Нормы безопасности МАГАТЭ

для защиты людей и охраны окружающей среды

Радиационная защита при профессиональном облучении

Разработано совместно

IAEA

Общее руководство по безопасности

№ GSG-7

IAEA
Международное агентство по атомной энергии

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

В соответствии со статьей III своего Устава МАГАТЭ уполномочено устанавливать или принимать нормы безопасности для защиты здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

Публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы, выпускаются в Серии норм МАГАТЭ по безопасности. В этой серии охватываются вопросы ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов. **Категории публикаций в этой серии — это Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности**.

Информацию о программе МАГАТЭ по нормам безопасности можно получить на сайте МАГАТЭ в Интернете

http://www-ns.iaea.org/standards/

На этом сайте содержатся тексты опубликованных норм безопасности и проектов норм безопасности на английском языке. Тексты норм безопасности выпускаются на арабском, испанском, китайском, русском и французском языках, там также можно найти глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности и доклад о ходе работы над еще не выпущенными нормами безопасности. Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: PO. Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Всем пользователям норм МАГАТЭ по безопасности предлагается сообщать МАГАТЭ об опыте их использования (например, в качестве основы для национальных регулирующих положений, для составления обзоров безопасности и учебных курсов) в целях обеспечения того, чтобы они по прежнему отвечали потребностям пользователей. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ в Интернете или по почте (см. адрес выше), или по электронной почте по адресу Official.Mail@iaea.org.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

МАГАТЭ обеспечивает применение норм и в соответствии со статьями III и VIII.C своего Устава предоставляет сведения и способствует обмену информацией, касающейся мирной деятельности в ядерной области, и служит в этом посредником между своими государствами членами.

Доклады по вопросам безопасности и защиты в ядерной деятельности выпускаются в качестве **докладов по безопасности**, в которых приводятся практические примеры и подробные описания методов, которые могут использоваться в поддержку норм безопасности.

Другие публикации МАГАТЭ по вопросам безопасности выпускаются в качестве **докладов по радиологическим оценкам, докладов ИНСАГ** — Международной группы по ядерной безопасности, **технических докладов** и документов серии **TECDOC**. МАГАТЭ выпускает также доклады по радиологическим авариям, учебные пособия и практические руководства, а также другие специальные публикации по вопросам безопасности.

Публикации по вопросам физической безопасности выпускаются в **Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности**.

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из информационных публикаций, предназначенных способствовать и содействовать научно исследовательской работе в области ядерной энергии, а также развитию ядерной энергии и ее практическому применению в мирных целях. В ней публикуются доклады и руководства о состоянии технологий и успехах в их совершенствовании, об опыте, образцовой практике и практических примерах в области ядерной энергетики, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и снятия с эксплуатации.

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ
АВСТРИЯ
АЗЕРБАЙДЖАН
АЛБАНИЯ
АЛЖИР
АНГОЛА
АНТИГУА И БАРБУДА
АРГЕНТИНА
АРМЕНИЯ
АФГАНИСТАН
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА
БАНГЛАДЕШ
БАРБАДОС
БАХРЕЙН
БЕЛАРУСЬ
БЕЛИЗ
БЕЛЬГИЯ
БЕНИН
БОЛГАРИЯ
БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА
БОТСВАНА
БРАЗИЛИЯ
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ
БУРКИНА-ФАСО
БУРУНДИ
ВАНУАТУ
ВЕНГРИЯ
ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ВЬЕТНАМ
ГАБОН
ГАИТИ
ГАЙАНА
ГАНА
ГВАТЕМАЛА
ГЕРМАНИЯ
ГОНДУРАС
ГРЕНАДА
ГРЕЦИЯ
ГРУЗИЯ
ДАНИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО
ДЖИБУТИ
ДОМИНИКА
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ
ЗАМБИЯ
ЗИМБАБВЕ
ИЗРАИЛЬ
ИНДИЯ
ИНДОНЕЗИЯ
ИОРДАНИЯ
ИРАК
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ИРЛАНДИЯ
ИСЛАНДИЯ
ИСПАНИЯ
ИТАЛИЯ
ЙЕМЕН
КАЗАХСТАН
КАМБОДЖА
КАМЕРУН
КАНАДА
КАТАР
КЕНИЯ
КИПР
КИТАЙ
КОЛУМБИЯ
КОМОРСКИЕ ОСТРОВА
КОНГО
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА
КОСТА-РИКА
КОТ-Д'ИВУАР
КУБА
КУВЕЙТ
КЫРГЫЗСТАН
ЛАТВИЯ
ЛАОССКАЯ НАРОДНО-ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЛЕСОТО
ЛИБЕРИЯ
ЛИВАН
ЛИВИЯ
ЛИТВА
ЛИХТЕНШТЕЙН
ЛЮКСЕМБУРГ
МАВРИКИЙ
МАВРИТАНИЯ
МАДАГАСКАР
МАЛАВИ
МАЛАЙЗИЯ
МАЛИ
МАЛЬТА
МАРОККО
МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА
МЕКСИКА
МОЗАМБИК
МОНАКО
МОНГОЛИЯ
МЬЯНМА
НАМИБИЯ
НЕПАЛ
НИГЕР
НИГЕРИЯ
НИДЕРЛАНДЫ
НИКАРАГУА
НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ
НОРВЕГИЯ
ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ
ОМАН
ПАКИСТАН
ПАЛАУ
ПАНАМА
ПАРАГВАЙ
ПАПУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ
ПЕРУ
ПОЛЬША
ПОРТУГАЛИЯ
РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
РУАНДА
РУМЫНИЯ
САЛЬВАДОР
САМОА
САН-МАРИНО
САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ
СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
СЕНЕГАЛ
СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ
СЕНТ-ЛЮСИЯ
СЕРБИЯ
СИНГАПУР
СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
СЛОВАКИЯ
СЛОВЕНИЯ
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
СУДАН
СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
ТАДЖИКИСТАН
ТАИЛАНД
ТОГО
ТРИНИДАД И ТОБАГО
ТУНИС
ТУРКМЕНИСТАН
ТУРЦИЯ
УГАНДА
УЗБЕКИСТАН
УКРАИНА
УРУГВАЙ
ФИДЖИ
ФИЛИППИНЫ
ФИНЛЯНДИЯ
ФРАНЦИЯ
ХОРВАТИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЧАД
ЧЕРНОГОРИЯ
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЧИЛИ
ШВЕЙЦАРИЯ
ШВЕЦИЯ
ШРИ-ЛАНКА
ЭКВАДОР
ЭРИТРЕЯ
ЭСВАТИНИ
ЭСТОНИЯ
ЭФИОПИЯ
ЮЖНАЯ АФРИКА
ЯМАЙКА
ЯПОНИЯ

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире».

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ, № GSG-7

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ

ОБЩЕЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

РАЗРАБОТАНО СОВМЕСТНО
МЕЖДУНАРОДНЫМ АГЕНТСТВОМ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И
МЕЖДУНАРОДНЫМ БЮРО ТРУДА

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2021 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр,
а/я 100,
A1400 Вена, Австрия
Факс: +43 1 26007 22529
Тел.: +43 1 2600 22417
Эл. почта: sales.publications@iaea.org
Веб-сайт: https://www.iaea.org/publications

© МАГАТЭ, 2021

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Февраль 2021 года
STI/PUB/1785

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА
ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2021 ГОД
STI/PUB/1785
ISBN 978–92–0–419820–1 (paperback : alk. paper)
ISBN 978–92–0–419920–8 (pdf)
ISSN 1020–5845

ВВЕДЕНИЕ

Устав МАГАТЭ уполномочивает Агентство «устанавливать или применять … нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества» — нормы, которые МАГАТЭ должно использовать в своей собственной работе и которые государства могут применять посредством их включения в свои регулирующие положения в области ядерной и радиационной безопасности. МАГАТЭ осуществляет это в консультации с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями. Всеобъемлющий свод высококачественных и регулярно пересматриваемых норм безопасности наряду с помощью МАГАТЭ в их применении является ключевым элементом стабильного и устойчивого глобального режима безопасности.

