозы, которые можно было бы принять за предел дозы. Эти контрольные значения были выражены в виде годовых доз, получаемых ежегодно за период трудовой деятельности 47 лет. Рассматривали также полную накопленную дозу. Соотношение между годовой и накопленной дозами пригодно для внешних источников излучения и для короткоживущих инкорпорированных источников. Если попавшие в организм радионуклиды являются долгоживущими и характеризуются продолжительным временем биологического удержания, то доза распределяется на длительное время и за время жизни человека может реализоваться не вся. Поэтому последующая оценка, будучи выраженной через полувековую эквивалентную дозу, несколько преувеличивает вследствие внутреннего облучения.

(153) В свою очередь, для каждого из упомянутых контрольных значений дозы оценили последствия протяженного равномерного (во времени) облучения. В результате получили представление о том, какое из значений приводит к такому сочетанию последствий, которое оценивается как близкое к неприемлемому, т. е. еще толе-

\* См. примечание на с. 9.

рантно. Именно это значение выбирали затем как предел дозы. Такой подход неизбежно субъективен, но он дает возможность рассматривать широкий диапазон взаимосвязанных факторов, которые более правильно называть атрибутами. Со смертностью связаны следующие атрибуты:

- приписанная вероятность смерти за всю жизнь;
- потерянное время жизни, если приписанная смерть произошла;
- снижение ожидаемой продолжительности жизни (как сочетание двух первых атрибутов);
- погодное распределение приписанной вероятности смерти;
- увеличение возраст-специфичной частоты смерти, т. е. вероятность умереть в течение года в любом возрасте при условии дожить до этого возраста.

(154) Эти атрибуты связаны со смертностью. Комиссия решила учитывать болезни, вызванные несмертельными случаями рака и наследуемыми нарушениями здоровья, используя число несмертельных состояний, взвешенных по степени их тяжести, как указано в разд. 3.5, и по числу потерянных лет жизни или здоровья. Для несмертельных случаев рака это взвешенное число составляет около 20% ущерба, вызванного случаями смерти. Взвешенное значение для наследуемых эффектов очень неопределенно, но может быть примерно оценено в 20% числа смертельных исходов для работающих (около 27% для всего населения). В последующих сравнениях эти вклады включают по отдельности. Их также складывают для оценки совокупного ущерба.

(155) Пробные значения годовой эффективной дозы, выбранные (согласно § 152) для рассмотрения в качестве возможной основы установления предела дозы, равны 10, 20, 30 и 50 мЗв, что приблизительно соответствует дозам за всю жизнь, равным 0,5; 1,0; 1,4 и 2,4 Зв в предположении, что годовые дозы получали каждый год работы. В этом приближении подразумевается, что нельзя принимать решение, основываясь на одном атрибуте. Следует рассматривать сочетание атрибутов и принимать решения, опираясь на их совокупность. Необходимые расчеты в зависимости от возраста даны в Приложении В\*. Их результаты адекватно представляют широкий диапазон различных популяций, упомянутых в Приложении Б\*. В табл. 5 приведены атрибуты для контрольных значений годовой эффективной дозы.

(156) Первое из рассматриваемых сочетание атрибутов — это сочетание приписанной вероятности смерти от рака и среднего периода потерянной жизни, если приписанная смерть произошла. Для условий, при которых выбранная годовая доза была получена за каждый

\* См. примечание на с. 9.

Таблица 5. Атрибуты ущерба, обусловленного облучением работающего населения\*1

Годовая эффективная доза, мЗв	10	20	30	50	50 (данные 1977 г.)
Примерная доза за всю жизнь, Зв	0,5	1,0	1,4	2,4	2,4
Вероятность приписанной смерти, %	1,8	3,6	5,3	8,6	2,9
Взвешенный вклад несмертельных случаев рака, %*2	0,4	0,7	1,1	1,7	—
Взвешенный вклад наследуемых эффектов, %*2	0,4	0,7	1,1	1,7	1,2
Совокупный ущерб, %*3	2,5	5	7,5	12	—
Потеря лет жизни из-за приписанной смерти, если она произошла, годы	13	13	13	13	10 — 15
Средняя потеря ожидаемых лет жизни в возрасте 18 лет, годы	0,2	0,5	0,7	1,1	0,3—0,5

\*1 Все значения получены из Приложения В (см. § 155 и примечание на с. 9). В Приложении Б (см. примечание на с. 9), в котором рассматривается более широкий спектр популяций, приведены более высокие оценки времени, теряемого из-за приписанной смерти.

\*2 Взвешенный по степени тяжести и потере лет жизни.

\*3 Суммарная вероятность приписанной смерти от рака или эквивалентный ущерб (округленно).

год работы, это сочетание можно выразить как вероятность потерять в среднем за всю жизнь установленный период времени. Этот период почти не зависит от годовой дозы, так как при малых дозах он определяется только временем, когда произошла приписанная смерть, а не ее вероятностью. При использовании сочетания аддитивной модели риска для лейкемии и мультипликативной модели риска для других видов рака потеря жизни немного меньше 13 лет. Для аддитивной модели потеря немного меньше 20 лет. Еще один атрибут в сочетании с приведенными данными — это средняя потеря ожидаемых лет жизни в возрасте 18 лет из-за последующего профессионального облучения.

(157) В табл. 5 для сравнения приведены результаты, полученные по данным на 1977 г. для годовой дозы 50 мЗв в течение 40 лет. Следует учитывать, что в то время эти результаты не использовались в качестве основы для выбора предела дозы. Как отмечено в § 148, предел 1977 г. выбирали на совершенно иной основе (путем сравне-

ния среднего риска смертельного рака при работе с излучением и риска смерти при "безопасных" видах профессиональной деятельности, не связанной с облучением, принимая, что максимальный и средний риск связаны соотношением 10:1). Так как Комиссия не считает больше этот метод подходящим, приведенные в табл. 5 результаты 1977 г. мало что дают для современного выбора предела дозы и с этой целью не используются.

(158) Интересен также характер изменения с возрастом вероятности приписанной смерти за каждый год (рис. 2). Совместное влияние латентности и протяженного облучения приводит к распределению с резко выраженным максимумом, приходящимся на старшие возрасты как для модели аддитивного риска, так и для модели мультипликативного риска. Приведены кривые для женщин, но для мужчин они весьма похожи. Возраст, при котором достигает максимума (необусловленная) вероятность приписанной смерти за год после облучения контингента людей с равным числом мужчин и женщин в течение всей трудовой деятельности, при аддитивной модели составляет 68 лет и при мультипликативной модели 78 лет. Этот возраст почти не зависит от выбранной годовой дозы. Термин "необусловленная" используется для того, чтобы отметить, что эта вероятность не обусловлена требованием дожить до возраста, который ха-

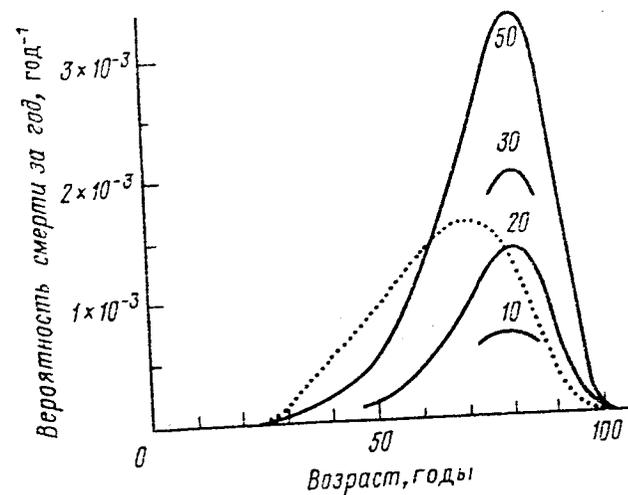


Рис. 2. Необусловленная плотность вероятности смерти (приписанная плотность вероятности смерти в зависимости от возраста, нормированная к риску за всю жизнь) для облучения от 18 до 65 лет. Кривые построены для женщин и для современных оценок риска: ..... — модель аддитивного риска, 50 мЗв·год<sup>-1</sup>; — модель мультипликативного риска (обозначены различные годовые дозы, мЗв)

рактируется вероятностью. Обусловленная вероятность продолжает неограниченно возрастать.

(159) Изменения возраст-специфичной частоты смерти (грубо говоря, вероятности умереть в течение года при условии дожить до начала этого года) лучше всего представляются графически. Эти данные приведены в Приложении В\* (рис. В-9). Даже при протяженном облучении с годовой дозой 50 мЗв вызванные им изменения частоты смерти малы по сравнению с различиями в обычной частоте смерти между мужчинами и женщинами.

(160) Прежде чем пытаться выбрать предел дозы на основе приведенных количественных данных, следует напомнить, что задача Комиссии на данном этапе – достигнуть согласия в том, какой уровень дозы при контроле практической деятельности может с разумной точки зрения считаться близким к неприемлемому. Реальные достигнутые уровни дозы не имеют отношения к этой оценке. Данные о пределах дозы представляют в виде значения годовой дозы за весь 47-летний период трудовой деятельности. Форма, в которой можно лучше всего выразить пределы дозы для их практического применения, обсуждается в последующей части этого раздела.

(161) Первое заключение, сделанное Комиссией, состоит в том, что нет необходимости расширять диапазон пробных доз, подлежащих рассмотрению в целях выбора предела дозы профессионального облучения. Второе заключение сводится к тому, что регулярное облучение в дозах по 50 мЗв в год, соответствующее эффективной дозе за всю жизнь 2,4 Зв, в соответствии с приведенными результатами, вероятно, слишком велико и многими будет явно оцениваться подобным же образом. В частности, уменьшение ожидаемой продолжительности жизни на уровне 1,1 года и тот факт, что с вероятностью более 8% причиной смерти человека могла бы быть радиационная опасность его профессиональной деятельности, пусть даже в позднем возрасте, могли бы рассматриваться широкими кругами как чрезмерные для некоторых профессий, многие из которых появились недавно, и поэтому должны бы служить в качестве примера.

(162) На основе приведенных выше данных Комиссия пришла к согласию в том, что предел дозы должен быть установлен таким способом и на таком уровне, чтобы полная эффективная доза, получаемая за всю трудовую деятельность, не могла бы превысить приблизительно 1 Зв, накопленного относительно равномерно год за годом, и чтобы предлагаемая Комиссией система радиационной безопасности позволяла бы лишь изредка приближаться к этому значению. На окончательный выбор пределов и способа их представления влияет то, каким образом пределы будут применяться на практи-

\* См. примечание на с. 9.

ке. Следует также учитывать необходимость убедиться в том, что пределы обеспечивают защиту от детерминированных эффектов.

(163) На уровне доз, получаемых в обычных условиях, за исключением доз у пациентов, облученных при радиотерапии, контроль стохастических эффектов должен основываться на значениях дозы, накопленной за многие годы. Однако такие длительные периоды контроля могут использоваться неправильно, с разрешением быстрого накопления доз и поступлений в начале периода контроля в ожидании, не всегда оправданном, что позже за этот период дозы будут меньше. Гибкость такого рода ослабляет осознание важности контроля за облучениями путем проектных решений, переключая внимание на оперативный контроль.

(164) В последние годы Комиссия рекомендовала жесткую периодичность контроля в один год, т. е. рекомендовала, чтобы эффективная доза от источников излучения, внешних по отношению к телу, и полувековая доза – при поступлениях радиоактивных веществ в организм – контролировались каждый год без заимствования от любого из предыдущих лет с малыми значениями эффективной дозы или поступления. Такая система весьма негибка, и поэтому рассматривали альтернативные варианты.

(165) Иногда предлагают, чтобы пределы доз от профессионального облучения включали предел эффективной дозы за всю жизнь. Комиссия видит трудности практического применения пределов дозы за всю жизнь. Одна из них относится к толкованию смысла такого предела для работающего, занятого на работе со значительным профессиональным облучением лишь часть своего трудового стажа. Должны быть также приняты решения о долгосрочной последующей занятости работающих, у которых превышен предел дозы за всю жизнь. Краткосрочные пределы необходимы также потому, что оценки риска получены Комиссией для доз, распределенных довольно равномерно в интервале лет профессиональной занятости. Вследствие этих трудностей и моментов, отмеченных в § 163, Комиссия не рекомендует использовать пределы за всю жизнь.

(166) Предлагалось также для гибкости системы устанавливать предел в виде полной дозы, накопленной за несколько лет, оставляя годовой предел больше, чем среднегодовое значение за более длительный период. Это вызвало бы некоторые практические трудности, подобные тем, что и при принятии предела за всю жизнь, но намного менее сложные. По мнению Комиссии, период в 5 лет удачно ограничил бы эти сложности и обеспечил бы достаточную гибкость. Для работающих по кратковременным контрактам регулирующий орган может предложить усредненный период, не превышающий периода контракта о занятости. Комиссия рекомендует для эффективной дозы предел 20 мЗв в год, усредненный по пяти годам

(100 мЗв за 5 лет), но с тем, чтобы за любой отдельный год эффективная доза не превышала 50 мЗв. Пятилетний период должен устанавливаться регулирующим органом, например, как отдельные пятилетние календарные периоды. Комиссия не ожидает, что после того, как этот период будет введен, он будет применяться ретроспективно. В этих рекомендуемых пределах дозы подразумевается, что граничные дозы для оптимизации не должны превышать 20 мЗв в год.

(167) Какая бы периодичность контроля ни была определена, Комиссия рекомендует, чтобы вслед за периодом контроля, во время которого облучение человека превысило предел дозы, не требовалось бы никакого особого ограничения облучения человека. Такие события необходимо тщательно расследовать, обычно регулирующему органу, с изучением проекта и оперативных аспектов безопасности рассматриваемой установки, но не вводить ограничений или наказаний по отношению к облученному лицу. Если доза неизвестна или полагают, что она велика, то следует подумать об обращении к врачу.

(168) Рекомендованные пределы, согласно подразд. 5.1.1, должны применяться ко всем видам профессионального облучения, пока регулирующим органом не приняты другие специальные постановления. Комиссия признает, что из-за трудности быстрого реагирования на ужесточение требований к работам на уже действующем заводе или используемом оборудовании регулирующие органы могут решиться на временное применение более высоких пределов дозы. Такой порядок должен рассматриваться как переходный.

(169) Предел дозы составляет лишь часть системы безопасности, направленной на достижение таких малых уровней дозы, какие только можно разумно получить с учетом экономических и социальных факторов. Он не должен рассматриваться как цель. По мнению Комиссии, предел дозы служит точкой, в которой постоянное, протяженное, сознательное, профессиональное облучение может с разумных позиций рассматриваться как лишь едва толерантное.

(170) Многофакторный подход Комиссии к выбору пределов дозы неизбежно подразумевает социальную оправданность по отношению ко многим атрибутам риска. Такая оправданность необязательно окажется одинаковой в любом контексте и, в частности, может оказаться различной в условиях разных обществ. Именно поэтому Комиссия намерена придавать своим указаниям достаточную гибкость, чтобы можно было вносить национальные и региональные изменения. Однако с точки зрения Комиссии любые подобные изменения безопасности наиболее облучаемых лиц лучше всего вводить с помощью граничных доз, связанных с источником, выбранных регулирующими органами и применяемых в процессе оптимизации

защиты, а не путем использования других значений пределов дозы.

(171) Ограничения эффективной дозы, даже в предположении, что эти значения предельны для длительных периодов времени, достаточны, чтобы быть уверенным в предупреждении детерминированных эффектов почти во всех тканях и органах тела. Но существуют две ткани, которые не наверняка будут защищены пределом эффективной дозы, в основном при внешнем облучении. Это хрусталики глаз, не дающие вклада в эффективную дозу, и кожа, которая вполне может подвергнуться локальному облучению. Для этих тканей требуются отдельные пределы дозы. Внутреннее облучение рассматривается в § 174 и 175.

(172) Рекомендованный ранее предел годовой дозы для хрусталиков глаз составлял 150 мЗв. Оценки порога годовой эквивалентной дозы для нарушения зрения (катаракты) приведены в Публикации 41 МКРЗ (1984 г.) как "0,15 Зв" и подтверждаются в Приложении Б\*. Комиссия продолжает рекомендовать годовой предел эквивалентной дозы для хрусталиков глаз на уровне 150 мЗв. Для внешнего воздействия проникающего излучения на значительную часть всего тела предел эффективной дозы может оказаться более строгим.

(173) Для кожи ситуация более сложная. При оценке стохастических эффектов эквивалентную дозу можно усреднять по всей поверхности кожи. Предполагается, что стохастические эффекты возникают в базальном слое кожи на номинальной глубине  $7 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$  (в интервале от 2 до  $10 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$ ). Одни из детерминированных эффектов также возникают на этой глубине, тогда как другие — в более глубоких слоях дермы ( $30\text{--}50 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$ ). Ограничение эффективной дозы обеспечивает достаточную защиту кожи от стохастических эффектов, но нужен дополнительный предел для локализованных облучений, чтобы предупредить от детерминированных эффектов. Рекомендованный годовой предел составляет 500 мЗв, усредненных по любой площади  $1 \text{ см}^2$ , независимо от размера облучаемой площади. Номинальная глубина составляет  $7 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$ . На практике при внешнем облучении проводят контроль в представительных точках кожи, а в случае загрязнения — на больших поверхностях. Руководящие указания Публикации 35 МКРЗ (1982 г.) по размеру усредняемых площадей еще сохраняют силу. Этот предел, примененный к коже лица, обеспечивает также защиту хрусталиков глаз от локализованного воздействия излучения со слабой проникающей способностью, такого, как  $\beta$ -частицы. Тот же предел можно применять ко всем тканям рук и ног.

(174) Для внутреннего облучения пределы годового поступления (ПДП) приведены Комиссией в Публикации 61 МКРЗ (см. ниже). Они

\* См. примечание на с. 9.

основаны на полувековой эффективной дозе 20 мЗв. Как указано в Приложении Б\*, это приближение позволяет адекватно учитывать любое неоднородное распределение дозы в пределах органов, например то, которое вызывают горячие частицы. Оцененные поступления можно для известной гибкости усреднять за пятилетний период. В настоящее время рассматривается вопрос о пересмотре профессиональных пределов для радона. Существующие рекомендации (Публикация 47 МКРЗ, 1986 г.) пока остаются в силе.