МАГАТЭ начало осуществлять свою программу по нормам безопасности в 1958 году. Значение, уделяемое качеству, соответствию поставленной цели и постоянному совершенствованию, лежит в основе широкого применения норм МАГАТЭ во всем мире. Серия норм безопасности теперь включает единообразные Основополагающие принципы безопасности, которые выработаны на основе международного консенсуса в отношении того, что должно пониматься под высоким уровнем защиты и безопасности. При твердой поддержке со стороны Комиссии по нормам безопасности МАГАТЭ проводит работу с целью содействия глобальному признанию и использованию своих норм.

Однако нормы эффективны лишь тогда, когда они надлежащим образом применяются на практике. Услуги МАГАТЭ в области безопасности охватывают вопросы проектирования, выбора площадки и инженерно-технической безопасности, эксплуатационной безопасности, радиационной безопасности, безопасной перевозки радиоактивных материалов и безопасного обращения с радиоактивными отходами, а также вопросы государственной основы, регулирования и культуры безопасности в организациях. Эти услуги в области безопасности содействуют государствам-членам в применении норм и позволяют обмениваться ценным опытом и данными.

Ответственность за деятельность по регулированию безопасности возлагается на страны, и многие государства принимают решения применять нормы МАГАТЭ по безопасности в своих национальных регулирующих положениях. Для сторон различных международных конвенций по безопасности нормы МАГАТЭ являются согласованным и надежным средством обеспечения эффективного выполнения обязательств, вытекающих из этих конвенций. Эти нормы применяются также

регулирующими органами и операторами во всем мире в целях повышения безопасности при производстве ядерной энергии и применении ядерных методов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях.

Безопасность — это не самоцель, а необходимое условие защиты людей во всех государствах и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Риски, связанные с ионизирующими излучениями, должны оцениваться и контролироваться без неоправданного ограничения вклада ядерной энергии в справедливое и устойчивое развитие. Правительства, регулирующие органы и операторы во всем мире должны обеспечивать, чтобы ядерный материал и источники излучения использовались для всеобщего блага, в условиях безопасности и с учетом мнения общественности. Для содействия этому предназначены нормы МАГАТЭ по безопасности, которые я призываю применять все государства-члены.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Профессиональное облучение в результате воздействия ионизирующих излучений может происходить в различных отраслях промышленности, медицинских, учебных и научных учреждениях и на установках ядерного топливного цикла. Надлежащие уровни радиационной защиты работников крайне важны для безопасного и обоснованного использования излучений, радиоактивных материалов и ядерной энергии.

В 2007 году МАГАТЭ опубликовало документ «Основополагающие принципы безопасности», Серия норм безопасности МАГАТЭ № SF-1, разработанный совместно Агентством по ядерной энергии ОЭСР (ОЭСР/АЯЭ), Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), Европейским сообществом по атомной энергии (Евратомом), МАГАТЭ, Международной морской организацией (ИМО), Международной организацией труда (МОТ), Панамериканской организацией здравоохранения (ПОЗ), Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО). В этой публикации изложены цель безопасности и принципы обеспечения защиты и безопасности.

В 2015 году МАГАТЭ опубликовало документ «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности», Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 3, разработанный совместно АЯЭ/ОЭСР, ВОЗ, Европейской комиссией, МАГАТЭ, МОТ, ПАОЗ, ФАО и ЮНЕП. В этой публикации изложены требования, направленные на достижение основополагающей цели безопасности и обеспечение осуществления принципов, сформулированных в Основополагающих принципах безопасности.

Разработка требований безопасности и руководящих материалов по радиационной защите при профессиональном облучении является основным элементом содействия обеспечению радиационной защиты и безопасности, оказываемого МАГАТЭ государствам-членам. Цель деятельности МАГАТЭ в области радиационной защиты при профессиональном облучении заключается в содействии продвижению согласованного на международном уровне подхода к радиационной защите при профессиональном облучении посредством разработки и применения норм для оптимизации защиты и безопасности, ограничения облучения и применения современных методов радиационной защиты на рабочем месте.

Настоящее руководство по безопасности подготовлено совместно МАГАТЭ и Международным бюро труда и содержит руководящие материалы по выполнению требований документа GSR Part 3 [2] в отношении профессионального облучения. В нем содержатся общие

руководящие материалы в отношении условий облучения, для которых должны быть разработаны программы радиационной защиты, включая разработку программ мониторинга для оценки доз облучения работников, возникающих в результате облучения от внешних источников излучения и облучения в результате поступления радионуклидов. В нем также содержатся конкретные руководящие материалы по оценке доз облучения от внешних источников излучения и облучения в результате поступления радионуклидов.

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоактивность — это естественное явление, и в окружающей среде присутствуют естественные источники излучения. Ионизирующие излучения и радиоактивные вещества с пользой применяются во многих сферах — от производства энергии до использования в медицине, промышленности и сельском хозяйстве. Радиационные риски, которым в результате этих применений могут подвергаться работники, население и окружающая среда, подлежат оценке и должны в случае необходимости контролироваться.

Поэтому такая деятельность, как медицинское использование радиации, эксплуатация ядерных установок, производство, перевозка и использование радиоактивного материала и обращение с радиоактивными отходами, должна осуществляться в соответствии с нормами безопасности.

Регулированием вопросов безопасности занимаются государства. Однако радиационные риски могут выходить за пределы национальных границ, и в рамках международного сотрудничества принимаются меры по обеспечению и укреплению безопасности в глобальном масштабе посредством обмена опытом и расширения возможностей для контроля опасностей, предотвращения аварий, реагирования в случае аварийных ситуаций и смягчения любых вредных последствий.

Государства обязаны проявлять должную осмотрительность и соответствующую осторожность, и предполагается, что они будут выполнять свои национальные и международные обязательства.

Международные нормы безопасности содействуют выполнению государствами своих обязательств согласно общим принципам международного права, например касающимся охраны окружающей среды. Кроме того, международные нормы безопасности укрепляют и обеспечивают уверенность в безопасности и способствуют международной торговле.

Глобальный режим ядерной безопасности постоянно совершенствуется. Нормы МАГАТЭ по безопасности, которые поддерживают осуществление имеющих обязательную силу международных договорно-правовых документов и функционирование национальных инфраструктур безопасности, являются краеугольным камнем этого глобального режима. Нормы МАГАТЭ по безопасности — это полезный инструмент, с помощью которого договаривающиеся стороны оценивают свою деятельность по выполнению этих конвенций.

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Статус норм МАГАТЭ по безопасности вытекает из Устава МАГАТЭ, которым Агентство уполномочивается устанавливать и применять, в консультации и, в надлежащих случаях, в сотрудничестве с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями, нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

В целях обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения нормы МАГАТЭ по безопасности устанавливают основополагающие принципы безопасности, требования и меры для обеспечения контроля за радиационным облучением людей и выбросом радиоактивного материала в окружающую среду, ограничения вероятности событий, которые могут привести к утрате контроля за активной зоной ядерного реактора, ядерной цепной реакцией, радиоактивным источником или любым другим источником излучения, и смягчения последствий таких событий в случае, если они будут иметь место. Нормы относятся к установкам и деятельности, связанным с радиационными рисками, включая ядерные установки, использование радиационных и радиоактивных источников, перевозку радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами.

Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности[1] преследуют общую цель защиты жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды. Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности должны разрабатываться и осуществляться комплексно, таким образом, чтобы меры по обеспечению физической безопасности не осуществлялись в ущерб безопасности, и наоборот, чтобы меры по обеспечению безопасности не осуществлялись в ущерб физической безопасности.

Нормы МАГАТЭ по безопасности отражают международный консенсус в отношении того, что составляет высокий уровень безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Они выпускаются в Серии норм МАГАТЭ по безопасности, которая состоит из документов трех категорий (см. рис. 1).

---

[1] См. также публикации в Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности.

РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм МАГАТЭ по безопасности.

Основы безопасности

Основы безопасности содержат основополагающие цели и принципы защиты и безопасности и служат основой для требований безопасности.

Требования безопасности

Комплексный и согласованный набор требований безопасности устанавливает требования, которые должны выполняться с целью обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Требования регулируются целями и принципами основ безопасности. Если требования не выполняются, то должны приниматься меры для достижения или восстановления требуемого уровня безопасности. Формат и стиль требований облегчают их гармоничное использование для создания национальной основы регулирования. Требования, включая пронумерованные всеобъемлющие требования, выражаются формулировками «должен, должна, должно, должны». Многие требования конкретной стороне не адресуются, а это означает, что за их выполнение отвечают соответствующие стороны.

Руководства по безопасности

Руководства по безопасности содержат рекомендации и руководящие материалы, касающиеся выполнения требований безопасности, и в них выражается международный консенсус в отношении необходимости принятия рекомендуемых мер (или эквивалентных альтернативных мер). В руководствах по безопасности представлена международная образцовая практика, и они во все большей степени отражают наилучшую практику с целью помочь пользователям достичь высоких уровней безопасности. Рекомендации, содержащиеся в руководствах по безопасности, формулируются с применением глагола «следует».

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Основные пользователи норм безопасности в государствах — членах МАГАТЭ — это регулирующие и другие соответствующие государственные органы. Кроме того, нормы МАГАТЭ по безопасности используются другими организациями-спонсорами и многочисленными организациями, которые занимаются проектированием, сооружением и эксплуатацией ядерных установок, а также организациями, участвующими в использовании радиационных и радиоактивных источников.

Нормы МАГАТЭ по безопасности применяются в соответствующих случаях на протяжении всего жизненного цикла всех имеющихся и новых установок, используемых в мирных целях, и на протяжении всей нынешней и новой деятельности в мирных целях, а также в отношении защитных мер для уменьшения существующих радиационных рисков. Они могут использоваться государствами в качестве базы для их национальных регулирующих положений в отношении установок и деятельности.

Согласно Уставу МАГАТЭ нормы безопасности являются обязательными для МАГАТЭ применительно к его собственной работе, а также для государств применительно к работе, выполняемой с помощью МАГАТЭ.

Кроме того, нормы МАГАТЭ по безопасности закладывают основу для услуг МАГАТЭ по рассмотрению безопасности, и они используются МАГАТЭ в содействии повышению компетентности, в том числе, для разработки учебных планов и организации учебных курсов.

Международные конвенции содержат требования, аналогичные требованиям, которые изложены в нормах МАГАТЭ по безопасности, и делают их обязательными для договаривающихся сторон. Нормы МАГАТЭ по безопасности, подкрепляемые международными конвенциями, отраслевыми стандартами и подробными национальными требованиями,

создают прочную основу для защиты людей и охраны окружающей среды. Существуют также некоторые особые вопросы безопасности, требующие оценки на национальном уровне. Например, многие нормы МАГАТЭ по безопасности, особенно те из них, которые посвящены вопросам планирования или разработки мер по обеспечению безопасности, предназначаются, прежде всего, для применения к новым установкам и видам деятельности. На некоторых существующих установках, сооруженных в соответствии с нормами, принятыми ранее, требования, установленные в нормах МАГАТЭ по безопасности, в полном объеме соблюдаться не могут. Вопрос о том, как нормы МАГАТЭ по безопасности должны применяться на таких установках, решают сами государства.

Научные соображения, лежащие в основе норм МАГАТЭ по безопасности, обеспечивают объективную основу для принятия решений по вопросам безопасности; однако лица, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения и должны определять, как лучше всего сбалансировать выгоды принимаемых мер или осуществляемой деятельности с учетом соответствующих радиационных рисков и любых иных вредных последствий этих мер или деятельности.

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Подготовкой и рассмотрением норм безопасности занимаются Секретариат МАГАТЭ и четыре комитета по нормам безопасности, охватывающих ядерную безопасность (НУССК), радиационную безопасность (РАССК), безопасность радиоактивных отходов (ВАССК) и безопасную перевозку радиоактивных материалов (ТРАНССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой МАГАТЭ по нормам безопасности (см. рис. 2).

Все государства — члены МАГАТЭ могут назначать экспертов в комитеты по нормам безопасности и представлять замечания по проектам норм. Члены Комиссии по нормам безопасности назначаются Генеральным директором, и в ее состав входят старшие правительственные должностные лица, несущие ответственность за установление национальных норм.

Для осуществления процессов планирования, разработки, рассмотрения, пересмотра и установления норм МАГАТЭ по безопасности создана система управления. Особое место в ней занимают мандат МАГАТЭ, видение будущего применения норм, политики и стратегий безопасности и соответствующие функции и обязанности.

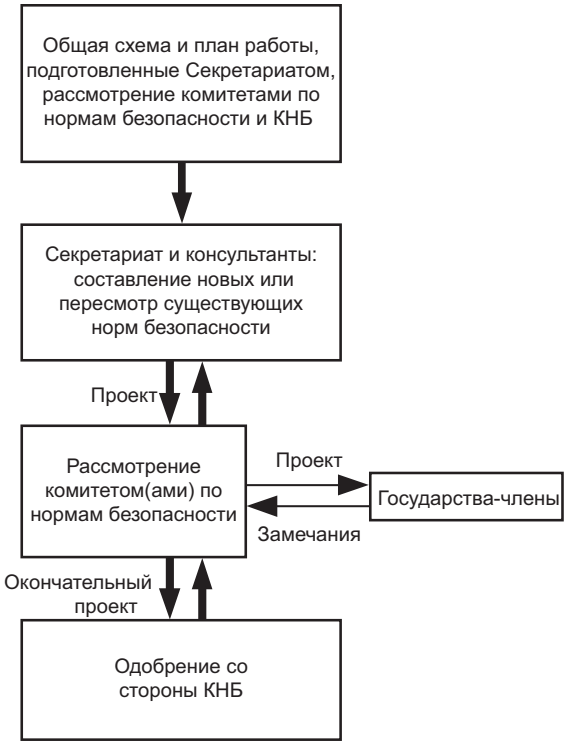


РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

При разработке норм МАГАТЭ по безопасности принимаются во внимание выводы Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) и рекомендации международных экспертных органов, в частности, Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Некоторые нормы безопасности разрабатываются в сотрудничестве с другими органами системы Организации Объединенных Наций или другими специализированными учреждениями, включая Продовольственную и сельскохозяйственную организацию Объединенных Наций, Программу Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международную организацию труда, Агентство по ядерной энергии ОЭСР, Панамериканскую организацию здравоохранения и Всемирную организацию здравоохранения.

ТОЛКОВАНИЕ ТЕКСТА

Относящиеся к безопасности термины должны толковаться в соответствии с определениями, данными в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности (см. http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm). Во всех остальных случаях в издании на английском языке слова используются с написанием и значением, приведенными в последнем издании Краткого оксфордского словаря английского языка. Для руководств по безопасности аутентичным текстом является английский вариант.

Общие сведения и соответствующий контекст норм в Серии МАГАТЭ по нормам безопасности, а также их цель, сфера применения и структура приводятся в разделе 1 «Введение» каждой публикации.

Материал, который нецелесообразно включать в основной текст (например материал, который является вспомогательным или отдельным от основного текста, дополняет формулировки основного текста или описывает методы расчетов, процедуры или пределы и условия), может быть представлен в дополнениях или приложениях.