(175) Данные ограничения поступлений (усредненных за 5 лет) с помощью предела годового поступления будут на практике гарантировать, что эквивалентная доза за всю жизнь (не полувековая эквивалентная доза) в любом отдельном органе не будет такой, которая привела бы к детерминированным эффектам.

### 5.3.3. Профессиональное облучение женщин

(176) Основа контроля профессионального облучения женщин, не являющихся беременными, та же, что и для мужчин. Но если женщина беременна или может быть беременной, то следует предусмотреть дополнительный контроль для защиты еще не родившегося ребенка. Этот вопрос усложняется рядом обстоятельств. Зародыш в течение некоторого времени оказывается более подверженным детерминированным повреждениям, вызываемым излучением, чем человек после рождения, и может быть более чувствителен к последующему возникновению злокачественных новообразований. В настоящее время кажется очевидным, что детерминированные эффекты у живорожденного ребенка, включая и тяжелую умственную отсталость, не возникнут, если облучение матери не превышает пределов дозы, рекомендованных в настоящее время для профессионального облучения, независимо от распределения облучения во времени. Более значительные аварийные облучения матери могут больше повредить зародышу, чем матери.

(177) Позиция Комиссии заключается в том, что методы защиты во время работы для женщин, которые могут быть беременными, должны обеспечивать стандарты защиты для любого зародыша, вообще говоря, сопоставимые с теми, которые предусматриваются для отдельных лиц из населения. Комиссия считает, что ее позиция будет адекватно применена, если мать до объявления беременности будет облучаться в границах рекомендованной Комиссией системы безопасности, включая рекомендованные пределы дозы для профессионального облучения. На этой основе Комиссия не рекомендует

\* См. примечание на с. 9.

вообще вводить для женщин специального предела профессиональной дозы.

(178) Как только беременность объявлена, следует защитить зародыш, применяя дополнительный предел эквивалентной дозы 2 мЗв на поверхность живота женщины (нижнюю часть туловища) за оставшееся время беременности и ограничивая поступление радионуклидов до 1/20 ПДП. Комиссия хочет подчеркнуть, что использование ее системы безопасности, в особенности применение граничных доз, связанных с источником, обычно обеспечивает адекватную гарантию того, что согласованность с этим пределом будет достигнута без введения особых ограничений для беременных женщин. Тогда принципиальным критерием будет выбор занятий, не связанных со значительной вероятностью получить большие аварийные дозы или поступления. За это должны отвечать регулирующие органы.

### 5.4. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МЕДИЦИНСКОМ ОБЛУЧЕНИИ

#### 5.4.1. Оправданность практической деятельности при медицинском облучении

(179) Оправданность практической деятельности при медицинском облучении должна рассматриваться так же, как и оправданность любой другой практической деятельности. Наибольшая польза и ущерб выпадают на долю лиц, подвергающихся диагностике или лечению, но следует учитывать все сопряженные с этим облучения, включая облучения персонала и населения и любые потенциальные облучения. Прежде всего, практическую деятельность следует понимать в широком смысле. Но каждая процедура, диагностическая или терапевтическая, является предметом отдельного решения, так что существует возможность последовательно, шаг за шагом, оправдывать каждую процедуру. Этого не требуется для простых диагностических процедур, основанных на обычных показаниях, однако может оказаться важным при комплексных исследованиях и при применении терапии. Руководящие указания приведены в Публикациях 34 МКРЗ (1982 г.), 44 МКРЗ (1985 г.) и 52 МКРЗ (1987 г.).

#### 5.4.2. Оптимизация защиты при медицинском облучении

(180) Поскольку большинство процедур с медицинскими облучениями вполне оправданы и обычно приносят непосредственную пользу облучаемому человеку, то при медицинском облучении уделяют меньше внимания оптимизации защиты, чем при большинстве других применений источников излучения. В результате имеется широкое поле деятельности для уменьшения доз в диагностической

радиологии. Имеются простые, дешевые меры для снижения доз без потери диагностической информации, но степень использования этих мер сильно различается. При сходных исследованиях дозы могут различаться на два порядка величины. Следует рассмотреть использование граничных доз или уровней исследования, выбранных соответствующим специалистом или регулирующим органом, для применения при некоторых обычных диагностических процедурах. Они должны использоваться с определенной гибкостью, допускающей более высокие дозы там, где на это имеются разумные клинические обоснования.

(181) Ограничения при оптимизации защиты следует также рассматривать в тех случаях, когда процедура не должна представлять непосредственную ценность для облучаемого человека, что имеет место в научных или клинических исследованиях, включающих облучение добровольцев.

#### 5.4.3. Пределы дозы при медицинском облучении

(182) Обычно подразумевают, что медицинские облучения приносят непосредственную пользу пациенту. Если это облучение оправданно и защита оптимизирована, то доза, которую получает пациент, будет настолько мала, насколько это согласуется с медицинскими целями. Любое дальнейшее использование пределов дозы может быть лишь в ущерб пациенту. Поэтому Комиссия рекомендует не применять пределы доз при медицинских облучениях. Вопрос об ограничениях дозы обсуждался в подразд. 5.4.2.

(183) По тем же причинам, что и в предыдущем параграфе, дозы, полученные пациентами в ходе диагностических исследований или терапии, не нужно включать в суммарную дозу, если рассматривается ее соответствие пределам дозы, применяемым для профессионального облучения или облучения населения. К тому же каждое увеличение дозы от профессионального облучения или облучения населения приводит к возрастанию ущерба, на который медицинские дозы значительно не влияют.

#### 5.4.4. Медицинское облучение беременных женщин

(184) Как обсуждалось в подразд. 3.4.4, маловероятно, чтобы облучение эмбриона в течение первых трех недель после зачатия привело к детерминированным или стохастическим эффектам у живорожденного ребенка. Беременная пациентка, по-видимому, знает или, по крайней мере, предполагает, что она беременна после одной пропущенной менструации, так что необходимая информация о возможной беременности может и должна быть получена от нее самой.

Если нет последней ожидаемой менструации и нет другой соответствующей информации, то следует считать женщину беременной. В отсутствие весомых клинических показаний следует избегать диагностических и терапевтических процедур, которые требуют облучения живота женщин с вероятной беременностью.

#### 5.5. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ

(185) В обычных ситуациях контроль за облучением населения осуществляется путем контроля за источником, и процедуры контроля, использованные в течение одного года, могут привести к пропуску облучения или поступления в последующие годы в случае, если, например, в естественную среду выброшены долгоживущие радионуклиды. В качестве альтернативы применению моделей долговременного равновесия в окружающей среде, связывающих постоянные выбросы с конечным уровнем индивидуальных и коллективных доз, полезно использовать концепцию ожидаемой дозы. Будущие индивидуальные дозы, а точнее, дозы у типичных представителей критической группы можно ограничивать с помощью ожидаемой дозы. Если установлен предел ожидаемой эффективной дозы у критической группы населения от каждого года практической деятельности, которая продолжается на постоянном годовом уровне, то средняя годовая индивидуальная эффективная доза никогда не превысит этого предела. Если при определении ожидаемой дозы время ограничено, то гарантия действует только на это ограниченное время. Коллективная эффективная доза на единичную практическую деятельность может применяться при оценке оправданности практической деятельности и оптимизации защиты. Следует отметить, что часть коллективной дозы может быть получена в отдаленном будущем. Если это обстоятельство представляется существенным при оценке важности ущерба, то полную ожидаемую коллективную дозу нужно заменить коллективной эффективной дозой, накопленной за определенные промежутки времени.

#### 5.5.1. Оптимизация защиты при облучении населения

(186) Практически почти все облучения населения контролируются с помощью методов граничной оптимизации и с использованием предписанных пределов. Часто удобно объединять людей, формируя группу, однородную по облучению от одного источника. Когда такая группа представляет людей, наиболее облучаемых данным источником, она известна как критическая группа. Ограничение дозы следует применять к средней дозе по критической группе от того источника, для которого оптимизируется защита. Одна и та же

группа может случайно оказаться критической и для других источников, или если критическими окажутся разные группы, то каждая из них может получить некоторую дозу от источников, для которых она не является критической. Если окажется вероятным, что облучение любой критической группы приблизится к пределу дозы для облучения населения (см. подразд. 5.5.2), то ограничения, накладываемые на каждый источник, следует выбирать так, чтобы учитывать любой значительный вклад от других источников в облучение критической группы.

(187) Основная цель граничной оптимизации при облучении населения должна состоять в разработке практических ограничений источников облучения, например, в виде ограничений выбросов радиоактивных отходов в окружающую среду.

### 5.5.2. Пределы дозы при облучении населения

(188) При широко распространенном применении граничных доз, связанных с источником, и при практических ограничениях источников облучения населения общеупотребительные пределы дозы редко используют для ограничения практической деятельности. Но поскольку указанные граничные дозы связаны с источником, они, в принципе, могут недостаточно адекватно учитывать облучения от других источников. Хотя Комиссия не считает этот случай достаточно распространенным, она продолжает рекомендовать пределы дозы для облучения населения хотя бы в качестве предела при выборе граничных доз.

(189) Комиссия определяет область применения своих пределов дозы для облучения населения, ограничивая ее дозами, полученными в результате практической деятельности. Дозы, полученные в условиях, при которых единственно возможное защитное действие принимает форму вмешательства, исключаются из области применения пределов дозы. Особое внимание должно быть обращено на потенциальные облучения (см. разд. 5.6). Преднамеренное распространение радионуклидов от установок, включая естественные радионуклиды от рудников или мест удаления отходов, следует также рассматривать как практическую деятельность, и на получаемые при этом дозы должны распространяться пределы доз. Примерами ситуаций, на которые можно воздействовать лишь с помощью вмешательства, служат присутствие радона в домах и на открытом воздухе, а также радиоактивные вещества, естественные и искусственные, уже находящиеся в окружающей среде. Поэтому дозы от этих источников находятся вне области применения пределов дозы для облучения населения. Присутствие радона в уже существующих и в новых зданиях обсуждается в подразд. 6.2.1. Проведение вмеша-

тельства сопровождается профессиональным облучением и должно рассматриваться соответствующим образом.

(190) К выбору предела дозы для облучения населения возможны, по крайней мере, два подхода. Первый из них аналогичен подходу, используемому для выбора пределов профессионального облучения. Оценка последствий при этом не более сложна, чем при профессиональном облучении. Гораздо труднее установить тот предел, при котором эти последствия уже могут разумно считаться неприемлемыми. Второй подход состоит в том, чтобы обосновывать оценки на вариациях существующего уровня дозы от естественных источников. Этот естественный фон может быть и небезвредным, но он дает лишь небольшой вклад в ущерб здоровью, который испытывает общество. Хотя такая позиция может не всем понравиться, но изменение фона от места к месту едва ли можно считать неприемлемым (за исключением больших вариаций дозы от радона в зданиях).

(191) Последствия непрерывного дополнительного облучения, приводящего к годовым эффективным дозам в диапазоне 1–5 мЗв, приведены в Приложении В\*. Они не дают простого обоснования, но позволяют предложить значение предела годовой дозы ненамного больше 1 мЗв. Вместе с тем данные, приведенные на рис. В-6 Приложения В, показывают, что даже при непрерывном облучении на уровне 5 мЗв·год<sup>-1</sup> изменения в возраст-специфичной частоте смерти очень малы. За исключением весьма неодинакового облучения радоном, годовая эффективная доза от естественных источников составляет около 1 мЗв, а на большой высоте над уровнем моря и в некоторых геологических провинциях по меньшей мере в 2 раза больше. На основе всех этих аргументов Комиссия рекомендует годовой предел эффективной дозы 1 мЗв. Усреднение по времени обсуждается в следующем параграфе.

(192) Вводя ограничения для источников облучения населения, делают некоторые допущения об изменениях путей воздействия на человека через окружающую среду, однако всегда может появиться возможность и более значительных преходящих изменений. Кроме того, может изменяться эффективность методик контроля, применяемых к источнику. Комиссия рекомендует все преходящие увеличения дозы в результате подобных изменений обязательно включать в дозы, на которые распространяются пределы дозы. Дозы от крупных аварий не подпадают под пределы доз, с ними приходится иметь дело только при вмешательстве. Поскольку ущерб является функцией дозы, накопленной за много лет, было бы слишком строго требовать проведения контроля, жестко связанного с пределами годовой дозы. Желательно, чтобы сами пределы обладали извест-

\* См. примечание на с. 9.

ной гибкостью. В прежних рекомендациях Комиссии предусматривается основной предел для годовой эффективной дозы, а также до-полнительный предел для эффективной дозы в некоторые годы при условии, что средняя годовая эффективная доза за всю жизнь не превышает основного предела. Эта рекомендация, в принципе, оста-ется разумной. Но Комиссия пришла к выводу, что очень длинный период усреднения для вспомогательного предела приводит к чрез-мерной гибкости. В настоящее время она рекомендует выражать предел для облучения населения эффективной дозой 1 мЗв за год. Но в особых случаях можно разрешить в отдельный год большие значения эффективной дозы при условии, что среднее значение за 5 лет не превысит 1 мЗв в год. Поскольку это незначительно изменяет предыдущую рекомендацию, Комиссия предлагает использовать 5-летний период ретроспективно, когда новая рекомендация будет вводиться в жизнь. Для этого значения эффективной дозы можно складывать с предыдущими значениями эффективной эквивалент-ной дозы. При введении указанного предела подразумевается, что

Таблица 6. Рекомендуемые пределы дозы\*1

Примечание	Предел дозы, мЗв	
	профессиональной	для населения
Эффективная доза	20 мЗв в год, усредненные за определенные периоды в 5 лет*2	1 мЗв в год*3
Годовая эквивалентная доза*5:		
на хрусталики глаз	150	15
на кожу**4	500	50
на руки и ноги	500	—

\*1 Пределы применимы к сумме соответствующих доз от внешнего облучения за указанный период времени и полувековой дозы за 50 лет (до возраста 70 лет для детей) от поступлений за тот же период времени (см. § 143).

\*2 С дополнительным условием, что эффективная доза не должна превышать 50 мЗв за любой отдельный год. На профессиональное облучение беременных женщин накла-дываются дополнительные ограничения (см. подразд. 5.3.3).

\*3 В особых условиях в отдельный год допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя доза за 5 лет не превысит 1 мЗв в год.

\*4 Ограничение эффективной дозы обеспечивает достаточную защиту кожи от стоха-стических эффектов. Для предупреждения детерминированных эффектов необходи-м дополнительный предел для локализованных облучений ((см. §§ 173 и 194)

\*5 Ошибка: нужно применять эквивалент дозы. — Прим. ред. →

граничные дозы для оптимизации защиты при проектировании но-вых установок должны быть меньше 1 мЗв в год.

(193) Выбирая предел эффективной дозы, Комиссия искала зна-чение, которое было бы наиболее близко к приемлемому для непре-рывного облучения в результате преднамеренной практической дея-тельности, применение которой является предметом выбора. При этом не следует подразумевать, что более высокие дозы от других источников вроде радона в зданиях должны считаться неприемле-мыми. Существование этих источников может быть нежелательным, но не является предметом выбора. Эти дозы можно контролиро-вать только путем вмешательства, которое также может иметь неже-лательные свойства.

(194) Для хрусталиков глаз и локализованных участков кожи также необходимы пределы, так как при применении предела эффек-тивной дозы эти ткани не всегда будут защищены от детерминиро-ванных эффектов. Поскольку полный период облучения может быть почти вдвое больше, чем при профессиональном облучении, и облу-ченные лица могут характеризоваться более широким диапазоном чувствительности, чем более ограниченная группа работающих, ре-комендованные (непрофессиональные) годовые пределы эквивалент-ной дозы в таких тканях меньше, чем для работающих. Комиссия при-няла произвольный множитель 10 для уменьшения дозы, приводя-щей к годовым пределам 15 мЗв для хрусталиков и 50 мЗв для кожи, усредненных по любой площади 1 см<sup>2</sup> независимо от размеров об-лучаемой площади. Рекомендованные пределы приведены в табл. 6.

## 5.6. Потенциальные облучения

(195) Исходное обращение с потенциальными облучениями должно составлять одну из частей системы безопасности, применяемой в практической деятельности, но следует помнить, что такие облу-чения, если они происходят, могут привести к необходимости вме-шательства. На этом этапе могут возникнуть две задачи — предот-вращение и ослабление. Предотвращение означает снижение вероят-ности тех последствий событий, которые могут вызвать или увели-чить облучения. Оно включает в себя действия по поддержанию на-дежности всех эксплуатационных систем и систем безопасности, а также связанных с ними рабочих операций. Ослабление означает ограничение и уменьшение облучений, если любое из этих послед-ствий произошло. Оно включает в себя применение технических за-щитных средств и методов эксплуатации для контроля каждой из последовательностей событий с целью ограничить их последствия, если они возникают. Мероприятия по ослаблению не должны ограни-чиваться планами вмешательства. На этапах проектирования и экс-

плутации можно многое сделать для уменьшения последствий аварии до такой степени, чтобы вмешательство не оказалось необходимым. Трудно сравнивать и сочетать пользу от снижения вероятности (предотвращения) с пользой от уменьшения дозы (ослабления) так как снижение в несколько раз вероятности не всегда представляется эквивалентным уменьшению дозы в то же число раз,

(196) Чтобы сохранить четкую связь между рассмотрением действительных и потенциальных облучений, необходимо расширить понятие ущерба, включив в него вероятность возникновения ситуации, приводящей к ущербу. Методика достижения этой цели еще разрабатывается. Между тем следует подчеркнуть одну из сторон ущерба, а именно — вероятность приписанной смерти. Следует также осознавать, что неопределенность в оценке вероятности возникновения указанной ситуации обычно будет намного больше, чем неопределенность в оценке вероятности последствий того, что доза будет получена.