Дополнение, если оно включено, рассматривается в качестве неотъемлемой части норм безопасности. Материал в дополнении имеет тот же статус, что и основной текст, и МАГАТЭ берет на себя авторство в отношении такого материала. Приложения и сноски к основному тексту, если они включены, используются для предоставления практических примеров или дополнительной информации или пояснений. Приложения и сноски неотъемлемой частью основного текста не являются. Материал в приложениях, опубликованный МАГАТЭ, не обязательно выпускается в качестве его авторского материала; в приложениях к нормам безопасности может быть представлен материал, имеющий другое авторство. Содержащийся в приложениях посторонний материал, с тем чтобы в целом быть полезным, по мере необходимости публикуется в виде выдержек и адаптируется.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ 1

Общие сведения (1.1-1.7) 1
Цель (1.8) 3
Сфера применения (1.9) 3
Структура (1.10–1.12) 4

2. ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ 5

Профессиональное облучение и типы ситуаций облучения (2.1–2.4). 5
Принципы радиационной защиты (2.5-2.14). 8
Обязанности (2.15-2.19) 10
Дифференцированный подход (2.20–2.22) 12
Система менеджмента (2.23–2.26) 13
Дозиметрические величины (2.27–2.72) 14

3. ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В СИТУАЦИЯХ ПЛАНИРУЕМОГО ОБЛУЧЕНИЯ (3.1–3.7) 30

Оптимизация (3.8–3.33) 32
Ограничение доз (3.34–3.48). 40
Программа радиационной защиты (3.49-3,.58). 45
Облучение работников от природных источников (3.159–3.181) 82

4. ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В СЛУЧАЕ ЯДЕРНОЙ ИЛИ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ. 94

Аварийное планирование и обязанности (4.5–4.6). 95
Защита аварийных работников (4.7–4.17) 96
Управление облучением аварийных работников (4.18–4.25) 100
Оценка облучения (4.26–4.29) 103
Медицинская помощь (4.30–4.32) 104

5. ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В СИТУАЦИЯХ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ (5.1–5.7) 105

Стратегии защиты (5.8-5.13). 108
Обоснование (5.14–5.15). 109
Оптимизация (5.16–5.23) 110
Облучение, возникающее в результате осуществления восстановительных мер на территориях, загрязненных остаточным радиоактивным материалом (5.24–5.44) 112
Облучение радоном (5.45–5.72) 118
Облучение, обусловленное космическим излучением (5.73–5.88) 128

6. ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ В ОСОБЫХ СЛУЧАЯХ (6.1) 134

Работницы в период беременности и после него (6.2–6.20) 134
Внештатные работники (6.21–6.100) 139

7. МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ 169

Оценка внешнего облучения (7.1–7.132). 169
Оценка внутреннего облучения (7.133–7.227) 210
Оценка облучения в аварийных ситуациях (7.228–7.243) 237
Радиоактивное загрязнение кожи (7.244–7.250). 241
Регистрационные записи профессионального облучения (7.251–7.273). 243

8. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ ПОСТАВЩИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛУГ 251

Общие соображения (8.1–8.14) 255
Ответственность руководства (8.15–8.25). 259
Порядок осуществления процессов (8.26–8.48) 263
Измерение, оценка и повышение эффективности (8.49–8.70) . . . 264
Дополнительные руководящие материалы для поставщиков услуг по калибровке и испытаниям (8.71–8.101) 269

9. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРЫ КОНТРОЛЯ, АДМИНИСТРАТИВНЫЕ МЕРЫ КОНТРОЛЯ И СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ. 278

Общие соображения (9.1–9.7) 278
Защитные экраны (9.8–9.9) 280
Вентиляция (9.10–9.19) 281
Контроль запыленности воздуха (9.20–9.21) 284
Утечки радиоактивных материалов (9.22-9.23) 285
Поверхностное радиоактивное загрязнение (9.24–9.46) 286
Дезактивация оборудования и дезактивация персонала (9.47–9.52) 295
Средства индивидуальной защиты (9.53–9.64) 296
Ротация должностей (9.65) 300
Соображения в отношении операций по переработке минералов, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения (9.66–9.72) 301

10. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ 302

Обязанности (10.1–10.7) 302
Программа медицинского наблюдения работников (10.8–10.10) 305
Медицинский осмотр работников (10.11–10.24) 305
Уведомление о заболеваниях и переоблучении (10.25–10.27) . . . 309
Медицинская документация (10.29–10.34) 310
Меры в отношении переоблученных работников (10.29–10.34) 310

ДОБАВЛЕНИЕ I: ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 313

ДОБАВЛЕНИЕ II: МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ 316

ДОБАВЛЕНИЕ III: ПРИБОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО МЕСТА С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ 331

ДОБАВЛЕНИЕ IV: БИОКИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ 342

ДОБАВЛЕНИЕ V: МЕТОДЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ВНУТРЕННЕГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ 349

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 371

ПРИЛОЖЕНИЕ: МЕТОДЫ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ДОЗИМЕТРИИ 389

СОКРАЩЕНИЯ 401
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ 403

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Профессиональное облучение может происходить в результате различных видов деятельности человека, включая работы, связанные с различными стадиями ядерного топливного цикла; использование радиации в медицине, научных исследованиях, сельском хозяйстве и промышленности; и деятельность, сопровождаемую облучением, поступающим от природных источников.

1.2. В документе Серии норм безопасности МАГАТЭ № SF-1 «Основные принципы безопасности» [1] изложены основная цель безопасности и принципы защиты и безопасности. Требования, разработанные с целью достижения основной цели безопасности и применения принципов безопасности, указанных в SF-1 [1], включая требования к защите работников, подвергающихся воздействию источников излучения, установлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 3 «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности» [2], разработанной совместно МАГАТЭ и семью другими международными организациями.

1.3. В настоящем руководстве по безопасности, подготовленном совместно МАГАТЭ и Международным бюро труда, содержатся руководящие материалы по выполнению требований документа GSR Part 3 [2] в отношении профессионального облучения. В нем содержатся общие руководящие материалы в отношении условий облучения, для которых должны быть разработаны программы радиационной защиты, включая разработку программ мониторинга для оценки доз облучения работников, возникающих в результате облучения от внешних источников излучения и облучения в результате поступления радионуклидов в организм. В нем также содержатся конкретные руководящие материалы по оценке доз облучения от внешних источников излучения и облучения в результате поступления радионуклидов в организм.

1.4. Рекомендации для системы радиационной защиты были разработаны Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) [3]. Эти и другие текущие рекомендации МКРЗ и Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) были приняты во внимание при подготовке настоящего руководства по безопасности.

1.5. Признается, что радиационная защита является лишь одним из компонентов, подлежащих рассмотрению с целью защиты общего здоровья и безопасности работников. Программу радиационной защиты необходимо внедрять и выполнять с учетом требований других областей здравоохранения и безопасности, таких как промышленная санитария, санитария в медицине, техника безопасности и противопожарная безопасность.

1.6. В настоящем руководстве по безопасности содержатся руководящие материалы по выполнению требований документа GSR Part 3 [2] по радиационной защите при профессиональном облучении. В нем изложены общие руководящие материалы по разработке программ радиационной защиты при профессиональном облучении в соответствии с требованиями документа GSR Part 3 [2] и с учетом источников излучения, которые могут иметься на соответствующих рабочих местах. В нем также содержатся более подробные руководящие материалы по радиационному мониторингу и оценке облучения работников, обусловленного внешними источниками излучения и поступлением радионуклидов в организм. В настоящем руководстве по безопасности отражены нынешние международно признанные принципы и рекомендуемая практика радиационной защиты на рабочем месте с учетом основных изменений, которые произошли за период после 1999 года.

1.7. В настоящем руководстве по безопасности содержатся обновленные руководящие материалы, изложенные в пяти предыдущих руководствах по безопасности, которые оно заменяет: «Профессиональная радиационная защита»[1]; «Оценка профессионального облучения вследствие поступления радионуклидов»[2]; «Оценка профессионального облучения от внешних

---

[1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Радиационная защита при профессиональном облучении, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № RS-G-1.1, МАГАТЭ, Вена (1999).

[2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, Оценка профессионального облучения вследствие поступления радионуклидов, Серия норм безопасности МАГАТЭ № RS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена (1999).

источников излучения»[3]; «Профессиональная радиационная защита при добыче и переработке сырья»[4]; и «Система управления техническими службами в области радиационной безопасности»[5].

ЦЕЛЬ

1.8. Целью настоящего руководства по безопасности является предоставление руководящих материалов по контролю профессионального облучения. Приведенные рекомендации предназначены для регулирующих органов, но данное руководство по безопасности также будет полезным для: работодателей, лицензиатов и зарегистрированных лиц; органов управления и их специализированных консультантов; и комитетов по охране здоровья и безопасности, занимающихся радиационной защитой работников. Эти рекомендации могут также использоваться работниками и их представителями для поощрения безопасных методов работы.

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

1.9. В настоящем руководстве по безопасности рассматриваются технические и организационные аспекты контроля профессионального облучения. Цель заключается в обеспечении комплексного подхода к контролю облучения и контроля потенциального облучения, обусловленного внешним и внутренним воздействием излучения как искусственных, так и природных источников.

---

[3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО ТРУДА, Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения, Серия норм безопасности МАГАТЭ № RS-G-1.3, МАГАТЭ, Вена (1999).

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Occupational Radiation Protection in Mining and Processing of Raw Materials, IAEA Safety Standards Series № RS-G-1.6, IAEA, Vienna (2004).

[5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система менеджмента для организаций по оказанию технических услуг в области радиационной безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ № GS-G-3.2, МАГАТЭ, Вена (2015).

СТРУКТУРА

1.10. В разделе 2 содержится обзор основ радиационной защиты при профессиональном облучении, включая объяснение трех типов ситуаций облучения (ситуации планируемого облучения, ситуации аварийного облучения и ситуации существующего облучения), основных принципов радиационной защиты и их применения для защиты работников, а также используемых дозиметрических величин. В разделах 3–5 приведены руководящие материалы по выполнению требований документа GSR Part 3 [2] в каждой из трех ситуаций облучения. Раздел 3 посвящен радиационной защите при профессиональном облучении в ситуациях планируемого облучения, включая применение принципов оптимизации и ограничения доз, программу радиационной защиты и конкретные руководящие материалы по защите работников, подвергающихся облучению от природных источников. Раздел 4 посвящен защите работников в ядерной или радиологической аварийной ситуации, включая подготовку плана противоаварийных мероприятий, применение принципов оптимизации и ограничения доз в аварийных ситуациях, а также оценку и регулирование облучения аварийных работников. Раздел 5 посвящен защите работников в ситуациях существующего облучения, включая разработку соответствующей стратегии защиты и нормативно-правовой базы. В нем также содержатся конкретные руководящие материалы по защите работников от облучения, обусловленного остаточными радиоактивными материалами, образовавшимися в результате прошлой деятельности или аварий, присутствием радона на рабочих местах и космическим излучением в воздушных и космических летательных аппаратах.

1.11. В разделах 6–10 содержатся руководящие материалы по более конкретным аспектам радиационной защиты при профессиональном облучении. В разделе 6 описываются специальные меры, которые должны быть приняты для защиты двух конкретных групп работников: работниц во время и после беременности и внештатных работников. В разделе 7 содержатся подробные руководящие материалы по мониторингу и оценке профессионального облучения, включая: программы мониторинга, системы и оборудование; оценку неопределенностей; испытания и калибровку; интерпретацию результатов мониторинга; и ведение документации. Руководящие материалы охватывают как индивидуальный мониторинг, так и мониторинг рабочего места, затрагивают внешнее и внутреннее облучение, а также радиоактивное загрязнение кожи и включают оценку облучения в аварийных ситуациях. Раздел 8 содержит руководящие материалы в отношении системы менеджмента

для поставщиков технических услуг в области радиационной защиты при профессиональном облучении, в частности услуг по калибровке, тестированию и дозиметрии. В разделе 9 изложены сведения о средствах инженерно-технического и административного контроля для обеспечения защиты и безопасности при профессиональном облучении, включая поддержание хорошего качества воздуха, обеспечение надлежащего экранирования и контроль радиоактивного загрязнения. Приведены также рекомендации по использованию средств индивидуальной защиты. В разделе 10 рассматриваются программы наблюдения за состоянием здоровья работников, включая руководящие материалы по медицинскому осмотру работников и медицинским регистрационным записям, а также по уходу за переоблученными работниками.

1.12. В пяти добавлениях и приложении содержатся дополнительные, более подробные руководящие материалы, касающиеся облучения работников, обусловленного радиоактивными материалами природного происхождения, методов и систем индивидуального мониторинга для оценки внешнего облучения, приборов для мониторинга на рабочем месте с целью оценки внешнего облучения, методов мониторинга и оценки внутреннего облучения (включая биокинетическое моделирование) и методов ретроспективной дозиметрии.

2. ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ И ТИПЫ СИТУАЦИЙ ОБЛУЧЕНИЯ

2.1. Под профессиональным облучением понимается облучение работников в процессе их работы, независимо от ситуации облучения. В целях разработки практических требований к обеспечению защиты и безопасности в документе GSR Part 3 [2] проводится различие между разными типами ситуаций облучения: ситуациями планируемого облучения, ситуациями аварийного облучения и ситуациями существующего облучения. Как указано в пункте 1.20 документа GSR Part 3 [2]:

«a) *ситуация планируемого облучения* — это ситуация облучения, которая возникает в результате запланированной эксплуатации источника или запланированной деятельности, приводящей к облучению от источника. Поскольку меры по обеспечению защиты и безопасности могут быть приняты до начала осуществления соответствующей деятельности, сопутствующее облучение и вероятность его возникновения могут быть ограничены с самого начала. Основное средство контроля облучения в ситуациях планируемого облучения — это надлежащее проектирование установок, оборудования и рабочих процессов, а также обучение….

b) *ситуация аварийного облучения* — это ситуация облучения, которая возникает в результате аварии, злоумышленного действия или любого другого непредвиденного события и требует немедленных действий в целях недопущения или уменьшения неблагоприятных последствий. До того как возникнет ситуация аварийного облучения, необходимо предусматривать меры по предотвращению ее возникновения и смягчению ее последствий. Когда же ситуация аварийного облучения действительно возникает, уменьшить облучение можно только путем принятия защитных мер;

c) *ситуация существующего облучения* — это ситуация, в которой облучение уже существует в тот момент, когда необходимо принимать решение о введении требуемого контроля. К ситуациям существующего облучения относятся ситуации облучения от природного фонового излучения. К ним также относятся ситуации облучения от остаточного радиоактивного материала, сохранившегося после предыдущей деятельности, которая не подлежала регулирующему контролю, или после ситуации аварийного облучения».

Настоящее руководство по безопасности содержит руководящие материалы по защите работников в каждой из этих трех ситуаций облучения.

2.2. Как указано в пункте 1.21 документа GSR Part 3 [2]:

«Приведенного в пункте 1.20 описания трех типов ситуаций облучения не всегда достаточно для однозначного определения, к какому типу относятся те или иные условия. Например, ситуация аварийного облучения постепенно со временем может переходить в ситуацию существующего облучения, а некоторые виды облучения от природных источников могут иметь некоторые характеристики ситуаций как

планируемого, так и существующего облучения. В настоящих Нормах тип облучения, который в наибольшей степени соответствует тем или иным условиям, определяется с учетом практических соображений».