(197) Простейший способ обращения с потенциальным облучением отдельных лиц состоит в том, чтобы рассматривать полную (априорную) индивидуальную вероятность приписанной смерти от рака, не эффективную дозу как величину, которая должна использоваться в системе безопасности. С указанной целью эта вероятность определяется как произведение вероятности получения дозы и обусловленной вероятности приписанной смерти за всю жизнь от данной дозы, если бы она была получена. Тогда ограничение, соответствующее пределу дозы, можно представить в виде предела риска, т. е. предела вероятности смерти (см. подразд. 5.6.3). Если предел риска выводится из вероятности смерти, приписанной облучению на уровне соответствующего предела дозы, то может быть также предусмотрен аналогичный уровень защиты от несмертельных случаев и детерминированных эффектов.

(198) Это применение полного индивидуального радиационного риска является адекватной исходной позицией для использования в системе безопасности, но его недостаточно, поскольку положение изменится, если событие, приводящее к потенциальным облучениям, произойдет в действительности. При малых вероятностях возможного события предел полного индивидуального риска в случае, если событие произошло, может подразумевать получение столь больших доз, которые потребовали бы вмешательства или вызвали детерминированные эффекты. Эти нежелательные последствия следует иметь в виду на стадии планирования. Они могут потребовать больших ограничений, чем были бы необходимы при ситуациях большей вероятностью и с малой дозой, аналогичных ограничений дозы на меньшем уровне риска. Оценивая индивидуальный риск, следует помнить, что обусловленная вероятность вредных эффек-

в случае, если доза действительно будет получена, может оказаться больше номинальной вероятности, поскольку дозы и мощности дозы могут быть больше тех, для которых были выбраны номинальные коэффициенты вероятности, и поскольку при этих более высоких дозах могут оказаться важными детерминированные эффекты.

(199) Определение коллективного ущерба от потенциальных облучений трудно и противоречиво, даже если ограничить рассмотрение ущерба случаями приписанной смерти. Неудобно зависеть от использования произведения вероятности какого-то события и числа приписанных случаев смерти, если событие произойдет, т. е. от ожидаемого значения числа случаев смерти. Ведь это маскировало бы тот факт, что в результате либо не было бы никаких последствий, если событие не произошло, либо последствия проявились бы в полном объеме, если оно случилось. Использование ожидаемого значения подразумевает неявное предположение об обратной зависимости между уменьшением вероятности и уменьшением масштаба последствий. Другими словами, предположение, что частое событие с небольшими последствиями и редкое событие с большими последствиями вредны в равной степени, если ожидаемые значения последствий одинаковы.

(200) Многофакторный анализ дает более исчерпывающее приближение к установлению коллективного ущерба от потенциальных облучений. Каждую характеристику (атрибут) доступных вариантов следует определить качественно и количественно. Затем присваивается весовой множитель, позволяющий судить о ее важности. Взвешенные атрибуты можно затем объединить для получения общей оценки или сравнить по отдельности со взвешенными атрибутами других вариантов. Каждый метод дает количественную или полуколичественную основу для выбора варианта.

(201) Между тем возможно и более простое приближение как для индивидуальных, так и для коллективных облучений, если дозы будут малы, даже когда событие произойдет. Если при этом дозы не превысят пределов дозы, то вполне допустимо использовать произведение ожидаемой дозы и вероятности ее получения, как если бы эта доза была наверняка получена. Тогда можно воспользоваться обычными способами определения оправданности и оптимизации.

### 5.6.1. Оправданность практической деятельности

(202) Если имеется достаточно сведений, то при оценке оправданности предлагаемой практической деятельности связанной с ней ущерб должен включать в себя и ущерб от потенциальных облучений. В действительности вполне возможно, что оценка ущерба от

потенциальных облучений будет совершенствоваться по мере накопления опыта после начала этой практической деятельности. Это требует переоценки ее оправданности.

### 5.6.2. Оптимизация защиты

(203) Если варианты применения системы безопасности к потенциальным облучениям не изменяют других облучений, вызываемых данной практической деятельностью, то потенциальный ущерб можно использовать при оптимизации без дальнейших усложнений. Но иногда два вида облучений взаимосвязаны, и оптимизацию защиты следует проводить совместно для обоих видов облучения (см. разд. 5.7). В любом случае следует ограничить процедуру, применяя связанный с источником предел индивидуального риска или что более вероятно, связанные с источником и с последствиями граничные индивидуальные риски.

### 5.6.3. Пределы и граничные значения индивидуального риска

(204) Хотя предел риска можно определить подобно пределу дозы, он должен иметь совершенно иной характер. Вероятность событий, приводящих к потенциальным облучениям, нельзя установить путем наблюдения. Она является результатом некоей формы вероятностной оценки безопасности. Эти оценки обычно позволяют судить о вероятности определенных последствий аварии.

(205) Полная вероятность всех возможных последствий может быть получена лишь на следующем этапе прогнозирования. Поэтому полезней определить несколько граничных значений риска, приписанных к приписанной вероятности смерти, которая определяет как произведение вероятности получить дозу в результате точного установленного последствия и обусловленной вероятности приписанных случаев смерти от дозы, если бы она была получена. Взятые раздельно, эти граничные значения будут неадекватны, поскольку человек может подвергаться риску от более чем одного из последствий. Пока нет одного доминирующего последствия, необходимо использовать и предел риска, несмотря на трудность оценки последнего риска, к которому следует применять этот предел. Комиссия пока не рекомендует значение предела годового риска для отдельных лиц.

(206) При медицинских облучениях также возможно получить потенциальные дозы. Ошибки дозиметрии и отказы оборудования приводят к получению пациентами повреждающих, а иногда и смертельных доз. Комиссия не рекомендует в этом контексте каких-либо специальных значений для ограничения риска.

### 5.7. СИТУАЦИИ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ РАЗНЫХ ВИДОВ ОБЛУЧЕНИЯ

(207) Большинство индивидуальных и коллективных доз обычно создаются одним видом облучения. Однако имеются случаи, в которых несколько видов облучения дают значительный вклад в дозу.

(208) Первый пример — это взаимодействие облучения населения и профессионального облучения. Если облучение населения вызвано выбросом отходов в окружающую среду, то уменьшение этого облучения может привести к увеличению профессионального облучения в связи с дополнительной переработкой и хранением отходов. Простейшим приближением к оптимизации защиты будет использование комбинированной коллективной дозы от двух видов облучения. Однако иногда считают, что ущерб от облучений населения нужно рассматривать отдельно от ущерба, связанного с профессиональным облучением. Это не та точка зрения, под которой Комиссия готова подписаться. Комиссия рекомендует использовать при процедуре оптимизации сумму эффективных доз от каждого вида облучения, обусловленных данным источником. Если же считают, что два компонента имеют разные весовые категории, то их можно использовать по отдельности при многофакторном анализе.

(209) Второй пример — это взаимодействие между потенциальным и профессиональным облучениями (или облучением населения). Техническая инспекция завода может привести к уменьшению вероятности отказов, но лишь за счет дополнительного профессионального облучения, а уменьшение облучения населения вследствие хранения большого количества отходов может вызвать возросшее потенциальное профессиональное облучение или потенциальное облучение населения. Такую форму взаимодействия можно рассматривать лишь с помощью методов многофакторного анализа.

### 6. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВМЕШАТЕЛЬСТВЕ

В гл. 6 рассмотрены ситуации, когда источники облучения и пути облучения уже присутствуют и единственным доступным способом действия является вмешательство. Эта глава в основном посвящена вмешательству в облучение населения, включая вмешательство после аварий, а также содержит материал о профессиональных облучениях при чрезвычайных ситуациях. Практическое применение этих рекомендаций по вмешательству обсуждается в гл. 7.

(210) Прежде чем приводить в действие программу вмешательства, следует показать, что предлагаемое вмешательство будет оправданно, т. е. принесет больше пользы, чем вреда, и что форма, масштаб и длительность вмешательства выбраны такими, чтобы оп-

тимизировать защиту. Как объяснено в разд. 4.4, Комиссия возражает против применения пределов дозы для принятия решения о необходимости или рамках вмешательства.

### 6.1. ОСНОВЫ ДЛЯ ВМЕШАТЕЛЬСТВА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ

(211) При оценке пользы и ущерба от вмешательства, направленного на уменьшение облучения населения, ее в первую очередь следует сделать по отношению к группе лиц с повышенным риском. Но вмешательство окажет воздействие и на остальное общество, поэтому оценки должны перекрыть и эти воздействия.

(212) Как отмечено в разд. 4.4, процессы установления оправданности и оптимизации применяют к защитному действию, поэтому при принятии решения необходимо рассматривать их совместно. Оправданность — это процесс принятия такого решения, при котором убытки от каждого компонента вмешательства, т. е. каждого защитного действия, перекрываются с запасом тем уменьшением дозы, которое ожидают достигнуть. Оптимизация — это процесс принятия решения о том, какой способ, масштаб и длительность действия позволят получить максимальную чистую пользу. Продолжительность проведения контрмер влияет на предотвращенную дозу, и поэтому принятое заранее решение об отказе от контрмер следует считать частью процесса оптимизации. Другими словами, различие между убытками и пользой, выраженными с помощью одинаковых понятий, например затрат, включая социальные затраты с учетом вызванного беспокойства, должно быть положительным для каждого принятого защитного действия и достигать максимального значения посредством отбора деталей этого действия.

(213) Стоимость вмешательства — это не только денежная стоимость. Некоторые защитные действия или действия по исправлению ситуации могут привести к различным видам риска нерадиационной природы или к серьезным социальным потрясениям. Например, кратковременное отселение людей из домов не очень дорогостоящее мероприятие, но оно может вызвать временное разделение членов семьи и в результате причинить серьезное беспокойство. Продолжительная эвакуация и окончательное переселение стоят дорого и подчас оказывают сильное травмирующее действие.

(214) Из предыдущих параграфов следует, что невозможно количественно определить уровни вмешательства для неукоснительного применения их во всех обстоятельствах. Но некоторые виды действий потребуются неотложно, и поэтому полезно иметь заранее подготовленный документ, которым можно руководствоваться после аварий и чрезвычайных ситуаций.

### 6.2. СИТУАЦИИ, ПРИ КОТОРЫХ МОГУТ ПОТРЕБОВАТЬСЯ ДЕЙСТВИЯ ПО ИХ ИСПРАВЛЕНИЮ

(215) Многие ситуации, при которых рассматривается возможность вмешательства, продолжаются длительное время и не требуют неотложного действия. В результате аварии могут возникнуть другие ситуации, приводящие к серьезным облучениям, если не предприняты немедленные действия. Они также могут вызвать долговременные проблемы. В этом разделе рассмотрены ситуации, сохраняющиеся длительное время, а безотлагательные проблемы, связанные с авариями, изложены в разд. 6.3.

#### 6.2.1. Радон в домах

(216) Радон в домах требует особого внимания, поскольку и индивидуальные, и коллективные дозы от радона больше доз, получаемых почти от всех других источников. Во многих странах некоторые индивидуальные дозы существенно больше доз, которые были бы допустимы при профессиональном облучении. Если обстановка требует улучшения, то необходимо вмешательство, включающее переустройство домов или изменение поведения их обитателей.

(217) В Публикации 39 МКРЗ (1984 г.) Комиссия рекомендовала использовать уровни вмешательства, которые помогают принять решения о том, в каких случаях требовать или советовать предпринимать действия по улучшению состояния существующих домов. Выбор уровня вмешательства сложен и зависит не только от уровня облучения, но и от вероятного масштаба вмешательства, который определяет экономические последствия для общества и для отдельных лиц. Для домов, заселенных их владельцем, может подойти общее руководство, оставляющее окончательное решение за владельцем с согласия всех обитателей дома. Но в странах, где большое число домов сдается внаем, может оказаться желательным установить чисто национальные уровни вмешательства, по крайней мере, для сдаваемой в наем недвижимости. В таких случаях наилучшим выбором уровня вмешательства может явиться как раз такой уровень, который определяет значительное, но разумное число домов, нуждающихся в улучшении. Не следует ожидать, что один и тот же уровень вмешательства окажется подходящим для всех стран.

(218) Проблема для новых домов имеет известное сходство с проблемой для существующих домов, поскольку концентрацию радона нельзя надежно установить, пока дом не построен и не заселен в течение года или около того. А тогда это уже существующий дом. Поэтому проблема рассматривается здесь, а не в гл. 5. Руководства и законы о проектировании новых домов в отдельных районах могут быть составлены таким образом, что облучение в этих домах будет

с большой вероятностью меньше некоторого выбранного контрольного уровня. Выбор этого уровня может вызвать заметные изменения в обычной практике строительства, а это может непредсказуемо повлиять на здания и условия жизни. Поэтому Комиссия призывает действовать осмотрительно. Учитывая имеющийся опыт, Комиссия снова начала пересматривать свои рекомендации и намерена выпустить обновленные рекомендации, но пока предлагает использовать указания Публикации 39 МКРЗ (1984 г.).

### 6.2.2. Радиоактивные вещества, оставшиеся от прежних событий

(219) Наиболее обычными причинами появления радиоактивных загрязнений являются захоронения долгоживущих веществ, оставшихся от прежней деятельности, например рудников, или остатки люминесцентных веществ с соединениями радия. К серьезным проблемам приводит использование пустой породы из рудников в качестве наполнителя при строительстве жилых домов. Здания, в которых работали с радием, передавали затем для других целей, и спустя несколько лет в них обнаружили радий. Произошло несколько аварий, в результате которых долгоживущие радиоактивные вещества рассеялись по заселенным и сельскохозяйственным районам. Необходимые меры по исправлению положения сильно различаются по сложности и масштабам и сами могут создать проблемы с профессиональным облучением и радиоактивными отходами. Такие меры следует применять в соответствии с рекомендациями Комиссии для практической деятельности. О необходимости их проведения и об объеме восстановительных действий следует судить, сравнивая пользу от уменьшения дозы с ущербом от работ по исправлению положения, включая ущерб от полученных при этом доз. Общих решений нет, но методы, рекомендованные для оптимизации защиты, можно использовать в качестве руководства в каждом конкретном случае.

### 6.3. АВАРИИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

#### 6.3.1. Вмешательство, влияющее на население

(220) В качестве первого шага при решении, необходимо ли вмешательство после аварии, следует определить виды всех возможных защитных действий, рассмотреть затраты и ожидаемое уменьшение индивидуальных и коллективных доз как функции масштаба и длительности каждого из них. Для этих оценок потребуется существенный объем предварительной работы над экономическими моде-

лями и моделями окружающей среды и по прогнозированию аварий. (221) Поскольку само введение защитных действий любого масштаба, даже малого, приводит к значительным расходам, вполне возможно, что мелкомасштабное кратковременное вмешательство окажется дорогим, но неэффективным. По мере увеличения масштаба и продолжительности действия эффективность сначала возрастает без существенного увеличения затрат. В конце концов дальнейшее увеличение перестанет давать большую пользу по сравнению с затратами, и чистая польза снова начнет уменьшаться. Следовательно, существует диапазон возможных уровней вмешательства, оцененных по предотвращенной индивидуальной дозе, в пределах которого находится оптимальный уровень. Если при этом оптимуме чистая польза положительна, то вмешательство данного вида, масштаба и длительности будет оправданно. Предварительное планирование чрезвычайных ситуаций должно включать выбор уровней вмешательства по предотвращенной дозе или ограниченный диапазон таковых уровней вмешательства, которые, вероятно, приведут к оправданному и достаточно хорошо оптимизированному вмешательству.

(222) О пользе конкретного защитного действия в рамках программы вмешательства следует судить на основе снижения с помощью этого защитного действия полученной или ожидаемой дозы, т. е. по предотвращенной дозе. Таким образом, каждое защитное действие следует рассматривать по его собственным достижениям. Например, решение о контроле индивидуального пищевого рациона не зависит от решений о других пищевых рационах и об использовании укрытия или эвакуации. Но дополнительно необходимо оценить дозы, которые можно получить от всех соответствующих путей облучения независимо от того, являются ли они объектом защитных действий или нет. Если полная доза у некоторых лиц настолько велика, что неприемлема даже в чрезвычайных условиях, то нужно срочно рассмотреть возможность осуществления дополнительных защитных действий, которые влияют на основные составляющие полной дозы. Основанием для такого пересмотра могут быть дозы, вызывающие серьезные детерминированные эффекты и большую вероятность стохастических эффектов. Для этого на этапе планирования следует выбрать уровни вмешательства по дозе, получаемой всеми путями.

(223) Комиссия установила общие принципы планирования вмешательства после аварии и включила указания о значениях уровней вмешательства в Публикацию 40 МКРЗ (1984 г.). Эти указания ограничиваются ранним и промежуточным этапами действий. Комиссия планирует выпустить дальнейшие указания, охватывающие проблему в целом.

### 6.3.2. Ограничение профессионального облучения при чрезвычайных ситуациях

(224) Профессиональные облучения, происходящие непосредственно в результате аварии, можно ограничить лишь с помощью мер, предусмотренных проектом предприятия и его защитными характеристиками, планируя действия в чрезвычайной ситуации. В идеале дозы следует удерживать в пределах, допустимых в нормальных условиях, но это хотя и возможно, не всегда получается при серьезных авариях.

(225) В дополнение к облучениям, вызванным непосредственно аварией, возможны облучения аварийных бригад во время чрезвычайной ситуации и восстановительных работ. Даже при серьезных авариях эти облучения можно ограничить с помощью оперативного контроля. Сообщенные дозы могут быть больше, чем в нормальных условиях, и их следует рассматривать отдельно от любых обычных доз. Чрезвычайные ситуации со значительными облучениями аварийных бригад случаются редко, поэтому при серьезных авариях можно допустить некоторое послабление контроля по сравнению с контролем при нормальных условиях без снижения долговременного уровня безопасности. Такое послабление не должно допускать облучений, приводящих к эффективным дозам больше, чем примерно 0,5 Зв при контроле аварии и при немедленных и неотложных работах, за исключением действий по спасению жизни людей, которые редко можно ограничивать дозиметрическими оценками. Не следует допускать превышения эквивалентной дозы на кожу около 5 Зв, за исключением случаев спасения жизни людей. Как только чрезвычайная ситуация поставлена под контроль, облучение при восстановительной работе следует рассматривать как часть профессионального облучения, которому подвергаются при практической деятельности.

## 7. ПРИМЕНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ КОМИССИИ

В гл. 7 отмечена практическая важность существующего уровня радиационной безопасности и показано, как его следует развивать на основе требований регулирующих органов и рекомендаций Комиссии. Дана консультация по измерению доз (мониторингу) и по возможным основаниям для исключения из сферы действия регулирующих требований. Рассмотрены практическая деятельность и вмешательство.