2.3. Ссылка на потенциальное облучение, приведенная в пункте 1.20(a) документа GSR Part 3 [2], гласит:

> «В ситуациях планируемого облучения может ожидаться облучение некоторого уровня. Если неизбежность облучения не предполагается, но оно может произойти в результате аварии или события, либо последовательности событий, которые могут произойти, но не являются неизбежными, то такое облучение называется «потенциальным облучением».
>
> …….
>
> Если событие или последовательность событий, которые рассматриваются при оценке потенциального облучения, действительно наступают, они могут расцениваться как ситуация планируемого облучения или – при объявлении аварии – как ситуация аварийного облучения».

2.4. Некоторые виды облучения исключены из сферы применения документа GSR Part 3 [2]. Пункт 1.42 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Настоящие Нормы применяются ко всем ситуациям, связанным с радиационным облучением, которое поддается контролю. Виды облучения, которые считаются не поддающимися контролю, исключены из сферы применения настоящих Норм.[8]
>
> [8] Например, обычно считается практически невозможным контролировать содержание ^{40}K в организме или космическое излучение на поверхности Земли».

В разделе 3 приведены рекомендации по компонентам облучения от природных источников излучения, которые может потребоваться контролировать как профессиональное облучение.

ПРИНЦИПЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

2.5. Три общих принципа радиационной защиты, относящихся к обоснованию, оптимизации защиты и применения пределов дозы (ограничения доз), сформулированы в принципах безопасности 4–6 и 10 Основополагающих принципов безопасности [1]. С учетом требования 1 в документе GSR Part 3 [2] «**стороны, несущие ответственность за обеспечение защиты и безопасности, обеспечивают применение принципов радиационной защиты во всех ситуациях облучения**».

Обоснование

2.6. Пункты 2.8 и 2.9 документа GSR Part 3 [2] гласят:

> «2.8. В ситуациях планируемого облучения каждая сторона, несущая ответственность за обеспечение защиты и безопасности, когда в отношении этой стороны действуют соответствующие требования, не предпринимает никаких практических действий, которые не являются обоснованными.
>
> 2.9. В ситуациях аварийного облучения и ситуациях существующего облучения каждая сторона, несущая ответственность за обеспечение защиты и безопасности, когда в отношении этой стороны действуют соответствующие требования, обеспечивает обоснование защитных действий или восстановительных мер и их осуществление таким образом, чтобы достигались цели, изложенные в стратегии защиты».

2.7. В ситуациях планируемого облучения это означает, что никакая практическая деятельность или источник в рамках той или иной практической деятельности не должны быть санкционированы, если такая практическая деятельность не приносит подвергающимся облучению лицам или обществу достаточной пользы, компенсирующей вред (включая радиационный ущерб), который она может причинить; то есть, если такая практическая деятельность не обоснована с учетом социальных, экономических и других соответствующих факторов.

2.8. Процесс определения обоснованности той или иной практической деятельности включает рассмотрение всех доз излучения, получаемых работниками и лицами из населения. В целом, предположение, сделанное в настоящем руководстве по безопасности, заключается в том, что процесс обоснования уже состоялся и что был учтен вклад

профессионального облучения в общий радиационный ущерб. Поэтому вопрос обоснования ситуаций планируемого облучения в настоящем руководстве по безопасности подробно не рассматривается. Руководящие материалы по обоснованию приведены в Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSG-5 «Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging» («Обоснование применяемой практики, включая немедицинскую визуализацию человека») [4].

Оптимизация

2.9. Пункт 2.10 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Во всех ситуациях облучения каждая сторона, несущая ответственность за обеспечение защиты и безопасности, когда в отношении этой стороны действуют соответствующие требования, обеспечивает оптимизацию защиты и безопасности[9].
>
> [9] «Оптимизация защиты и безопасности» означает, что оптимизация защиты и безопасности проведена и ее результаты внедрены на практике».

2.10. В ситуациях планируемого облучения, в отношении облучения, связанного с каким-либо конкретным источником в рамках определенной практической деятельности, защита и безопасность должны быть оптимизированы таким образом, чтобы величина индивидуальных доз, число лиц, подвергающихся облучению, и вероятность облучения удерживались на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов, в пределах ограничения, которое сводится к тому, что дозы, получаемые отдельными лицами, подпадают под действие граничных доз. Этот принцип имеет особое значение для осуществления мер радиационной защиты на рабочем месте и, следовательно, лежит в основе многих более подробных руководящих материалов, приведенных в разделе 3.

Ограничение доз

2.11. Пункт 2.11 документа GSR Part 3 [2] гласит:

«В ситуациях планируемого облучения, за исключением медицинского облучения, каждая сторона, несущая ответственность за обеспечение защиты и безопасности, когда в отношении этой стороны действуют соответствующие требования, обеспечивает непревышение установленных пределов дозы».

2.12. Пределы дозы применяются только в ситуациях планируемого облучения. В таких ситуациях облучение отдельных лиц следует ограничивать таким образом, чтобы ни суммарная эффективная доза, ни суммарная эквивалентная доза, получаемые соответствующими органами или тканями в результате возможного сочетания облучений от разрешенной практической деятельности, не превышали любого из соответствующих пределов дозы.

2.13. Предел эффективной дозы представляет собой уровень, выше которого риск возникновения стохастических эффектов, обусловленных облучением, считается неприемлемым. Для локализованного облучения хрусталика глаза, конечностей и кожи этого предела эффективной дозы недостаточно для предотвращения детерминированных эффектов. Поэтому для таких ситуаций устанавливаются пределы эквивалентной дозы для этих тканей и органов.

2.14. Руководящие материалы по применению пределов дозы в отношении профессионального облучения содержатся в разделе 3.

ОБЯЗАННОСТИ

Правительство

2.15. Обязанности правительства[6] в отношении обеспечения защиты и безопасности изложены в пунктах 2.13–2.28 документа GSR Part 3 [2]. Ниже приводятся основные из них:

а) создание эффективной правовой и регулирующей системы обеспечения защиты и безопасности во всех ситуациях облучения;

[6] Поскольку юридические структуры государств могут различаться, используемый здесь термин «правительство» следует понимать в широком смысле, и он, соответственно, взаимозаменяем с термином «государство».

b) разработка законодательства, отвечающего установленным требованиям;
c) создание независимого регулирующего органа, обладающего необходимыми юридическими полномочиями, компетенцией и ресурсами;
d) разработка требований в сфере образования и подготовки кадров в области радиационной защиты и безопасности;
e) обеспечение наличия механизмов для предоставления технических услуг и услуг в сфере образования и подготовки кадров.

Регулирующий орган

2.16. Обязанности регулирующего органа в отношении обеспечения защиты и безопасности изложены в пунктах 2.29–2.38 документа GSR Part 3 [2]. К ним относятся:

a) установление требований в отношении применения принципов радиационной защиты;
b) создание регулирующей системы, отвечающей указанным требованиям;
c) обеспечение применения требований в сфере образования и подготовки кадров в области защиты и безопасности;
d) обеспечение наличия механизмов для распространения информации об уроках, извлеченных из инцидентов и аварий;
e) установление критериев приемлемости и критериев эффективности для источников и оборудования, эксплуатация которых влечет за собой последствия для защиты и безопасности;
f) обеспечение разработки и ведения документации.

2.17. Конкретные обязанности регулирующего органа в отношении профессионального облучения в ситуациях планируемого облучения изложены в пунктах 3.69–3.73 документа GSR Part 3 [2]. Регулирующий орган несет ответственность за установление требований, обеспечивающих оптимизацию защиты и безопасности, и обеспечение их соблюдения, и регулирующий орган обеспечивает соблюдение пределов дозы, а также мониторинг и регистрацию профессионального облучения.

Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты

2.18. Требование 4 документа GSR Part 3 [2] гласит: «**Лицо или организация, ответственное или ответственная за установки или деятельность, связанные с радиационными рисками, несут основную ответственность за обеспечение защиты и безопасности.**...». В ситуациях планируемого облучения работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты (далее именуемые просто «руководством») несут ответственность за обеспечение оптимизации защиты и безопасности, соблюдение применимых пределов дозы и разработку и осуществление соответствующих программ радиационной защиты. Руководящие материалы по содержанию программы радиационной защиты содержатся в разделе 3.