(226) Основное внимание в гл. 7 уделено тем сторонам организации, которые могут способствовать применению рекомендаций Ко-

миссии. Впрочем, организационные структуры могут в разных странах отличаться друг от друга, поэтому гл. 7 имеет иллюстративный характер. Комиссия надеется, что она может послужить полезным руководством для управляющих и регулирующих органов.

(227) При осуществлении рекомендаций Комиссии основная ответственность ложится практически на разработчиков и владельцев оборудования и установок, которые получают указания частично от специалистов-консультантов и из публикаций, аналогичных Публикациям Комиссии и международных организаций, и частично от регулирующих и консультативных органов. Правительства должны устанавливать границы регулирующих и консультативных функций, направленных на то, чтобы помочь руководству работами быть на уровне своей ответственности и быть уверенными в том, что обеспечиваются соответствующие нормы безопасности. Эти установления должны также предусматривать создание любых необходимых центральных служб, включая те, которые отвечают за вмешательство и организацию связей с региональными и международными организациями как в нормальных, так и в чрезвычайных ситуациях.

(228) Организационные структуры, используемые при контроле практической деятельности, должны по возможности использоваться и в связи с вмешательством, хотя в некоторых отношениях может потребоваться их изменение и расширение. Это позволит удерживать их на соответствующем уровне и избежать слишком сильной зависимости от линии разграничения функций. Планирование вмешательства при чрезвычайных событиях должно быть неотъемлемой частью нормальных рабочих процедур. Любая передача ответственности, например, от обычных служебных инстанций к инспектору чрезвычайных ситуаций должна планироваться заранее. Такая передача обязанностей должна быть оформлена. Более подробно об этом см. в разд. 7.7. Когда руководства работами нет, например в случае с радоном в домах, вмешательство должно быть в компетенции регулирующего органа или какого-либо иного консультативного органа.

(229) Рекомендации Комиссии изложены в виде последовательности концепций, начиная от первоначальной цели, с последующим расширением, позволяющим охватить более частные стороны. Этой структуры придерживались в данной главе, где показана ответственность различных органов и их связь между собой. С этой целью необходимо установить следующую логическую последовательность этапов:

- распределение ответственности;
- основные рекомендации Комиссии;
- требования регулирующих органов;
- требования руководства;

утверждение рабочих характеристик.

Эти этапы, в общем, одинаковы для всех видов облучения. Но если требуется вмешательство, то соответствующее руководство работами не всегда может оказаться пригодным для этой цели, и регулирующий орган или какой-либо другой назначенный орган должен будет принять на себя часть ответственности, лежащей обычно на руководстве.

## 7.1. ПРАВА И ОБЯЗАННОСТИ

(230) В радиационной безопасности, как и в других вопросах, связанных со здоровьем и безопасностью, часто удобно разделить права и обязанности. Первый этап *обязанностей* — установить задачи, предусмотреть меры, необходимые для выполнения этих задач, а также обеспечить правильное осуществление указанных мер. Это в сущности будущая концепция. Далее лица, обладающие ответственностью, должны иметь *полномочия* для управления ресурсами, необходимыми для осуществления своих обязанностей. У обязанностей имеется также ретроспективная часть, называемая иногда *ответственностью*, которая требует непрерывно следить за характеристиками, чтобы обнаружить неполадки и предпринять шаги для исключения их повторения. Ответственность означает необходимость создать программу проверки того, насколько эффективно достигаются первоначальные цели.

(231) Первоначальная обязанность осуществлять и поддерживать достаточный контроль за облучением лежит непосредственно на руководстве организаций, которые проводят работы, вызывающие облучение. Если установка или завод спроектированы и поставлены другими организациями, они, в свою очередь, отвечают за то, что эти объекты будут действовать успешно при правильном использовании. Правительство обязано учредить регулирующие органы, которые затем отвечают за создание регулирующих, а часто и консультативных структур, подчеркивающих ответственность органов управления, и в то же время вводят и обеспечивают соблюдение основных норм безопасности. Регулирующие органы могут также оказаться перед необходимостью взять на себя прямую ответственность, если соответствующие органы управления отсутствуют, например при облучениях многими естественными источниками.

(232) Обязанности и связанные с ними полномочия делегируются любым организациям в той мере, которая определяется сложностью соответствующих функций. Работа в рамках этих полномочий должна регулярно проверяться. Необходимо иметь четкую цепочку отчетности, непосредственно до верха каждой организации. Переадресовка обязанностей не преуменьшает важности отчетности.

Существует также взаимодействие между организациями разных типов. Консультативные и регулирующие агентства должны нести ответственность за свои советы и за любые предъявляемые ими требования. Предъявление требований в общей форме или принятие совета не снижают ответственности и не уменьшают подотчетности подведомственных организаций. Это правило относится и к предписаниям в форме заданий или пределов. Но предписания по поводу проведения операций приводят фактически к переходу обязанностей и ответственности от владельца к регулирующему органу. Исполнение таких требований может оказаться очень эффективным особенно тогда, когда у руководства работами не хватает конкретного опыта, но такие требования необходимо всегда тщательно обосновывать.

(233) Однако одних требований, рабочих инструкций, согласований, лицензий и других административных мер еще недостаточно для того, чтобы достигнуть соответствующего уровня радиационной безопасности. Любой участник (от отдельных работников и их представителей до старших руководителей) должен рассматривать безопасность и предотвращение аварий как неотъемлемые части своей повседневной деятельности. Успех и неудача в этих областях, по крайней мере, так же важны, как и в основной деятельности.

## 7.2. РЕКОМЕНДАЦИИ КОМИССИИ

(234) Как отмечено в разд. 1.3, рекомендации Комиссии предназначены, помимо всего прочего, служить полезной основой для установления необходимых регулирующих требований. Служа всем обязательным требованиям регулирующих органов, рекомендации обеспечивают также руководство оперативным управлением работами. Широкое распространение рекомендаций дает то преимущество, что обеспечивается согласованность целей и норм многих стран. Это помогает также обеспечить достаточное единообразие проводимых процедур. Чтобы способствовать указанному процессу, Комиссия пыталась сделать понятными основы ее рекомендаций и осознанно допускала некоторую гибкость, чтобы согласованность с ними можно было достичь не жесткими средствами.

(235) Широко распространенное признание величин, обсуждавшихся в гл. 2, предложенных значений номинального коэффициента вероятности, весовых множителей излучения  $w_D$  и тканевых весовых множителей  $w_T$  значительно упростит международные сравнения доз и практической деятельности и поможет в разработке технических нормативов для проектирования приборов и их характеристик.

### 7.3. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

(236) Виды регулирующих органов, их требования и методы работы сильно различаются. Регулирующие указания не заменяют требований руководства. Их лучше рассматривать как мостик между рекомендациями Комиссии и требованиями руководства. В некоторых отношениях регулирующие требования должны идти дальше. В частности, большая доля в оценке оправданности практической деятельности должна оставаться за регулирующими органами или за правительством, от которого они зависят. Необходимы указания для запрещения тех видов практической деятельности, которые не могут считаться оправданными. Путем регулирующих указаний должны также устанавливаться развернутые и адекватные нормативы безопасности, предназначенные для применения в тех видах практической деятельности, которые считаются оправданными.

(237) Одна из важных национальных и международных потребностей состоит в том, чтобы обеспечить необходимыми ресурсами обучение и тренировку будущего штата специалистов и технического персонала по радиационной безопасности. Обеспечить эти ресурсы одни регулирующие органы не смогут.

#### 7.3.1. Регулирование практической деятельности

(238) Одна из характерных черт регулирования практической деятельности состоит во введении граничных уровней, связанных с источником, применительно к оптимизации защиты. Чтобы избежать путаницы, нужно четко различать регулирующие граничные уровни и предписанные регулирующие пределы. Пределы, предписанные регулирующими органами, и местные ограничения, накладываемые руководством на отдельные операции в качестве составной части повседневного контроля за облучениями, не являются граничными уровнями в используемом здесь смысле. Эти уровни должны, вообще говоря, устанавливаться на основе результатов оптимизации. Однако некоторые регулирующие органы используют предписанные пределы как вид регулирующего граничного уровня и требуют от оперативного руководства добиваться дальнейших уменьшений облучения на основе оптимизации. Предписанные пределы могут относиться не только к дозе, но и к любым другим характеристикам, находящимся под непосредственным контролем оперативного руководства, например, таким, как выбросы в окружающую среду. Когда устанавливают предписанные пределы, их назначение должно быть разъяснено. В любом случае они не должны рассматриваться как альтернатива процессу оптимизации защиты. Не следует устанавливать пределы или цели проекта или операций в виде про-

извольной части предела дозы независимо от конкретного характера проектируемого предприятия и планируемых операций.

(239) Большую часть операций можно проводить таким образом, чтобы нормативы безопасности устанавливались в ходе граничной оптимизации, а не через пределы дозы. Полезным регулирующим средством также могут служить обязательные граничные дозы, применяемые по отношению к избранным видам операций. Или же для некоторых видов операций регулирующий орган может установить уровни исследования. Превышение уровня исследования потребует проведения исследования по программе оптимизации владельца или проектанта установки.

(240) Может случиться, что кто-то будет постоянно получать большие дозы, близкие к пределу индивидуальной дозы, так что накопленная им эффективная доза может приблизиться к неприемлемому уровню. В таком случае следует уделить особое внимание оправданности практической деятельности и оптимизации защиты, что может повлечь за собой введение специального предписанного предела с целью форсировать усовершенствования или установление уровня исследования, требующего формального пересмотра процедур оптимизации защиты.

(241) Регулирующие органы должны обращать особое внимание на облучение населения, поскольку отдельные лица могут подвергнуться облучению более чем от одного источника. При этом особенно важно определить границы ответственности органов и четко установить, к каким источникам применяются регулирующие указания.

(242) Регулирующие указания могут иметь общий характер, относиться к одной установке или к классу установок. В каждом случае регулирующий орган должен использовать подход, связанный с источником, чтобы удостовериться в правильной оптимизации защиты, а также выбора связанных с источником граничных доз. Необходимо использовать и подход, связанный с индивидуальным облучением, чтобы обеспечить адекватную безопасность отдельных лиц по отношению ко всем имеющимся источникам. Если первичный источник не находится под юрисдикцией конкретного органа, например если радиоактивное вещество сбрасывается в реку выше по течению от места расположения региона, на который распространяются полномочия этого органа, то может оказаться полезным оценивать и контролировать отдельный участок окружающей среды. Тогда уже невозможно контролировать источник, и дозы могут быть ограничены (если они вообще могут быть ограничены) лишь посредством какой-либо формы вмешательства. Предпочтительнее добиваться контроля над источником путем межгосударственного сотрудничества или сотрудничества регулирующих органов.

(243) Задачи, а в какой-то степени и методы регулирующих органов могут иногда подпадать под формальные международные или региональные требования. Большинство из них являются рекомендательными, но некоторые обязательны, по крайней мере, если речь идет не о методах, а о задачах. Существуют также международные технические стандарты, часть которых имеет отношение к радиационной безопасности. Ответственные международные органы издадут также рекомендательные документы, которые вносят ценный вклад в процесс достижения приемлемого уровня безопасности.

### 7.3.2. Регулирование в связи с потенциальными облучениями

(244) Первый шаг регулирования в связи с потенциальными облучениями определяется тем, что руководство работами обязано оценивать ожидаемую частоту и возможные последствия таких событий, как аварии или крупные просчеты в проекте или в работе, которые могут привести к дозам, существенно большим доз в нормальных условиях. Следует учитывать широкий диапазон возможных причин, включая те, которые находятся вне возможностей контроля оператора, например наводнения и бури. От оператора требуется, чтобы он знал, как вести себя при таких событиях, если они произойдут. Эти оценки будут неизбежно основываться лишь на установленных последствиях событий: в редких случаях можно гарантировать, что все их последствия были установлены. Возможность появления неустановленных редких последствий не позволяет опираться на оценки, приводящие к очень низким значениям общей вероятности аварий.

(245) Второй шаг — это регулирующие проверки. В зависимости от вероятного масштаба проблем, вызываемых событиями, которые приводят к потенциальным облучениям, регулирующий орган должен установить процедуру проверки оценок события оператором. В большинстве случаев потребуются всего лишь обычные проверки соответствия всем нормативным требованиям. На немногочисленных установках, где последствия аварии могут быть тяжелыми, процедура может включать тщательную проверку всей оценки события, возможно, соотнесенной с системой первоначального утверждения или лицензирования. Следует рассмотреть возможность использования граничного риска, связанного с отдельными последствиями. Это позволит не устанавливать общие пределы риска, которые трудно выбирать и еще труднее соблюдать.

(246) Согласованность с пределами и с границами риска должна быть подтверждена результатами оценок качества проекта, эксплуатации и обслуживания предприятия и оборудования, а также ка-

чества мероприятий руководства. Следует оценить эксплуатационные характеристики и надежность оборудования, а также качество процедур обучения, испытаний и инструкций по эксплуатации.

### 7.4. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

(247) Первым и наиболее важным из практических шагов внедрения рекомендаций Комиссии является выбор каждым лицом, связанным с работами, начиная от проекта объекта и кончая снятием его с эксплуатации, такого образа действий, который основан на безопасности. Этого можно достигнуть лишь с помощью обязательных тренировок, осознавая, что безопасность является частью личной ответственности каждого и главным предметом заботы высшего руководства. Основное значение имеют тесные связи между руководством и представителями работающих.

(248) Такое отношение к безопасности должно подкрепляться созданием формального органа управления, занимающегося радиационной безопасностью, в том числе оптимизацией защиты, а также выпуском четких инструкций по эксплуатации. Инструкции должны учитывать любые требования к проекту предприятия, оборудования или установки в целом, а также к вспомогательным работам, таким, как инспекция и обслуживание. Детальное построение структуры управления и рабочих инструкций будет зависеть от вида и размера действующей организации, но их важность должны осознавать даже в небольших или неформальных организациях. С точки зрения Комиссии, требования к проекту и инструкции по эксплуатации удобно рассматривать как части единой системы, которую можно назвать системой административных требований, даже если эти две части будут составлены различными органами управления.

(249) Требование руководства должно состоять в создании практической основы для безопасности всех причастных лиц. Подробные методики охватывают такие вопросы, как выбор источника излучения или радиоактивного вещества, использование для ослабления полей излучения экранов или расстояния, ограничение времени нахождения в непосредственной близости от источников и использование контейментов и барьеров (обычно нескольких) в целях ограничения распространения радиоактивных веществ на рабочие места и в окружающую населенную среду. Кроме того, следует уделить внимание размещению предприятия и оборудования. Методы действий, связанных с потенциальными облучениями, включают анализ безопасности с целью установить возможные причины аварий и выбрать способы уменьшения вероятности и тяжести аварий. Затем следует оценить надежность всех систем, принципиально влияющих на вероятность аварий. В эти системы входят предприя-

тие и оборудование, любые комплектующие изделия, используемые в оборудовании или при работе, методы эксплуатации и обслуживания и профессиональные качества операторов. Большая часть ответственности за подобный анализ ложится на проектанта, но часть ее приходится и на оперативное руководство. Необходимо иметь планы действий на случай аварии, которые периодически следует пересматривать. Все результаты рассмотрения и оценки должны оформляться в виде письменных требований руководства.

(250) Требования руководства должны быть составлены четко и ясно, не допускать разночтений и при этом должны быть в высшей степени практичными. Частично они должны вытекать из требований регулирующих органов (см. разд. 7.3), но основаны на рекомендациях Комиссии, руководствах по качественной практической деятельности и на технических стандартах. Подготовка и внедрение требований руководства – обременительное дело, но имеет очень важное значение в достижении правильного баланса между мерами безопасности и эффективным ведением работ.

#### 7.4.1. Классификация рабочих мест и условий работы

(251) Одна из наиболее важных функций требований руководства – сохранение контроля над источниками излучения и над работниками, подвергающимися профессиональному облучению. Обычно нетрудно установить источники профессионального облучения. Это искусственные радиоактивные вещества и электрические генераторы излучения, используемые на рабочих местах, а также естественные источники, определенные в подразд. 5.1.1. Последний термин нужно понимать в самом общем смысле, поскольку следы искусственных радионуклидов присутствуют в большинстве веществ. Контроль за источниками способствует также то, что все рабочие места, на которых они содержатся, должны быть формально обозначены. Комиссия использует два таких определения – контролируемые зоны и зоны наблюдения.

(252) Контролируемая зона – это такая зона, в которой нормальные условия работы (включая возможность возникновения небольших происшествий) требуют от работающих следовать хорошо установленным правилам, и практическая деятельность проводится под специальным контролем облучения. Зона наблюдения – это зона, в которой условия работы контролируются, но специальных правил обычно не требуется. Эти определения зон лучше всего обосновываются опытом работы и здравым смыслом. Следует учитывать и ожидаемые уровни облучения, и вероятные изменения этих облучений. В зонах, в которых нет проблемы загрязнения негерметизированными радиоактивными веществами, зоны могут иногда опреде-

ляться по мощности дозы на их границе. Главное – быть уверенным, что любой человек, находящийся вне названных зон, может не считаться подвергающимся профессиональному облучению. Предполагается, что пределы дозы, рекомендованные Комиссией, применяются ко всем работающим, но использование обозначенных зон должно позволить удерживать фактические дозы, получаемые за их границами, ниже пределов дозы для облучения населения. Линия раздела между контролируемыми зонами и зонами наблюдения, если последние используются, обычно устанавливается для того, чтобы у работающих в зонах наблюдения лиц дозы были достоверно меньше 3/10 пределов профессиональной дозы. Теперь Комиссия считает, что это определение слишком произвольно, и рекомендует, чтобы вопрос об определении контролируемых зон и зон наблюдения решался на стадии проектирования или на месте непосредственно руководством работ на основе опыта и оценок работы. Эти оценки должны учитывать ожидаемый уровень и вероятные изменения доз и поступлений, а также возможность аварий.

(253) В предыдущих рекомендациях Комиссия определила два типа условий работы на основе ожидаемого уровня индивидуальной годовой дозы. Первоначально предполагалось, что это поможет в отборе работающих, подлежащих индивидуальному мониторингу и специальному медицинскому наблюдению. За последние годы стало очевидным, что ни одно из этих решений не связано с грубой классификацией условий работы, основанной на ожидаемой дозе, и Комиссия больше не рекомендует подобную классификацию. Разработка программ мониторинга обсуждается в подразд. 7.5.1, а медицинское обслуживание в подразд. 7.4.4.

#### 7.4.2. Рабочие инструкции

(254) В радиационной безопасности всегда подразумевается общее положение о необходимости поддерживать риски на низком уровне. Это положение должно быть дополнено специальными указаниями, которые проектанты и владельцы установок могут использовать в качестве инструкций. Руководители работ несут ответственность за введение этих инструкций, обязательно включающих значения максимальных уровней облучения, которые, как ожидают руководители, будут получены при определенных операциях.

(255) Эти инструкции применяются и проектанты, и владельцы предприятия и оборудования, но они не являются самоцелью, и их недостаточно. Они лишь предусматривают область, в пределах которой должны работать проектанты и владельцы. Необходимо дополнительно рассматривать разные приемлемые варианты и определять рабочие методики, основанные на более полно оптимизиро-

ванных уровнях безопасности для конкретных условий. Эти рабочие инструкции становятся все более общепринятыми, и их следует приветствовать, если они хорошо обоснованы. Если для разнообразных работ выбирается одна и та же рабочая инструкция, она, скорее всего, будет произвольной и не будет соответствовать рекомендованным Комиссией нормам безопасности.

(256) В принципе, в рабочих инструкциях должны содержаться сведения о нормативах надежности, необходимые для ограничения потенциальных облучений. Но, как оказывается, практически трудно найти разумную основу для получения подобных сведений, называемых иногда "целями безопасности". Поэтому следует опираться на прошлый опыт, часто систематизированный в виде технических стандартов.

#### 7.4.3. Контрольные уровни

(257) При руководстве работами полезно установить значения измеряемых величин, при превышении которых должны быть приняты какие-то особые действия или решения. Эти значения обычно называют контрольными уровнями. Они включают в себя уровни регистрации, при превышении которых результат должен быть записан, тогда как более низкими значениями пренебрегают; уровни исследования, выше которых должны исследоваться причина или значение результата, и уровни вмешательства, при превышении которых должны рассматриваться действия по исправлению положения. Использование этих уровней помогает избежать ненужной или непродуктивной работы, а также эффективно распределить ресурсы. Если используются уровни регистрации, то нужно быть уверенным в том, что нерегистрируемые результаты не превышают уровня регистрации.

#### 7.4.4. Производственные службы радиационной безопасности и здравоохранения

(258) Одна из общих обязанностей практического руководства состоит в том, чтобы сделать доступными производственные службы, занимающиеся радиационной безопасностью и здравоохранением. Это могут быть внутренние службы или приглашаемые извне консультативные службы. Служба безопасности должна обеспечивать получение советов от специалистов и подготавливать любые необходимые указания по мониторингу как на установке, так и вне ее. Руководитель службы безопасности должен иметь непосредственный доступ к главному руководителю работ. В большей части этой Публикации уже были рассмотрены указания по безопасности. Поэтому

в данном разделе основное внимание будет уделено профессиональной службе здравоохранения.

(259) Основная роль профессиональной службы здравоохранения та же, что и при любом другом виде занятости. Врачи, контролирующие состояние здоровья коллектива работающих с излучением, должны быть знакомы с заданиями и условиями труда на рабочих местах и принимать решение о пригодности каждого работающего для выполнения предполагаемых задач. В настоящее время радиационный компонент очень редко оказывает сколько-нибудь значительное влияние на это решение. Более того, этот компонент не должен влиять на административные условия обслуживания тех людей, которые подвергаются профессиональному облучению.

(260) От цехового врача, иногда вместе с другими специалистами, может также потребоваться совет для работающих трех особых категорий. К первой категории относятся беременные женщины, а также женщины, которые могут стать беременными. Им следует посоветовать сразу же сообщить врачу, как только им покажется, что они беременны, чтобы врач рекомендовал руководству внести любые необходимые изменения в их обязанности или осуществить специальные защитные мероприятия.

(261) Ко второй категории относят всех, кто был облучен со значительным превышением пределов дозы или мог быть вовлечен в потенциально опасные ситуации. Клиническое обследование или лечение могут быть им показаны лишь в исключительных случаях. Тем не менее врач должен гарантировать, что в зависимости от масштаба аварий надлежащие мероприятия для проведения диагностических тестов или лечения будут обеспечены по первому требованию. Единственный лабораторный анализ, который необходимо в связи с этим рассматривать, это исследование хромосомных аберраций в лимфоцитах. Этот тест часто может дать полезные результаты и успокоить человека после предполагаемой аварии. Поскольку во многих странах существуют лаборатории, куда можно послать образцы крови, лишь в редких случаях потребуется располагать у себя соответствующими возможностями.

(262) К третьей категории относятся те из работающих, которые могут использоваться в качестве добровольцев для преднамеренного облучения в интересах медико-биологических исследовательских программ. В хорошо спланированных экспериментах дозы будут малы по сравнению с дозами, обычно получаемыми при профессиональном облучении, и находиться в пределах граничных доз, применяемых при оптимизации защиты. Наблюдающий врач может успокоить участников и исключить любого добровольца, беспокоящегося за свое здоровье. Учрежденный надлежащим образом комитет по этике должен дать свои рекомендации, чтобы цели исследова-

дования были правильно выбраны и определены, а также чтобы система отбора добровольцев была удачной.

(263) Наблюдающий врач должен располагать сведениями об условиях работы и облучения отдельных работающих. Часть этой информации может поступать из банка данных предприятия, а часть от службы радиационной безопасности. Некоторые данные войдут затем в индивидуальные медицинские карты. Такие сведения обычно считают медицинской тайной. Важно, чтобы конфиденциальность данных не препятствовала получению исходной информации руководством и не медицинскими специалистами, участвующими в обеспечении безопасности.

### 7.5. ОЦЕНКА ДОЗ

(264) Основа рекомендаций Комиссии — это ограничение доз и вероятности получения дозы. Измерение или оценка доз является основополагающими для деятельности в целях радиационной безопасности. Ни эквивалентная доза в органе, ни эффективная доза не могут быть измерены непосредственно. Значения этих величин получают с помощью моделей, обычно учитывающих влияние окружающей среды, метаболических процессов и дозиметрических факторов. В идеале эти модели и выбранные значения их параметров должны быть реалистическими, чтобы их результаты могли считаться "наилучшими оценками". Когда возможно, следует установить, каковы неопределенности этих результатов.

(265) На практике реалистические модели доступны редко. Если в назначении модели входит установление пределов или последующая проверка на соответствие пределам и если реалистические модели отсутствуют, то можно использовать модели, результаты применения которых скорее всего не приводят к недооценке последствий облучения, хотя и не переоценивают чрезмерно эти последствия. При установлении оправданности практической деятельности, оптимизации защиты или принятии решения о вмешательстве после аварии любые ошибки в оценке могут привести к неправильному использованию ресурсов. Если модели должны применяться только в этих целях, то их следует выбирать реалистично.

#### 7.5.1. Дозиметрия при профессиональном облучении

(266) При профессиональном облучении обычно несложно контролировать дозы, полученные отдельными лицами. Однако часто нет четкого разграничения между работниками, тесно связанными с источниками излучения, и теми, которые облучаются лишь от случая к случаю, потому что они редко находятся в соответствующих мес-

тах или располагаются в удалении и получают лишь незначительные дозы. Чтобы избежать расточительного использования ресурсов при мониторинге и хранении информации, необходимо указать группы работающих, для которых индивидуальный мониторинг необходим.

(267) Решение, предусматривающее индивидуальный мониторинг для группы работающих, зависит от многих факторов. Некоторые из них технической природы, а некоторые относятся скорее к производственным отношениям. Решение должно быть принято руководителями работ, но должно находиться под наблюдением регулирующего органа. На решение должны влиять три основных технических фактора: ожидаемый уровень дозы или поступления в соотношении с надлежащими пределами, наиболее вероятные изменения дозы или поступления, а также сложность методов измерения и интерпретации, составляющих программу мониторингования. Этот третий фактор приводит к тому, что подход к мониторингу внешнего излучения отличается от подхода к мониторингу поступлений и результирующей полувековой эффективной дозы. Для внешнего облучения индивидуальный мониторинг достаточно прост и не требует вложения значительных ресурсов. Он должен проводиться у всех, кто подвергается профессиональному облучению, если только не очевидно, что дозы будут постоянно небольшими, или (как в случае с экипажами самолетов) не ясно заранее, что обстоятельства не допускают получения доз, превышающих определенное значение. Кроме первоначальной функции — обеспечения информации для контроля облучений, программа индивидуального мониторинга может быть полезной для подтверждения классификации рабочих мест и для определения изменений в условиях работы. Она дает полезные гарантии и может предоставить данные для пересмотра оптимизации.

(268) Индивидуальный мониторинг поступлений радиоактивного вещества обычно гораздо более сложен и должен постоянно использоваться лишь для работающих в зонах, особенно контролируемых в связи с радиоактивными загрязнениями, и в которых можно ожидать значительных поступлений радионуклидов в организм человека. Руководство по видам работ, требующим индивидуального мониторинга, содержится в Публикации 35 МКРЗ (1982 г.), а по интерпретации индивидуального мониторинга поступлений — в Публикации 54 МКРЗ (1988 г.).

(269) При расчете пределов годового поступления (ПГП) Комиссия использовала ранее полувековую эффективную дозу за 50 лет. Для работающих с трудовым стажем от 18 до 65 лет (в среднем около 40 лет) и предполагаемой продолжительности жизни 75 лет значение 35 лет было бы более типичным. Но различие невелико даже

для долгоживущих и длительно удерживаемых в организме нуклидов, и Комиссия рекомендует сохранить для профессионального облучения 50-летний период (см. подразд. 7.5.3 для облучения населения). При обсуждении с работающим возможным медицинским значения результатов мониторинга его облучения нужно учитывать возраст человека на момент поступления радионуклида. Поступление может быть прямо соотнесено с пределом годового поступления, что более убедительно, чем сопоставление полувековой дозы с пределом годовой дозы. Поэтому обычно лучше обсуждать оцененные поступления, а не полувековые дозы.

(270) Оценка коллективной дозы профессионального облучения обычно основана на зарегистрированных дозах по программам индивидуального мониторинга, но ее часто следует дополнять, используя данные о небольших индивидуальных дозах, полученных по моделям, основанным на измерениях на рабочем месте.

(271) На практике обычно можно без труда достигнуть точности около 10% при доверительном уровне 95% для измерения полей излучения в хороших лабораторных условиях. На рабочем месте, где энергия и ориентация поля излучения редко известны, погрешность в пределах коэффициента 1,5 считается обычной при оценке годовых доз от внешнего облучения отдельных работающих. С учетом других неопределенностей этот коэффициент приемлем. Такую точность редко удается получить при оценке поступлений и связанных с ними полувековой эквивалентной и эффективной доз. Нужно осознавать, что погрешности лежат в пределах по меньшей мере коэффициента 3, и это считается приемлемым. Дальнейшие указания даны в Публикации 54 МКРЗ (1988 г.).

### 7.5.2. Дозиметрия при медицинском облучении

(272) Оценка доз при медицинском облучении, т. е. доз у пациентов, чрезвычайно важна при радиотерапии, и этим вопросом занимается Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям. Частые измерения на установках должны составлять важную часть программы контроля качества. В диагностической радиологии обычная оценка доз не обязательна, но должны проводиться периодические измерения для проверки эксплуатационных характеристик установок и для стимулирования оптимизации защиты. В ядерной медицине всегда должна регистрироваться вводимая активность, и тогда можно будет легко получить значения дозы, основанные на стандартных моделях.

### 7.5.3. Дозиметрия при облучении населения

(273) Обычный индивидуальный мониторинг для лиц, подвергающихся облучению в составе населения, в нормальных условиях не является необходимым и не рекомендуется. Тогда оценка дозы будет зависеть от моделей, представляющих пути от источника к облученным лицам, иногда дополняемых мониторингом окружающей среды. Этот метод не может полностью учитывать индивидуальные привычки и характерные особенности людей. Для сравнения с пределами следует прилагать модели к реальным или условным "критическим группам", которые выбирают как представляющие лиц, наиболее облучаемых в результате воздействия рассматриваемого источника. Необходимо, чтобы они имели достаточно однородные характеристики, которые влияют на дозы, полученные ими от этого источника. Если это достигнуто, то следует применять индивидуальные пределы к средним значениям для критической группы. Комиссия обратилась к выбору критических групп в Публикации 43 МКРЗ (1985 г.).

(274) При облучении населения период интегрирования полувековой эффективной дозы для детей должен простираться от возраста в момент поступления и до 70 лет. Для взрослых соответствующий период составляет 50 лет. В Публикации 56 МКРЗ (1989 г.) Комиссия приводит возраст-специфичные соотношения между поступлением и полувековой эффективной дозой.

(275) При облучении населения коллективная доза лишь в редких случаях состоит в основном из доз у лиц, входящих в критическую группу. Оценка дозы для обоснования оправданности практической деятельности или оптимизации защиты должна быть основана на более общих моделях. Для ситуаций, существующих в настоящее время, а также распространяющихся лишь на ближайшее будущее, такие модели можно иногда подтвердить с помощью выборочных измерений, например, образцов из окружающей среды или, в более редких случаях, отдельных лиц. Для моделей долгосрочного прогнозирования, которые часто используют для предсказания доз за многие столетия и на больших пространствах, прямое подтверждение невозможно. Однако такие методы, как анализ чувствительности и неопределенности, полезны для оценки вероятной ошибки и позволяют проверить любой предложенный выбор действий с помощью нескольких предсказательных моделей.

### 7.6. СОГЛАСОВАННОСТЬ С НОРМАМИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

(276) Все организации, связанные с радиационной безопасностью, обязаны проверять соответствие с ней собственных целей и методов. Руководство работами должно установить систему перепроверки

своей организационной структуры и методов, т. е. функцию, аналогичную финансовой ревизии. Регулирующие органы должны проводить аналогичные внутренние ревизии и нести дополнительную обязанность, а также иметь право оценивать уровень безопасности, достигнутый руководством работ, и степень согласованности с регулирующими указаниями. Все эти процедуры проверки должны включать рассмотрение потенциальных облучений путем проверки указаний по безопасности. В процедуры проверки следует включать просмотр программ обеспечения качества и некоторое инспектирование. Однако инспектирование — это разновидность выборки, и оно не в состоянии охватить все возможные случаи. Его лучше представить как некий способ убедить инспектируемых поддерживать и сохранять в порядке собственные жилища.

### 7.6.1. Хранение информации

(277) Любая система легализации включает в себя сохранение информации. Минимальные требования обычно устанавливают регулирующие органы, но руководство работами должно рассматривать дополнительные требования к записям для своих собственных целей. Необходимо формально определить вид записи, ее детальность и срок хранения. Следует добиться полного равновесия между сложностью исходных входных данных, которая может явиться компромиссом между точностью и полнотой, и возможным будущим использованием данной информации. Значение большинства записей уменьшается со временем, как и вероятность того, что они потребуются. В качестве общего руководства и предмета для каких-либо регулирующих требований можно принять, что записи, содержащие результаты оценок индивидуальных доз, должны сохраняться в течение времени, сравнимого с ожидаемой продолжительностью жизни индивидуума. Записи, дающие дополнительную информацию, используемую при объяснении результатов мониторинга, например результаты мониторинга на рабочем месте, должны сохраняться несколько лет, т. е. достаточно долго, до тех пор, пока они остаются пригодными для любой вероятной переоценки данной интерпретации. Степень подробности представления и сохранения персональных данных должна соответствовать обычной практической деятельности нанимателя. Подробности выбросов радиоактивных отходов в окружающую среду необходимо сохранять по меньшей мере 10 лет, а обобщающие сведения — несколько десятков лет.

### 7.7. ПЛАНИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

(278) Когда объявляется чрезвычайная ситуация, которая может воздействовать на население, обычно должно происходить перерас-

пределение ответственности. Во многих случаях при начальном событии еще действует прежнее руководство работой. Тогда оно может взять на себя и первоначальный контроль за событием, но это неприемлемо, если событие находится вне рабочих помещений или распространяется за их пределы. Более широкую ответственность за действия при чрезвычайной ситуации обычно следует брать на себя регулирующему органу, который должен также решить, кто будет отвечать за выполнение любых действий, вытекающих из его решений.

(279) Аварии или неправильные оценки ситуаций могут потребовать неотложных действий. Ответственность за планирование действий при локальной чрезвычайной ситуации, если ее можно определить заранее, должна ложиться главным образом на руководство работами. За более общее планирование и, в особенности, за планирование на уровне страны должен отвечать регулирующий орган или другие органы, назначенные правительством. Локальные и общегосударственные планы должны быть тесно скоординированы и связаны с другими планами, относящимися к авариям без облучений. Следует также предусмотреть связи с региональными и международными планами. Часто необходимы двусторонние соглашения с соседними государствами; они существенны в тех случаях, когда основные объекты размещены около национальных границ. На детализированность планов действий при радиационных авариях будут влиять степень координации с другими планами, а также масштаб и ожидаемая частота аварий. Создание, содержание в готовности и использование планов чрезвычайных действий требуют существенной затраты средств, поэтому выбор масштаба планов имеет существенное практическое значение.