Соблюдение требований работниками

2.19. Требование 22 документа GSR Part 3 [2] гласит: «**Работники выполняют свои обязательства и обязанности по обеспечению защиты и безопасности**». Это требование отражает тот факт, что работники своими действиями могут способствовать обеспечению защиты и безопасности для себя и для других при проведении работ. Требования к работникам в этой связи перечислены в пункте 3.83 документа GSR Part 3 [2] и касаются: соблюдения правил и процедур; использования приборов для мониторинга и средств индивидуальной защиты; сотрудничества в отношении программ наблюдения за состоянием здоровья работников и программ оценки доз; и получения инструктажа и подготовки. Работники также обязаны предоставлять соответствующую информацию руководству и ответственно относиться к защите и безопасности.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД

2.20. Пункт 2.31 документа GSR Part 3 [2] обеспечивает основу для дифференцированного подхода к контролю облучения:

> «Регулирующий орган принимает дифференцированный подход к реализации системы обеспечения защиты и безопасности таким образом, чтобы применение регулирующих требований было соразмерно радиационным рискам, связанным с ситуацией облучения».

Общую ответственность за обеспечение того, чтобы всестороннее применение принципов радиационной защиты соответствовало дифференцированному подходу, несет правительство (см. пункт 2.18 документа GSR Part 3 [2]).

2.21. Требование 6 в документе GSR Part 3 [2] касается дифференцированного подхода в более конкретном контексте ситуаций планируемого облучения:

> «**Применение требований настоящих Норм в ситуациях планируемого облучения осуществляется в соответствии с характеристиками практической деятельности или источника в рамках практической деятельности и величиной и вероятностью облучения**».

2.22. Важным элементом дифференцированного подхода в ситуациях планируемого облучения является положение об изъятии и освобождении от контроля. Требование 8 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «**Правительство или регулирующий орган определяет практическую деятельность и источники в рамках практической деятельности, подлежащие изъятию из-под действия некоторых или всех требований настоящих Норм. Регулирующий орган утверждает источники, включая материалы и другие предметы, в рамках осуществляемой с уведомлением практической деятельности или разрешенной практической деятельности, которые могут быть освобождены от регулирующего контроля**».

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА

2.23. Требование 5 документа GSR Part 3 [2] гласит: «**Главные стороны обеспечивают эффективное интегрирование обеспечения защиты и безопасности в общую систему управления (менеджмента) организаций, за которые они несут ответственность**». Для профессионального облучения в ситуациях планируемого облучения главной стороной является работодатель. Для ситуаций аварийного облучения или ситуаций существующего облучения главными сторонами являются лица или организации, назначенные для проведения работ в ситуации.

2.24. В соответствии с пунктами 2.47–2.52 документа GSR Part 3 [2], «главные стороны демонстрируют приверженность обеспечению защиты и безопасности на самых высоких уровнях в организациях» и «обеспечивают, чтобы система менеджмента… была разработана и применялась с целью повышения защиты и безопасности», сохраняя при этом согласованность между мерами защиты и безопасности и другими мерами, такими как меры, касающиеся эксплуатационных показателей и физической безопасности.

2.25. Следует предпринимать конкретные меры с целью обеспечения необходимой степени доверия к мерам, предпринимаемым для достижения защиты и безопасности, и обеспечения их регулярной оценки и рассмотрения. Следует поощрять и поддерживать культуру безопасности на всех уровнях организации. Система менеджмента должна также учитывать человеческий фактор, поддерживая хорошую производительность и передовую практику с целью предотвращения человеческих и организационных сбоев, уделяя внимание проектированию оборудования, разработке рабочих процедур, пределов и условий, в зависимости от обстоятельств, обучению и использованию систем безопасности с целью смягчения последствий человеческой ошибки.

2.26. Более подробные требования и рекомендации по системе менеджмента для установок и деятельности приведены в изданиях Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 2 «Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности» [5] и GS-G-3.1 «Применение системы управления для установок и деятельности» [6], а также в Руководстве Международной организации труда [7]. Рекомендации и руководящие материалы относительно системы менеджмента для поставщиков технических услуг в области радиационной защиты и безопасности изложены в разделе 8.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

2.27. Дозиметрическими величинами, рекомендованными для целей радиационной защиты (параметрами защиты) и величинами, в которых пределы дозы изложены в документе GSR Part 3 [2], являются эквивалентная доза H_T в ткани или органе T и эффективная доза E.

2.28. К основным физическим величинам относятся флюенс частиц Ф, керма K и поглощенная доза D.

2.29. Определение эквивалентной дозы H_T в ткани или органе T включает использование взвешивающего коэффициента для излучения w_R в качестве множителя поглощенной дозы для облучения типа R с целью отражения относительной биологической эффективности (ОБЭ) излучения в индуцировании стохастических эффектов при низких дозах:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,\,R} \tag{1}$$

где $D_{T,\,R}$ — средняя поглощенная доза в ткани или органе T для вида излучения R.

2.30. Определение эффективной дозы E включает использование взвешивающего коэффициента для ткани w_T в качестве множителя эквивалентной дозы для ткани T с целью учета различной чувствительности различных тканей и органов к индуцированию стохастических эффектов:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \tag{2}$$

где, после подстановки H_T из ур. (1), получаем:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,\,R} \tag{3}$$

2.31. Рекомендуемые значения w_R и w_T основаны на рассмотрении опубликованных биологических и эпидемиологических исследований и приведены в определениях терминов в документе GSR Part 3 [2].

2.32. Параметры защиты E и H_T относятся к сумме эффективных доз или эквивалентных доз, соответственно, полученных в результате облучения от внешних источников в течение заданного периода времени, и ожидаемых эффективных доз или ожидаемых эквивалентных доз, соответственно, облучения в результате поступления радионуклидов, происходящего в течение того же периода времени. Суммарная эффективная доза E, полученная или ожидаемая в течение заданного периода времени, может быть оценена на основе операционных величин с помощью следующего уравнения:

$$E \cong H_{\mathrm{p}}(d) + \sum_j e(g)_{j,\mathrm{ing}} \cdot I_{j,\mathrm{ing}} + \sum_j e(g)_{j,\mathrm{inh}} \cdot I_{j,\mathrm{inh}} \quad (4)$$

где

$H_{\mathrm{p}}(d)$ — индивидуальный эквивалент дозы в мягкой ткани на соответствующей глубине d под указанной точкой на теле за заданный период времени;

$e\,(g)_{j,\,\mathrm{ing}}$ — ожидаемая эффективная доза на единицу перорального поступления радионуклида j в возрастной группе g за тот же период времени;

$e(g)_{j\,,\mathrm{inh}}$ — ожидаемая эффективная доза на единицу ингаляционного поступления радионуклида j в возрастной группе g за тот же период времени;

$I_{j,\,\mathrm{ing}}$ — пероральное поступление радионуклида j за тот же период времени;

а $i_{j,\mathrm{inh}}$ — ингаляционное поступление радионуклида j за тот же период времени.

Для профессионального облучения соответствующими значениями $e(g)_{j,\mathrm{ing}}$ и $e(g)_{j,\mathrm{inh}}$ являются значения для работников.