(280) Имеющийся опыт позволил определить несколько ключевых позиций, определяющих трудности планирования чрезвычайных ситуаций. Первая проблема — нужно установить, что авария действительно произошла и что необходимы чрезвычайные действия. Это нетрудно, если авария случилась на крупном заводе, но опасные ситуации, связанные с потерей или неправильным использованием радиоактивных источников, установить очень трудно. Вторая проблема — это быстрый сбор и интерпретация данных. Очевидно, что данные должны быть получены в зоне воздействия аварии, но не всегда осознается, что появится насущная потребность в сведениях, позволяющих успокоить районы, не подвергшиеся воздействию. В-третьих, интерпретацию данных следует доводить до решений и действий или до убедительного вывода, что никакие действия не нужны. Первоначальные решения часто должны приниматься лицом, находящимся в центре событий, независимо от формального распределения ответственности. Это нужно учитывать в пла-

нах, однако следует предусмотреть и более формальное принятие решения на более длительные сроки. Четвертая проблема — это связь. Потребность в информации постоянно недооценивали в прошлом. Нетрудно установить для аварийной службы систему связи, но ее создание и содержание очень дорого. Гораздо труднее достичь надлежащей связи с населением. Довольно просто предусмотреть местные инструкции и советы на случай аварий, как только будет определено их содержание. Гораздо труднее распространить атмосферу спокойствия на более обширные территории, где вмешательство не требуется. В национальных планах должны быть предусмотрены специальные указания.

(281) Многие разделы аварийных планов вследствие своей специфики в обычных условиях не используются, но должны постоянно поддерживаться в состоянии готовности путем регулярных тренировок. Тренировки часто рассматривают как способ опустошения скудных ресурсов, но их следует считать необходимой частью планирования на случай чрезвычайных ситуаций.

(282) Чрезвычайные действия следует вводить путем объявления чрезвычайного положения. Оно может быть локальным, примененным, например, лишь к одной установке или даже к одному рабочему месту, или может быть более широко распространенным. Такое объявление позволяет дополнительно показать, что система безопасности теперь связана с вмешательством. Впоследствии необходимо также дать указание об отмене чрезвычайного состояния и любых контрмер, которые были предприняты.

(283) Обязательное качество планов чрезвычайной ситуации — это их гибкость, но весьма полезно, если в эти планы войдут некоторые уровни вмешательства как основания для принятия безотлагательных решений. Эти уровни вмешательства устанавливаются для тех видов действия, которые, вероятно, будут необходимы и должны быть обнародованы или регулирующим органом, или от его имени. Как обсуждалось в гл. 6, выбор уровней вмешательства должен быть основан на значении дозы, предотвращаемой предлагаемым действием. Так как дозу, которая будет предотвращена, в период непосредственно после аварии оценить нелегко, то уровни вмешательства должны быть установлены для таких величин, которые можно измерить или оценить в момент использования. Уровни вмешательства не следует трактовать как пределы, они лишь руководство к действию.

(284) Чтобы избежать ограничений в международной торговле, особенно продуктами питания, в данной ситуации может оказаться необходимым применять производные уровни вмешательства. Они будут отмечать линию раздела между экспортом или импортом, свободным разрешенным, и таким, который должен быть предметом специ-

альных решений. Любые применяемые к товарам ограничения ниже уровня вмешательства, которые для этой цели лучше называть уровнями исключения вмешательства, следует рассматривать как искусственные барьеры в торговле. Торговля предметами выше уровня исключения вмешательства не должна быть автоматически запрещена, но такие предметы могут временно контролироваться. Уровни исключения вмешательства, используемые таким путем в международной торговле, необязательно должны иметь те же количественные значения, что и уровни вмешательства, используемые для начала действий при других обстоятельствах.

#### 7.8. ИСКЛЮЧЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ НЕГО

(285) Чтобы избежать чрезмерных регулирующих процедур, большинство регулирующих систем включает указания об освобождении от контроля в случаях, когда ясно, что практическая деятельность оправдана, но регулирующие указания являются при этом ненужными. Кроме того, могут быть даны указания о полном исключении некоторых ситуаций из области применения каких бы то ни было регулирующих инструкций.

(286) Комиссия полагает, что освобождение источников от контроля является важным компонентом регулирующих функций. Она отмечает, что Международное агентство по атомной энергии и Агентство по ядерной энергии ОЭСР\* издают соответствующие рекомендации для своих государств-членов.

(287) Имеются два основания для освобождения от регулирующего контроля источника или ситуации в окружающей среде. Одно из них заключается в том, что источник создает небольшие индивидуальные и небольшие коллективные дозы как в нормальных, так и в аварийных условиях, а другое — в том, что никакие разумные процедуры контроля не могут привести к значительному снижению индивидуальных и коллективных доз.

(288) Поиски оснований для освобождения от регулирующего контроля из-за незначительности доз пользуются большим успехом, но их очень трудно установить. Трудно решить вопрос о том, когда индивидуальная или коллективная дозы достаточно малы, чтобы можно было ими пренебречь в целях регулирования, но в то же время бывает трудно определить их источник. Например, пусть установлено, что данный источник — единственная причина появления азлени, индивидуальная и коллективная дозы от этого источника незначительны, однако человек в то же время может подвергаться

\* Организация экономического сотрудничества и развития. — Прим. ред.

воздействию от многих других источников. Когда за источник излучения принимают все причины появления аэрозолей в целом, то индивидуальные дозы еще могут оставаться небольшими, а коллективная доза может оказаться существенной. Основная проблема состоит в том, что освобождение от контроля неизбежно является процессом, связанным с источником, в то время как незначительность дозы связана прежде всего с индивидуумом.

(289) Когда освобожденный источник составляет целый класс устройств, то может оказаться, что нельзя освобождать от контроля производство и крупномасштабное хранение этих устройств. На сами устройства можно распространить требования утвержденных технических стандартов, и тогда их продажа и использование могут быть освобождены от дальнейших регулирующих требований. Если же их использование освобождено от контроля, то необходимо освободить от него и возможное захоронение таких устройств.

(290) Второе основание для освобождения от контроля требует такого же исследования, какое проводится при оптимизации защиты. Оно обеспечивает логическую основу для освобождения от контроля источников, которые не могут быть освобождены вследствие незначительности доз, но для которых регулирование в любом разумном масштабе приведет к небольшому улучшению или вообще не даст никакого улучшения.

(291) С источниками, которые по своей сути являются неконтролируемыми (космическое излучение на уровне земли и  $^{40}\text{K}$  в теле человека), лучше обращаться методом исключения из области применения инструментов регулирования, а не путем освобождения, как части инструментов регулирования.

(292) Иногда рассматривается другая форма освобождения от контроля. Некоторые источники вызывают далеко распространяющееся облучение, создающее очень малые индивидуальные дозы. Предполагается, что такие источники могут быть освобождены от регулирующего надзора, а малые индивидуальные дозы исключены из расчета коллективной дозы, так как результирующие риски для отдельных лиц столь незначительные, что ими можно пренебречь, даже если облучению подверглось много людей. С точки зрения обращения с отходами это приближение создает тенденцию пренебрегать большими коллективными дозами, полученными на больших расстояниях, и часто в других странах. Этот метод освобождения от контроля является иногда результатом скрытой формы оптимизации защиты. Если индивидуальные дозы малы и источники разбросаны широко, то дальнейшее уменьшение доз действительно невозможно при любом разумном распределении ресурсов. Однако маловероятно, чтобы этот аргумент позволил прийти к единому значению дозы, освобождающему от контроля.

(293) Комиссия признает, что этот метод освобождения, т. е. игнорирование коллективной дозы, если все индивидуальные дозы очень малы, находит, хоть и не всегда явно, применение, и он часто приводит к заключению, согласующемуся с заключением, которое явилось бы результатом применения системы безопасности Комиссии. Тем не менее согласованность достигается не всегда, и Комиссия не рекомендует использовать этот прием. Предел, до которого малые индивидуальные дозы нужно включать в оценку коллективных доз с целью оптимизации, зависит от степени, до которой вклад от этих доз влияет на выбор между рассматриваемыми вариантами. Дальнейшие указания приведены в Публикации 55 МКРЗ (1989 г.).

#### СВОДКА РЕКОМЕНДАЦИЙ

В сводке приведены основные рекомендации и новые концепции Рекомендаций Комиссии 1990 г. Пояснительный материал опущен. Порядок рекомендаций соответствует основному тексту.

#### ВВЕДЕНИЕ

(C1) Рекомендации предназначены для помощи регулирующим и консультативным органам, руководству учреждений и его специалистам. Они касаются лишь ионизирующего излучения и рассматривают только безопасность человека. Комиссия подчеркивает, что с ионизирующим излучением следует обращаться скорее с осторожностью, чем с боязнью, и что риски от него следует рассматривать в свете других рисков. Радиационная безопасность не может обеспечиваться только на основе одних научных соображений. Все они должны приводить к важным оценкам относительного значения различных видов риска и к балансу между рисками и пользой.

#### ВЕЛИЧИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

(C2) Комиссия использует макроскопические дозиметрические величины, признавая в то же время, что микродозиметрические величины, основанные на статистическом распределении событий в малом объеме вещества, в некоторых случаях могут быть более приемлемы. Основные дозиметрические величины в радиационной безопасности — это средняя поглощенная доза в ткани или органе  $D$ , т. е. энергия, поглощенная в единице массы; эквивалентная доза в ткани или органе  $H_T$ , полученная посредством взвешивания поглощенной дозы с помощью весового множителя излучения  $w_R$ , и эффективная

доза  $E$ , получаемая посредством взвешивания эквивалентной дозы с помощью тканевого весового множителя  $w_T$  и суммирования по всем тканям. Временной интеграл мощности эффективной дозы после поступления радионуклида в организм называется полувековой эффективной дозой  $E(t)$ , где  $t$  — время интегрирования (в годах) вслед за поступлением. Единицей поглощенной дозы является грей (Гр), а единицей эквивалентной и эффективной доз — зиверт (Зв). Значения весовых множителей излучения и тканевых весовых множителей приведены в табл. С-1 и С-2.

(С3) Другой полезной величиной является коллективная эффективная доза, которая представляет собой произведение средней эффективной дозы по группе людей на число индивидуумов в этой группе. С некоторыми оговорками можно считать, что она представляет общие последствия облучения населения или группы.

(С4) Комиссия использует термин "доза" как общий термин, который можно применять к любой из соответствующих дозиметрических величин. Комиссия также использует термин "облучение" в об-

Таблица С-1. Весовые множители излучения\*1

Вид излучения и диапазон энергий*2	Весовой множитель излучения $w_R$
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий*3	1
Нейтроны с энергией:	
< 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
> 100 кэВ до 2 МэВ	20
> 2 МэВ до 20 МэВ	10
> 20 МэВ	5
(см. также рис. 1)	
Протоны с энергией > 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
$\alpha$ -Частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

\*1 Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутренних источников — испущенному источником.

\*2 Выбор значений для других излучений обсуждается в Приложении А (см. примечание на с. 9).

\*3 Кроме электронов Оже, испущенных ядрами, связанными с ДНК (см. § 26).

Таблица С-2. Тканевые весовые множители\*1

Ткань или орган	Тканевой весовой множитель $w_T$	Ткань или орган	Тканевой весовой множитель $w_T$
Половые железы	0,20	Печень	0,05
Красный костный мозг	0,12	Пищевод	0,05
Толстый кишечник	0,12	Щитовидная железа	0,05
Легкие	0,12	Кожа	0,01
Желудок	0,12	Поверхность костей	0,01
Мочевой пузырь	0,05	Остальные органы	0,05*2,*3
Молочные железы	0,05		

\*1 Значения выведены для условного контингента населения с равным числом лиц обоего пола и с широким диапазоном возрастов. При определении эффективной дозы эти значения применимы для работающих, для всего населения и для каждого пола.

\*2 При вычислениях в остальные органы включены следующие дополнительные ткани и органы: верхний отдел толстого кишечника, вилочковая железа, головной мозг, матка, мышцы, надпочечники, поджелудочная железа, почки, селезенка и тонкий кишечник. Перечень включает органы, которые, по-видимому, могут подвергаться избирательному облучению. Известно, что некоторые органы из перечня чувствительны к индуцированию рака. Если впоследствии окажется, что другие ткани и органы также подвержены значительному риску заболевания раком, то они будут включены в таблицу со своим значением  $w_T$  или в этот дополнительный перечень, содержащий остальные органы. В него могут также входить другие ткани или органы, облученные избирательно.

\*3 В тех исключительных случаях, когда только одна ткань или орган из входящих в перечень остальных органов получает эквивалентную дозу, превышающую наибольшую дозу в любом из 12 органов, для которых указан весовой множитель, этой ткани или органу следует приписывать весовой множитель 0,025, а для средней дозы в остальных органах этого списка использовать также весовой множитель 0,025.

шем смысле для обозначения процесса воздействия излучения или радиоактивного вещества. Значимость облучения в этом смысле определяется получаемыми дозами.

#### БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

(С5) Ионизирующее излучение вызывает детерминированные и стохастические эффекты в облученной ткани. Цель радиационной безопасности состоит в том, чтобы избежать детерминированных эффектов, устанавливая предел дозы ниже порогов таких эффектов. Считается, что стохастические эффекты возникают, хотя и нечасто, даже при самых малых дозах и, следовательно, должны учитываться при всех дозах.

(С6) Детерминированные эффекты возникают в результате гибели клеток, которая, если доза достаточно велика, приводит к значительной потере клеток, нарушающей функцию ткани. Вероятность причинения такого вреда будет равна нулю при небольших дозах, но выше некоторого уровня дозы (порога клинического эффекта) вероятность будет круто возрастать до единицы (100%). Выше данного порога тяжесть вреда будет возрастать вместе с дозой. Пороги для таких эффектов часто составляют дозы несколько грей или мощности дозы доли грей за год.

(С7) При наблюдении детей, облученных в Хиросиме и Нагасаки еще в утробе матери во время критического периода 8–15 нед, выявлено, что с увеличением дозы распределение коэффициента умственного развития IQ смещается в сторону малых значений, а при более высоких дозах оно может привести к увеличению вероятности тяжелой умственной отсталости. Предполагается, что это детерминированный эффект с порогом, соответствующим минимальному смещению IQ, которое еще может быть распознано.

(С8) Стохастические эффекты могут возникнуть, когда облученная клетка изменилась, но не погибла. Измененные соматические клетки могут впоследствии, после продолжительной задержки развиться в раковое заболевание. Существуют механизмы восстановления и защиты, которые делают этот исход весьма маловероятным. Тем не менее вероятность заболеть раком в результате воздействия излучения возрастает с увеличением дозы и, вероятно, не имеет порога. Доза не влияет на степень тяжести болезни. Если повреждение возникает в клетке, функция которой состоит в передаче генетической информации последующим поколениям, то любые проявляющиеся эффекты, которые могут быть весьма различного рода и степени тяжести, обнаруживаются у потомства облученного лица. Этот тип стохастических эффектов называется "наследуемым".

(С9) Комиссия оценила вероятность смертельных случаев рака, основываясь главным образом на результатах изучения японцев, переживших атомные взрывы, и на определениях вероятности таких ми органами, как НКДАР и БЭИР\*. Эти комитеты оценили риск ракового заболевания за всю жизнь, рассмотрев данные, накопленные к 1985 г., новые данные дозиметрии (ДС86) и экстраполяцию на всю продолжительность жизни с помощью мультипликативной или модифицированной мультипликативной моделей для облучения при больших дозах и с большой мощностью дозы. Проанализировав имеющиеся экспериментальные данные о зависимостях доза-эффект и о влиянии дозы и мощности дозы, Комиссия сделала вывод,

\* Научный комитет (ООН) по действию атомной радиации и Комитет (АН США) по Биологическим Эффектам Ионизирующей Радиации. — Прим ред.

что наиболее вероятной зависимостью является линейно-квадратичная форма зависимости для излучений с малой ЛПЭ. Линейный коэффициент при малых дозах или малых мощностях дозы получен из оценок риска при больших дозах и большой мощности дозы путем давления на DDREF (коэффициент влияния дозы и мощности дозы), равный 2. В табл. С-3 приведены номинальные вероятности случаев смертельного рака для работающих и населения, которые несколько различаются вследствие более высокой чувствительности к облучению молодых людей. На основе дальнейшего анализа данных о лицах, переживших атомную бомбардировку. Комиссия дает свои оценки того, как данный риск случаев смертельного рака распределен по органам и какова потеря продолжительности жизни от рака в каждом из этих органов.

(С10) Оценки тяжелых наследуемых эффектов также основаны на результатах НКДАР и БЭИР, полученных по экспериментальным данным о генетических эффектах у животных. Очевидно, что эти оценки не меньше, чем для соответствующих эффектов у человека. Для работающих и для всего населения в табл. С-3 приведены коэффициенты вероятности возникновения при малых дозах и мощностях дозы тяжелых наследуемых эффектов во всех поколениях (происходящих почти в равной степени от доминантных мутаций и мутаций, связанных с X-хромосомой, с одной стороны, и многофакторных болезней, взвешенных по степени тяжести, с другой стороны).

(С11) Комиссия использует термин "ущерб", представляющий сочетание вероятности возникновения вредного для здоровья эффекта и оценки степени тяжести данного эффекта. Многие стороны понятия ущерба делают нежелательным выбор единственной величины, представляющей ущерб, и поэтому Комиссия приняла многомерную концепцию. Основными компонентами ущерба являются следующие стохастические величины: приписанная вероятность

Таблица С-3. Номинальные коэффициенты вероятности стохастических эффектов

Облученный контингент	Ущерб *1, 10 <sup>-2</sup> Зв <sup>-1</sup>			
	Смертельные случаи рака *2	Несмертельные случаи рака	Тяжелые наследуемые эффекты	Суммарный эффект
Взрослые работающие	4,0	0,8	0,8	5,6
Все население	5,0	1,0	1,3	7,3

\*1 Округленные значения.

\*2 Для смертельных случаев рака ущерб равен коэффициенту вероятности.

случаев смертельного рака, взвешенная приписанная вероятность случаев несмертельного рака, взвешенная вероятность тяжелых наследуемых эффектов и потеря продолжительности жизни, если вред причинен. Значения этого совокупного ущерба при малой дозе для работающего контингента и для всего населения также приведены в табл. С-3.

(С12) Комиссия также оценила распределение ущерба по органам и тканям, рассмотрев в первую очередь вероятность случаев смертельного рака в каждом из них, умножив на соответствующий множитель для случаев несмертельного рака (который определяется степенью тяжести – коэффициентом смертности – данной локализации рака), включив вероятность тяжелых наследуемых эффектов и учтя относительную потерю продолжительности жизни. Это распределение совокупного ущерба по органам представлено после соответствующего округления в виде тканевых весовых множителей, приведенных в табл. С-2.

(С13) Эффективная доза – это сумма взвешенных эквивалентных доз во всех тканях и органах тела, и она определяется выражением

$$E = \sum_T w_T H_T,$$

где  $H_T$  – эквивалентная доза в ткани или органе  $T$ , а  $w_T$  – весовой множитель ткани  $T$ . Эффективную дозу можно также выразить как сумму дважды взвешенных поглощенных доз во всех тех же тканях и органах тела.

#### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

(С14) Система радиационной безопасности должна быть нацелена на то, чтобы приносить больше пользы, чем вреда, должна требовать таких мер безопасности, которые дадут максимальную чистую пользу, и должна ограничить несправедливость, которая может возникнуть при столкновении интересов отдельных лиц и общества в целом.

(С15) Одни виды человеческой деятельности увеличивают общее облучение. Комиссия называет их "практической деятельностью". Другие виды человеческой деятельности могут снизить общее облучение, воздействуя на существующие причины облучения. Комиссия называет их "вмешательством".

(С16) Комиссия использует разделение облучения на три вида: профессиональное облучение, которое является облучением, происходящим во время работы и преимущественно в результате работы; медицинское облучение, которое является преимущественно облучением людей в качестве части их диагностики или лечения, и облучение населения, которое включает все другие виды облучения.

(С17) При практической деятельности и при вмешательстве часто почти наверняка известно, что облучения произойдут, и можно предсказать, хотя и с некоторой погрешностью, их значения. Но иногда возможность облучения существует, но нет уверенности, что оно произойдет. Комиссия называет такие облучения "потенциальными облучениями".

#### СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

(С18) Рекомендованная Комиссией система радиационной безопасности для вновь предлагаемой и продолжающейся практической деятельности основана на следующих основных принципах:

а) никакая практическая деятельность, связанная с облучением, не должна приниматься, если польза от нее для облученных лиц или общества в целом не превышает ущерба от вызванного ею облучения (оправданность практической деятельности);

б) для любого отдельного источника в рамках данной практической деятельности значения индивидуальных доз, число облученных лиц и вероятность подвергнуться облучениям, которые необязательно случаются, должны поддерживаться на столь низких уровнях, какие только могут быть разумно достигнуты с учетом экономических и социальных факторов. Эту процедуру следует ограничивать, сужая диапазон доз у отдельных лиц (используя граничные дозы) или уменьшая риск для отдельных лиц в случае потенциальных облучений (используя граничные риски), чтобы положить предел несправедливости, которая может возникнуть в результате процедуры экономического и социального оправдания (оптимизация защиты);

в) облучение отдельных лиц от сочетания всех соответствующих видов практической деятельности должно ограничиваться пределами дозы или контролем риска в случае потенциального облучения. Их цель – обеспечить, чтобы ни один из людей не подвергался рискам от облучения, считающимся неприемлемыми для этих видов практической деятельности в любых нормальных условиях. Не все источники поддаются контролю путем воздействий на них, и нужно определить, какие из них следует учитывать, перед выбором предела дозы (пределы индивидуальной дозы и риска).

(С19) Рекомендованная Комиссией система радиационной безопасности для вмешательства основана на следующих основных принципах:

а) предполагаемое вмешательство должно принести больше пользы, чем вреда, т. е. уменьшение ущерба в результате уменьшения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред от вмешательства и затраты на него, включая социальные затраты;

б) форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от уменьшения дозы, т. е. польза от уменьшения ущерба от излучения за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была максимальной. Пределы дозы не применяются в случае вмешательства. Принципы а) и б) позволят установить уровни вмешательства, которые помогут определить, при каких ситуациях вмешательство окажется уместным. Видимо, есть некоторый уровень планируемой дозы, выше которого вмешательство будет почти всегда оправданно из-за опасности возникновения серьезных детерминированных эффектов.

(С20) В любую систему безопасности должна входить и общая оценка ее эффективности при практической деятельности. Она должна исходить из распределения полученных доз и из оценки шагов, предпринятых для ограничения вероятности потенциальных облучений. Важно, чтобы основные принципы рассматривались как логически связанная система. Ни одну из ее частей не следует использовать в отдельности.

#### КОНТРОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

##### ГРАНИЧНЫЕ ДОЗЫ

(С21) Важной чертой оптимизации является выбор граничных доз — связанных с источником значений индивидуальной дозы, используемых для ограничения диапазона, рассматриваемого при оптимизации. Для многих видов профессиональных доз, которые, вероятно, будут получены при работе под хорошим управлением. Эти сведения можно использовать, чтобы установить граничные дозы для данного вида профессиональной занятости. Класс занятости следует определять в весьма общих терминах, таких, как работа в отделениях рентгенодиагностики, обычная работа на атомном предприятии или инспекция и обслуживание атомного предприятия. Пределы, предписанные регулирующими органами, и ограничения, налагаемые руководством на отдельные операции в качестве части повседневного контроля облучений, не являются граничными в используемом здесь смысле. Вообще говоря, их следует устанавливать на основе результатов оптимизации. Обычно было бы приемлемо, чтобы граничные дозы фиксировались на национальном или локальном уровне.

##### ПРЕДЕЛЫ ДОЗЫ

(С22) Пределы дозы для применения при профессиональном облучении приведены в табл. С-4.

Таблица С-4. Рекомендуемые пределы дозы\*1

Применение	Предел дозы, мЗв	
	профессиональной	для населения
Эффективная доза	20 мЗв в год, усредненные за определенные периоды в 5 лет*2	1 мЗв в год*3
Годовая эквивалентная доза*5		15
на хрусталики глаз,	150	50
на кожу*4,	500	—
на руки и ноги	500	—

\*1 Пределы применимы к сумме соответствующих доз от внешнего облучения за указанный период времени и полувекковой дозы за 50 лет (до возраста 70 лет для детей) от поступлений за тот же период времени (см. § 143).

\*2 С дополнительным условием, что эффективная доза не должна превышать 50 мЗв за любой отдельный год. На профессиональное облучение беременных женщин накладывают дополнительные ограничения (см. подразд. 5.3.3).

\*3 В особых условиях в отдельный год допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя доза за 5 лет не превысит 1 мЗв в год.

\*4 Ограничение эффективной дозы обеспечивает достаточную защиту кожи от стохастических эффектов. Для предупреждения детерминированных эффектов необходим дополнительный предел для локализованных облучений (см. § 173 и 194).

\*5 Ошибка: нужно применять эквивалент дозы. — Прим. ред.

(С23) Пределы дозы необходимы как часть контроля профессионального облучения в качестве предела для выбора граничных доз, а также чтобы защититься от ошибочных оценок при применении оптимизации.

(С24) При введении пределов дозы Комиссия ставила перед собой цель установить для отдельных видов практической деятельности с периодическим, а также непрерывным облучением такой уровень дозы, выше которого последствия для человека повсеместно рассматривались бы как неприемлемые. В прошлом Комиссия использовала приписанную вероятность смерти или тяжелых наследуемых нарушений в качестве основы для суждения о последствиях облучения. Эта величина еще остается основной, но более не рассматривается Комиссией как достаточная для характеристики ущерба.

(С25) В качестве предела эффективной дозы Комиссия рекомендует 20 мЗв в год, усредненные за 5 лет (100 мЗв за 5 лет), с допол-

нительной гарантией того, что эффективная доза в любой год не превысит 50 мЗв. Пятилетний период должен быть определен регулирующим органом, например, как дискретные календарные пятилетние периоды. Комиссия не рассчитывает на то, что, будучи введенным, предел будет затем применяться ретроспективно. В этих рекомендуемых пределах дозы подразумевается, что граничная доза для оптимизации не должна превышать 20 мЗв в год.

(С26) Обычно не нужно вводить специальных ограничений на облучение отдельного лица вслед за контрольным периодом, во время которого его облучение превысило предел дозы, хотя в отдельных случаях по этому поводу может потребоваться медицинская консультация. Такие события требуют тщательного изучения проекта и эксплуатационных аспектов безопасности рассматриваемой установки, обычно проводимого регулирующим органом, а не введения ограничений или взысканий, применяемых к облученному лицу. Если доза неизвестна или предполагается, что она велика, следует обратиться к врачу.

(С27) Рекомендованные пределы необходимо применять ко всем видам профессионального облучения, если нет специальных указаний регулирующего органа. Поскольку трудно достаточно быстро отреагировать на повышение требований к работам на уже существующих заводах и оборудовании. Комиссия признает, что регулирующие органы могут пожелать временно использовать более высокие пределы дозы. Такие мероприятия следует рассматривать как переходные.

(С28) Предел дозы составляет лишь часть системы безопасности, направленной на достижение уровней дозы, которые настолько малы, насколько это разумно достижимо с учетом экономических и социальных факторов. Он не должен рассматриваться как цель. С точки зрения Комиссии, предел дозы представляет тот уровень, при котором регулярное протяженное и преднамеренное профессиональное облучение еще можно разумно рассматривать как едва приемлемое.

(С29) Ограничения эффективной дозы достаточны для гарантии того, что удастся избежать детерминированных эффектов во всех тканях и органах тела, за исключением хрусталиков глаз, которые создают пренебрежимо малый вклад в эффективную дозу, и кожи, которая вполне может подвергнуться локализованному облучению. Для этих тканей необходимы отдельные пределы дозы. Годовые пределы составляют 150 мЗв для хрусталиков глаз, а для кожи — 500 мЗв, усредненных по любому участку в 1 см<sup>2</sup> независимо от площади всего облученного участка.

(С30) Для внутреннего облучения годовые пределы поступления будут основаны на полувековой эффективной дозе 20 мЗв. Для обес-

печения определенной гибкости оцененные поступления могут быть усреднены за период 5 лет. Пределы для профессионалов по радону в настоящее время еще рассматриваются. Значения, приведенные в Публикации 47 МКРЗ (1986 г.), пока остаются в силе.

#### ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ЖЕНЩИН

(С31) Основа для контроля профессионального облучения женщин, которые не являются беременными, та же, что и для мужчин, и Комиссия в общем не рекомендует специального профессионального предела дозы для женщин.

(С32) Если женщина заявила о беременности, то зародыш должен быть защищен путем применения дополнительного предела эквивалентной дозы на поверхности живота (нижней части туловища) женщины, равного 2 мЗв на оставшийся период беременности, и путем ограничения поступлений радионуклидов приблизительно до 1/20 предела годового поступления. Комиссия желает подчеркнуть, что использование ее системы безопасности, особенно граничных доз, связанных с источником, обычно будет обеспечивать адекватную гарантию согласованности с данным пределом, и нет необходимости вводить специальные ограничения на вид занятости беременной женщины. Тогда основной критерий будет состоять в том, что занятость должна быть такого типа, который не связан со значительной вероятностью получения больших аварийных доз и поступлений. Какие виды занятости связаны с большими дозами и с большим риском, которые для беременных женщин следует исключить, должны определять регулирующие органы.

#### КОНТРОЛЬ МЕДИЦИНСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

(С33) При рассмотрении оправданности практической деятельности, приводящей к медицинским облучениям, определение этой деятельности следует понимать в широком смысле. Однако каждая процедура, диагностическая или радиотерапевтическая, является предметом отдельного решения, так что имеется возможность рассмотрения от случая к случаю оправданности каждой процедуры. Это не обязательно для простых диагностических процедур, основанных на общих показаниях, но может быть важным для сложных исследований и для терапии.

(С34) Значительной областью для снижения доз, осуществляемого с помощью методов оптимизации, является диагностическая радиология. Процедуры следует рассматривать с использованием граничных доз или уровней исследования, выбранных соответствующим профессиональным или регулирующим органом для применения при некоторых общих диагностических процедурах. Они должны

применяться достаточно гибко, чтобы допускать более высокие дозы там, где это показано на основе разумной клинической оценки.

(С35) Граничные значения следует также рассматривать при оптимизации защиты в случае медицинских облучений, при которых не предполагается, что процедуры будут представлять непосредственную ценность для облучаемого человека, как, например, при научных и клинических исследованиях, включающих облучение добровольцев.

(С36) Обчно предполагают, что медицинские облучения приносят непосредственную пользу облучаемому индивидууму. Если эта практическая деятельность оправдана и защита оптимизирована, то доза у пациента будет настолько низкой, насколько это совместимо с медицинскими целями. Поэтому Комиссия рекомендует не изменять пределы дозы при медицинских облучениях. Далее, нельзя учитывать дозы, полученные пациентом во время курса диагностических исследований или терапии, при анализе соответствия облучения пределам дозы, применяемым для профессионального облучения или облучения населения.

(С37) Если нет веских клинических показаний, то следует избегать диагностических и терапевтических процедур, вызывающих облучение живота женщины, которая, возможно, беременна. Сведения о возможной беременности должны быть получены от самой пациентки. Если последняя ожидаемая менструация не состоялась и нет никакой другой соответствующей информации, то следует предполагать, что женщина беременна.

#### КОНТРОЛЬ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

(С38) Контроль облучения населения при всех нормальных условиях проводится путем контроля за источником, а не за окружающей средой. Почти всегда удается добиться контроля с помощью процедур граничной оптимизации и используя предписанные пределы. Часто удобно объединять людей, составляющих однородную группу по отношению к их облучению от одного источника. Когда такая группа состоит из людей, наиболее облучаемых данным источником, она называется критической группой. Граничные дозы должны изменяться к средней дозе (в критической группе) от источника, защита от которого оптимизируется.

#### ПРЕДЕЛЫ ДОЗЫ

(С39) Область применения пределов дозы для облучения населения ограничена дозами, полученными в результате практической деятельности. Дозы, полученные в ситуациях, когда единственное возможное защитное действие принимает форму вмешательства, исклю-

чаются из этой области применения. Отдельно следует обратить внимание на потенциальные облучения. Радон в зданиях и на открытом воздухе, радиоактивные вещества, естественные и искусственные, уже находящиеся в окружающей среде, и другие естественные источники являются примерами ситуаций, на которые можно воздействовать только путем вмешательства. Следовательно, дозы от этих источников находятся вне области применения пределов дозы для облучения населения. Осуществление вмешательства по разуму означает профессиональное облучение и должно рассматриваться соответствующим образом.

(С40) В настоящее время Комиссия рекомендует выражать предел дозы от облучения населения в виде эффективной дозы 1 мЗв в год. Однако в особых условиях можно допускать более высокое значение эффективной дозы за один год при условии, что среднее значение за 5 лет не превысит 1 мЗв в год.

(С41) Выбирая предел эффективной дозы, Комиссия стремилась найти значение, которое было бы почти неприемлемым для непрерывного облучения в результате осознанно проводимой практической деятельности, использование которой является предметом выбора. Это не означает, что более высокие дозы от других источников, таких, как радон в домах, должны рассматриваться как неприемлемые. Существование этих источников может быть нежелательным, но оно не является предметом выбора. Эти дозы можно контролировать только путем вмешательства, которое также может иметь нежелательные свойства.

(С42) Необходимы также пределы для хрусталиков глаз и для кожи, так как эти ткани необязательно будут защищены от детерминированных эффектов с помощью предела эффективной дозы. Комиссия рекомендует годовые пределы 15 мЗв для хрусталиков глаз и 50 мЗв для кожи в среднем на любом 1 см<sup>2</sup> независимо от площади облученного участка. Рекомендованные пределы приведены в табл. С-4.

#### ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБЛУЧЕНИЯ

(С43) Первоначальное рассмотрение потенциальных облучений должно составлять часть системы безопасности, применяемой к практической деятельности, но следует осознавать, что эти облучения, если они произойдут, могут потребовать вмешательства. На этом этапе должны быть поставлены две цели – предотвращение и ослабление. Предотвращение – это снижение вероятности такой последовательности событий, которые могут вызвать или увеличить облучения. Ослабление – это ограничение и снижение облучений, если случится какая-либо из этих последовательностей. Для снижения

последствий результатов аварии можно многое сделать на этапах проектирования и эксплуатации для того, чтобы вмешательство оказалось ненужным.

(С44) Для сохранения четкой согласованности между трактовкой фактического и потенциального облучений потребовалось бы расширить понятие ущерба, включив в него вероятность возникновения ситуации, вызывающей данный ущерб. Методы достижения этой цели уже разрабатываются. Всесторонний подход к проблеме требует применения многофакторного анализа. Если дозы оказываются малыми, даже когда событие произойдет, то возможен более простой подход и для индивидуального, и для коллективного облучения. Если дозы, будь они получены, не превысят пределов дозы, то можно адекватно использовать произведение ожидаемой дозы и вероятности ее получения, как если бы эта доза была определенно получена. Затем уже можно использовать обычные процедуры обоснования оправданности и оптимизации.

#### СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВМЕШАТЕЛЬСТВЕ

(С46) До того как программа вмешательства начала действовать, следует показать, что предлагаемое вмешательство будет оправдано, т. е. принесет больше пользы, чем вреда, и что вид, масштаб и продолжительность вмешательства были выбраны такими, чтобы оптимизировать защиту. Процессы оправданности и оптимизации применимы к защитному действию, поэтому при принятии решения следует рассматривать их совместно. Оправданность — это процесс решения о том, действительно ли убытки от каждого компонента вмешательства, т. е. каждого защитного действия, более чем перекрываются теми снижениями дозы, которые, вероятно, будут достигнуты. Оптимизация — это процесс решения в выборе такого вида, масштаба и продолжительности действия, который позволит получить максимальную чистую пользу. Другими словами, для каждого принятого защитного действия разность между убытками и пользой, выраженными в одних и тех же понятиях, например, затратах, включая социальные издержки, допускающие причинение беспокойства, должна быть положительной и сделана максимальной путем подбора всех деталей этого действия.

#### РАДОН В ДОМАХ

(С47) Радон в домах требует особого внимания, так как и индивидуальная, и коллективная дозы от радона больше дозы почти от любых других источников. Если необходимы усовершенствования

в уже существующих домах, то они должны быть выполнены с помощью вмешательства, включающего модификации зданий или изменение поведения жильцов.

(С48) Комиссия предложила использовать уровни действия, чтобы помочь в решении о том, когда нужно требовать или рекомендовать действия по исправлению ситуации в уже существующих домах. Выбор уровня действия сложен и зависит не только от уровня облучения, но и от вероятного масштаба действия, который имеет экономическое значение для общества и для отдельных лиц. Для избранных регионов в отношении строительства новых домов могут издаваться руководства и нормы проектирования, обеспечивающие с большей вероятностью меньшее облучение в домах, чем выбранный контрольный уровень. Комиссия начала дальнейший пересмотр текущего опыта, намереваясь в свое время выпустить пересмотренные рекомендации. Между тем пока следует использовать руководящие указания Публикации 39 МКРЗ (1984 г.).

#### ВМЕШАТЕЛЬСТВО ПОСЛЕ АВАРИЙ

(С49) Польза от отдельного защитного действия в рамках программы вмешательства должна оцениваться на основе достигнутого или ожидаемого снижения дозы в результате этого конкретного защитного действия, т. е. на основе предотвращенной дозы. Таким образом, каждое защитное действие следует рассматривать по своим собственным меркам. Однако дополнительно нужно оценивать дозы, которые были бы получены от всех соответствующих путей облучения, часть которых подпадает под защитные действия, а часть нет. Если полная доза у некоторых лиц настолько высока, что является неприемлемой даже в чрезвычайной ситуации, то должна быть срочно рассмотрена возможность дополнительных защитных действий, влияющих на основной вклад в полную дозу. К такому пересмотру должны побудить и дозы, вызывающие серьезные детерминированные эффекты или большую вероятность стохастических эффектов.

(С50) Профессиональные облучения аварийных групп во время чрезвычайной ситуации и действий по ее исправлению могут быть ограничены с помощью контроля работ. При серьезных авариях можно допустить некоторое ослабление контроля по сравнению с нормальными ситуациями, но без снижения долговременного уровня безопасности. Такое ослабление при контроле аварий и при проведении срочной и неотложной восстановительной работы не должно допускать эффективных доз больше, чем приблизительно 0,5 Зв, за исключением действий по спасению жизней, которые редко можно ограничить дозиметрическими оценками. Не следует допускать эквивалентной дозы на кожу, превышающей приблизительно 5 Зв. Как только чрезвычайная ситуация взята непосредственно под конт-

роль, восстановительные работы должны проводиться как часть обычного профессионального облучения, вызванного практической деятельностью.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ КОМИССИИ

(C51) В гл. 7 рекомендаций подчеркивается важность рабочего уровня радиационной безопасности и показано, как его следует совершенствовать на основе требований регулирующих органов и рекомендаций Комиссии. В настоящее время Комиссия рекомендует, чтобы вопрос об установлении контролируемых зон и зон наблюдения решался или на этапе проектирования, или на месте руководства работ на основе оценок и опыта эксплуатации. Классификация условий работы, основанная на предполагаемой дозе, уже не рекомендуется. В гл. 7 приведены советы по измерению доз (мониторингу и хранению информации) и по медицинскому наблюдению, а также обсуждаются планирование на случай чрезвычайных ситуаций и основы для освобождения от регулирующих требований. Рассматриваются как практическая деятельность, так и вмешательство.

#### ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Упоминание отдельных предметов в Публикации отмечено с помощью номера параграфа

Активность радионуклида (Activity, radionuclide) 37

Беременность (Pregnancy)

биологические эффекты во время беременности (biological effects during pregnancy) 90 – 93

действие на умственное развитие (effects in IQ) 91, 92

пороги для детерминированных эффектов (thresholds for deterministic effects) 90

Биологические виды, за исключением человека (Non-human species) 16

Биологические эффекты ионизирующего излучения, конспект (Biological effects of radiation, outline) 40 – 42

Величины дозиметрические и микродозиметрические (Quantities, dosimetric and microdosimetric) 17, 18

Весовой множитель излучения (Radiation weighting factor) 23 – 26

непрерывное энергетическое распределение (continuous energy distributions) 26

определение (definition) 24

основы выбора (basis of selection) 25

рекомендованные значения (values recommended) таблица 1

электроны Оже (Auger electrons) 26

Взаимосвязанные ситуации (Interactive situations) 207 – 209

Взвешивание по различным биологическим эффектам (Weighting for different biological effects) 89, 95 – 98

Возбуждение (Excitation) 44

Вмешательство (Intervention)

затраты (costs) 213

оправданность (justification) 113, 212

определение (definition) 130

оптимизация (optimisation) 212

организация (organisation) 228

основа для принятия решений (basis for decision) 113, 210–214, 220–223

пищевые продукты (foodstuffs) 284

пределы дозы неприменимы (dose limits inapplicable) 113, 131

при профессиональном облучении (occupational exposure) 189

при облучении населения (public exposure) 211 - 214, 220 - 223  
серьезные детерминированные эффекты (serious deterministic effects) 113, 131, 222  
уровни (levels) 113, 214  
Вмешательство и практическая деятельность (Intervention and practices) 106  
Восстановление (Repair) 44, 54  
Гормезис (Hormesis) 46  
Граничное значение дозы (Dose constraint; см. Граничные значения)  
Граничное значение риска (Risk constraint; см. Граничные значения)  
Граничные значения (Constraints) 112, 121, 145  
добровольцы в медико-биологических исследованиях (volunteers in biomedical research) 181  
использование в регулировании облучения (regulation, use in) 238, 239, 242, 245  
медицинского облучения (medical exposure) 180  
облучения населения (public exposure) 186, 192  
потенциального облучения (potential exposure) 198, 203, 205, 206  
профессионального облучения (occupational exposure) 144, 145  
Дерево возможных путей облучения (Network of exposure pathways) 102 - 107  
Детерминированные эффекты (Deterministic effects) 45, 52 - 61  
вид зависимости доза-эффект (shape of dose-effect relationship) 54  
источники сведений (sources of information) 52, 53  
ЛД<sub>50</sub> для равномерного облучения тела (LD<sub>50</sub> for uniform exposure of body) 61  
пороги (thresholds) 59, 61  
ДНК (DNA) 44, 63  
Добровольцы (Volunteers; см. Медицинское облучение)  
Дозиметрия (Dosimetry)  
медицинское облучение (medical exposure) 272  
облучение населения (public exposure) 273 - 275  
профессиональное облучение (occupational exposure) 266 - 271  
Единицы СИ (SI units) 41  
Зоны наблюдения (Supervised areas) 251, 252  
Изменение и потери клеток (Cell loss and modification) 19 - 21, 44, 45  
Индивидуум и общество (Individual and society) 101  
Ионизация (Ionization) 13, 44  
Классификация рабочих мест и условий работы (Classification of work places and working conditions) 251 - 253  
Коллективная эквивалентная доза (Collective equivalent dose) 34  
Коллективная эффективная доза (Collective effective dose) 39  
Комиссия (Commission)

история (history) 3, 5  
метод работы (method of work) 6  
связи с другими организациями (relation with other bodies) 4  
Контролируемые зоны (Controlled areas) 251, 252  
Контрольные уровни (Reference levels; см. также Уровни вмешательства) 257  
Коэффициент вероятности смертельного исхода (Fatality probability coefficient) 39  
номинальный (nominal) 79  
Коэффициент качества (Q, Quality factor) 23, 26  
Коэффициент N, отказ от применения (N, discontinued use of) 30  
Линейная передача энергии (ЛПЭ, L; Linear Energy Transfer, LET) 25  
Медицинское наблюдение (Medical surveillances) 259 - 263  
Медицинское облучение (Medical exposure)  
беременные пациентки (pregnant patients) 184  
добровольцы при медико-биологических исследованиях (volunteers in biomedical research) 181  
граничные значения (constraints) 180  
дозиметрия (dosimetry) 272  
оправданность (justification) 179  
определение (definition) 139  
оптимизация (optimisation) 180, 181  
пределы дозы неприменимы (dose limits inapplicable) 182, 183  
система безопасности (system of protection) 179 - 181  
Меры контроля, их применение (Control measures, application of; см. также Дерево путей облучения) 107  
Модели (Models)  
переноса (transfer) 82  
реалистические (realistic) 264, 265  
экстраполяции риска (projection) 76, 77, 81  
Мониторинг (Monitoring; см. Дозиметрия)  
Мощность дозы на одного человека (Dose rate, per caput) 36  
Наследуемые эффекты (Hereditary effects) 21, 87 - 89  
взвешивание (weighting) 89  
коэффициент ущерба (detriment coefficient) 89, таблицы 3 и 4  
номинальный коэффициент вероятности (nominal probability coefficient) 84  
Неионизирующие излучения (Non-ionising radiation) 15  
Несмертельный случай рака, взвешивание (non-fatal cancer, weighting) 95  
Нормативные документы (Regulatory texts) 10  
Облучение (Exposure; см. Типы облучения)  
Облучение в утробе матери (Antenatal exposure; см. Беременность)

Облучение населения (Public exposure)  
  граничные значения (constraints) 186, 192  
  дозиметрия (dosimetry) 273 – 275  
  критические группы (critical groups) 186  
  оправданность (justification) 185  
  определение (definition) 140  
  оптимизация (optimisation) 186, 187  
  пределы дозы (dose limits; см. Пределы дозы)  
  система безопасности (system of protection) 185, 186  
Ограничения источника сверху (Source upper bounds; см. Граничные значения)  
Общие обозначения (Generic terms) 40  
Ожидаемая доза (Dose commitment) 36  
Окружающая среда (Environment) 16  
Оправданность (Justification)  
  вмешательства (intervention) 131, 212  
  медицинских облучений (medical exposure) 179  
  потенциального облучения (potential exposure) 201, 202  
  практической деятельности (practice) 112, 115, 116  
  профессионального облучения (occupational exposure) 144 – 146  
Оптимизация (Optimisation)  
  взаимодействующие ситуации (interactive situations) 208  
  вмешательство (intervention) 212  
  использование граничных значений (use of constraints) 121, 181  
  медицинского облучения (medical exposure) 180  
  облучения населения (public exposure) 186, 187  
  потенциального облучения (potential exposure) 201, 203  
  практической деятельности (practice) 117 – 121  
  профессионального облучения (occupational exposure) 144 – 146  
Освобождение и исключение (Exemption and exclusion) 285 – 293  
Относительная биологическая эффективность (ОБЭ; Relative biological effectiveness, RBE) 25  
детерминированные эффекты (deterministic effects) 57  
Отношение к излучению (Attitudes to radiation) 14  
Отношение (к излучению), основанное на безопасности (Attitudes, safety based) 247  
Оценки, отнесенные к отдельному лицу (Individual related assessments) 103, 105  
Оценки, связанные с источником (Source related assessments) 103, 104, 242  
Повреждение и связанные с ним термины (Damage and associated terms) 42  
Поглощенная доза (Absorbed dose)  
  детерминированные эффекты (deterministic effects) 22, 57

определение (definition) 22  
последствия (облучения) (consequences) 30, 32  
стохастические эффекты (stochastic effects) 23, 24  
усредненная (средняя) (averaging) 22, 24  
Полувековая эквивалентная доза (Committed equivalent dose) 33  
Полувековая эффективная доза (Committed effective dose) 33  
Потенциальное облучение (Potential exposure)  
  взаимодействующие ситуации (interactive situations) 209  
  граничный риск (risk constraints) 198, 204, 205  
  методы (techniques) 249  
  оправданность (justification) 202  
  определение (definition) 111  
  оптимизация (optimisation) 203  
  планирование и проектирование (Practices and design) 195  
  пределы (limits) 204 – 206  
  регулирование (regulation) 244 – 246  
  ущерб (detriment) 118  
Права и обязанности (Responsibility and authority) 230 – 233  
Практическая деятельность и вмешательство (Practices and intervention) 106  
Пределы дозы от профессионального облучения и от облучения населения (Dose limits, occupational and public exposure)  
  беременные женщины (pregnant women) 178  
  исторические тенденции (historical trends) 9  
  как мера эксплуатационных характеристик, неадекватная (measure of performance, not an adequate) 114  
  меры в случае превышения (action if exceeded) 167  
  область применения (scope) 122, 143, 147, 182, 183, 189  
  основа выбора (basis of selection) 148, 149, 155 – 162, 190, 191  
  периодичность контроля (control periods) 163 – 166, 192  
  понятие (concept) 112, 122 – 126, 169  
  потенциального облучения (potential exposure) 129  
  при вмешательстве неприемлемы (intervention, not applicable to) 113, 131  
  предел годового поступления (ПГП; annual limits on intake, ALI) 174, 175, 269  
  радон (radon) 174  
  толерантность (tolerability) 123, 124, 150  
  эквивалентной дозы\* для хрусталиков глаз (equivalent dose\*, lens of the eye) 172, 194, табл. 6  
  эквивалентной дозы\* на кожу и на конечности (equivalent dose\*,

\* Ошибка, должен быть эквивалент дозы, dose equivalent. – Прим. ред.

skin and extremities) 173, 194, табл. 6  
эффективной дозы (effective dose) 166, 192, табл. 6  
Профессиональное облучение (Occupational exposure)  
  граничные значения (constraints) 144, 145  
  дозиметрия (dosimetry) 266 – 271  
  женщины (women) 176 – 178  
  контроль облучений (control of exposures) 110  
  определение (definition) 134, 136, 251  
  оптимизация (optimisation) 144 – 146  
  пределы дозы (dose limits; см. Пределы дозы)  
  система безопасности (system of protection) 144 – 146  
  чрезвычайные ситуации (emergencies) 224, 225  
Рабочие инструкции (Operational guides) 254 – 256  
Радон (Radon)  
  в домах (dwellings) 189, 216 – 218  
  профессиональное облучение (occupational exposure) 135, 136, 174  
  рак легких (lung cancer) 66  
Рак (Cancer)  
  зависимость доза – эффект (dose-response relationship) 72, 73  
  источники информации (sources of information) 52, 53, 64 – 67, 84  
  коэффициент вероятности смертельного исхода при облучении в  
  утробе матери (fatality coefficient for antenatal exposure) 91  
  линейно-квадратичная модель (linear quadratic model) 72, 73  
  модели перехода между разными популяциями (population transfer  
  model) 82  
  модели экстраполяции риска (risk projection models) 76, 77  
  номинальный коэффициент вероятности смертельного исхода  
  (nominal fatality probability coefficient) 79 – 83, табл. 3 и 4  
  первичный источник данных – японские пожизненные исследования  
  (Japanese Life Span Study primary source of data) 64, 80  
  порог маловероятен (threshold not likely) 68  
  эпидемиологические проблемы (epidemiological problems) 64 – 67,  
  75, 84  
Регулирующие требования (Regulatory requirements) 236 – 246  
  вмешательство (intervention) 242, 278, 279  
  потенциальное облучение (potential exposure) 244 – 246  
  практическая деятельность (practices) 238 – 243  
Рекомендации (Recommendations)  
  кому адресованы (to whom addressed) 7  
  область применения (scope) 14, 16  
  развитие (development) 6 – 9  
  стабильность (stability) 8  
  цели (aims) 10

Риск (Risk)  
  используется лишь описательно (used only descriptively) 43  
  отношение к риску (attitudes) 14  
Система радиационной безопасности (System of radiological protection)  
  вмешательство (intervention) 113, 130, 131  
  основные цели (basic aims) 100  
  оценка эффективности (assessment of effectiveness) 114, 132  
  практическая деятельность (practices) 112  
Службы профессиональной безопасности и здоровья (Services, occupa-  
  tional for protection and health) 258 – 263  
Согласованность (Compliance) 245, 246, 265, 276  
Социальная оправданность (Social judgements) 6, 15, 100, 123, 170  
Стандартизация (Standardisation, engineering) 120  
Стохастические эффекты (Stochastic effects; см. также Рак и наследуе-  
  мые эффекты) 21, 45  
Типы облучения (Types of exposure; см. также по каждому из типов)  
  потенциальное (potential) 11, 195 – 206  
  профессиональное, медицинское, облучение населения (occupa-  
  tional, medical, public) 109, 134 – 140  
Тканевой весовой множитель (Tissue weighting factor)  
  определение (definition) 27  
  основа для выбора (basis of selection) 94 – 96  
  остальные ткани и органы (remainder tissues) табл. 2  
  рекомендованные значения (values recommended) табл. 2  
Требования к руководству (Management requirements) 247, 250  
  обучение (training) 247  
  позиция, основанная на безопасности (safety based attitude) 247  
  рабочие инструкции (operational guides) 254 – 256  
  службы безопасности и здоровья (services for protection and health)  
  258 – 263  
  структура руководства (management structure) 248, 249  
  хранение информации (record keeping) 277  
Ущерб (Detriment)  
  наследуемый компонент (hereditary component) 88, 89  
  от несмертельных случаев рака (non-fatal cancer component) 95, 154  
  от потенциального облучения (potential exposure) 127, 196, 199, 200  
  понятие (concept) 42, 47 – 51  
  совокупное приближение для тканевых весовых множителей (aggre-  
  gated approach for tissue weighting factor) 94  
  сочетанное облучение персонала и населения (combined public  
  and occupational exposure) 208  
Хранение информации (Record keeping) 277  
Чрезвычайные ситуации (Emergencies)

планирование (planning) 278 – 284  
профессиональное облучение (occupational exposure) 224, 225  
уровни вмешательства (intervention levels) 214, 221 – 223, 283, 284  
Эквивалент дозы (Dose equivalent; см. также Эквивалентная доза)  
  амбиентный (ambient) 38  
  индивидуальный, проникающего излучения и поверхностный (individual, penetrating and superficial) 38  
  направленный (directional) 38  
  основанный на  $Q$  (based on  $Q$ ) 23  
Эквивалентная доза (Equivalent dose)  
  определение (definition) 24  
  предназначение (intended use) 32  
  применение для детерминированных эффектов (use for deterministic effects) 57  
Эффективная доза (Effective dose)  
  определение (definition) 28  
  предназначение (intended use) 32  
Эффективность системы радиационной безопасности (Effectiveness of system of protection) 114, 132, 276

РЕКОМЕНДАЦИИ МКРЗ

ПРЕДЕЛЫ  
ГОДОВОГО ПОСТУПЛЕНИЯ  
РАДИОНУКЛИДОВ  
В ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ,  
ОСНОВАННЫЕ  
НА РЕКОМЕНДАЦИЯХ  
1990 года

ПУБЛИКАЦИЯ 61 МКРЗ

Доклад Комитета 2 Международной  
Комиссии по радиологической защите

МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1994