2.33. Пределы доз таковы, что детерминированные эффекты не проявляются. Для ситуаций, которые могут приводить к серьезным детерминированным эффектам (например, ситуаций аварийного облучения), следует учитывать ОБЭ для различных видов излучения, вызывающих серьезные детерминированные эффекты. Рекомендуемой дозиметрической величиной является ОБЭвзвешенная поглощенная доза D_{T} в ткани или органе Т. Определение ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы включает использование тканеспецифических и радиационно-специфических коэффициентов ОБЭ$_{\mathrm{T,R}}$ в качестве множителей поглощенной дозы в ткани или органе с целью учета ОБЭ при возникновении тяжелых детерминированных эффектов для здоровья от заданной поглощенной дозы, получаемой тканью или органом при воздействии заданного вида излучения. Рекомендуемые значения ОБЭ$_{\mathrm{T,\,R}}$ для развития некоторых серьезных детерминированных эффектов основаны на рассмотрении опубликованных биологических исследований и приведены в определениях терминов в документе GSR Part 3 [2]. Использование эффективной дозы для оценки тканевых реакций нецелесообразно. В таких ситуациях необходимо оценивать поглощенную дозу и учитывать соответствующую ОБЭ в качестве основы для любой оценки радиационных эффектов.

Операционные величины индивидуального мониторинга при дозиметрии внешнего облучения

2.34. Поскольку параметры радиационной защиты не могут быть измерены напрямую, МКРЕ ввела операционные величины для практического использования в радиационной защите в тех случаях, когда речь идет о облучении от внешних источников. Определения этих величин приведены в документе GSR Part 3 [2] и в [8]. Операционные величины обеспечивают оценку эффективной или эквивалентной дозы таким образом, чтобы избежать занижения и завышения в большинстве полей излучения, встречающихся на практике. Коэффициенты качества излучения $Q(L)$ используются при расчете величин операционных эквивалентов дозы, используемых при мониторинге [3]. Коэффициент качества характеризует биологическую эффективность излучения на основе плотности ионизации на треках заряженных частиц в ткани. Q определяется как функция неограниченной линейной передачи энергии L_∞ (часто обозначаемой *как* L или линейная передача энергии, ЛПЭ) заряженных частиц в воде. Подробная оценка численной зависимости между физическими величинами, величинами радиационной защиты и операционными величинами была проведена объединенной целевой группой МКРЗ и МКРЕ [9]. Концептуальная связь между этими величинами показана на рис. 1 [9].

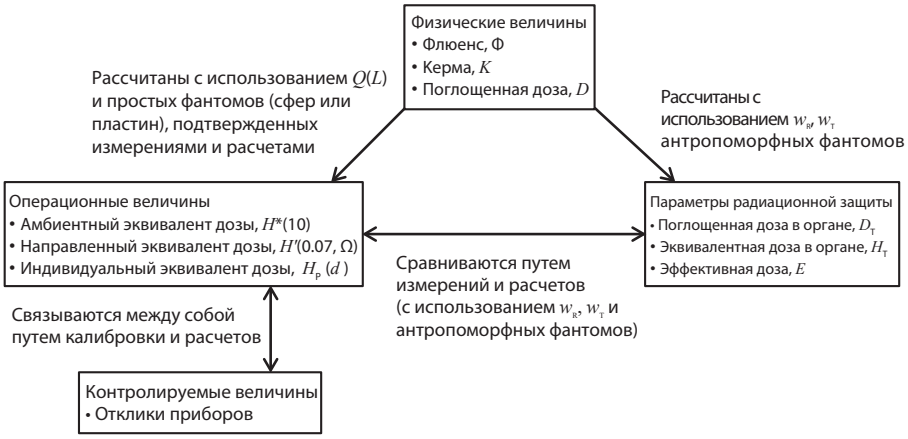


РИС. 1. Концептуальная зависимость между физическими величинами, параметрами радиационной защиты и операционными величинами, используемыми для целей радиационной защиты.

2.35. МКРЕ [10] проводит различие между сильнопроникающим излучением и слабопроникающим излучением. Если для заданной ориентации тела в однородном и однонаправленном поле излучения эквивалентная доза, полученная любой небольшой областью чувствительного слоя кожи, менее чем в десять раз превышает эффективную дозу, излучение считают сильнопроникающим. Если эквивалентная доза более чем в десять раз превышает эффективную дозу, излучение считают слабопроникающим.

2.36. Операционной величиной для индивидуального мониторинга является индивидуальный эквивалент дозы $H_p(d)$. Любое заявление об индивидуальном эквиваленте дозы должно включать указание рекомендуемой глубины d. Для сильнопроникающего излучения рекомендуемая глубина составляет 10 мм. Для слабопроникающего излучения рекомендуемая глубина составляет 0,07 мм. Для упрощения обозначения предполагается, что d выражается в миллиметрах, и поэтому индивидуальные эквиваленты дозы на двух упомянутых рекомендуемых глубинах обозначаются соответственно как $H_p(10)$ и $H_p(0{,}07)$.

2.37. Считается, что чувствительные в отношении стохастических эффектов клетки кожи находятся на уровнях от 0,02 мм до 0,1 мм под поверхностью кожи, и поэтому для оценки эквивалентной дозы на небольших участках кожи используется $H_p(0{,}07)$. В толщину ткани 0,07 мм могут проникать не только фотоны, но также и бета-излучение с энергией более 70 кэВ. Для всех видов излучения, в отношении которых актуально облучение конечностей, ограничивающей тканью или органом вероятнее всего станет кожа конечностей, а не сама конечность. Оценка эквивалентной дозы в коже будет консервативной оценкой эквивалентной дозы в конечностях. Таким образом, дозиметр конечностей по существу становится дозиметром кожи, и его следует разрабатывать для измерения $H_p(0{,}07)$.

2.38. Для мониторинга хрусталика глаза МКРЕ [8] рекомендует глубину 3 мм, и поэтому используемой операционной величиной является $H_p(3)$. Однако на практике использование $H_p(3)$ при текущем индивидуальном мониторинге еще не реализовано. В конкретных случаях, когда известны фактические поля излучения на рабочем месте, может оказаться приемлемым мониторинг хрусталика глаза с использованием дозиметров, откалиброванных для измерения $H_p(0{,}07)$ или $H_p(10)$. В [11] указано, что $H_p(0{,}07)$ можно считать хорошей операционной величиной для хрусталика глаза в случае облучения, создаваемого полями, для которых большая

часть дозы связана с фотонами, включая рентгеновское излучение. В таких случаях следует иметь в виду, что неопределенность, связанная с оценкой эквивалентной дозы, окажется более высокой.

Величины индивидуального мониторинга при дозиметрии внешнего облучения

2.39. Операционные величины, рекомендуемые для мониторинга рабочего места, определены в фантоме, известном как стандартный шар МКРЕ [12]. Он представляет собой сферу диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см^3 и массовым составом 76,2% кислорода, 11,1% углерода, 10,1% водорода и 2,6% азота.

2.40. Двумя величинами, рекомендованными МКРЕ для мониторинга рабочего места [8], являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$ и направленный эквивалент дозы $H'(d, \Omega)$.

2.41. Амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$ в точке поля излучения — это эквивалент дозы, который создается соответственно достроенным и распространенным полем в шаровом фантоме МКРЕ на глубине d по радиусу, имеющему направление, противоположное направлению достроенного поля.

2.42. Распространенное поле — это поле, в котором флюенс и его угловое и энергетическое распределение одинаковы по всему интересующему объему, как и в фактическом поле в стандартной точке. В расширенном и достроенном поле флюенс и его энергетическое распределение такие же, как и в расширенном поле, но флюенс является однонаправленным.

2.43. Любое заявление об амбиентном эквиваленте дозы должно включать указание рекомендуемой глубины d. Для сильнопроникающего излучения рекомендуемая глубина составляет 10 мм. Значение d должно выражаться в миллиметрах, поэтому амбиентным эквивалентом дозы для сильнопроникающего излучения является $H^*(10)$. При измерении $H^*(10)$ поле излучения должно быть равномерным по чувствительному объему прибора, а прибор должен иметь изотропный отклик.

2.44. Направленный эквивалент дозы $H'(d, \Omega)$ в определенной точке поля излучения — это эквивалент дозы, который создается соответствующим распространенным полем в шаровом фантоме МКРЕ на глубине d по радиусу с заданным направлением Ω. Любое заявление о направленном эквиваленте

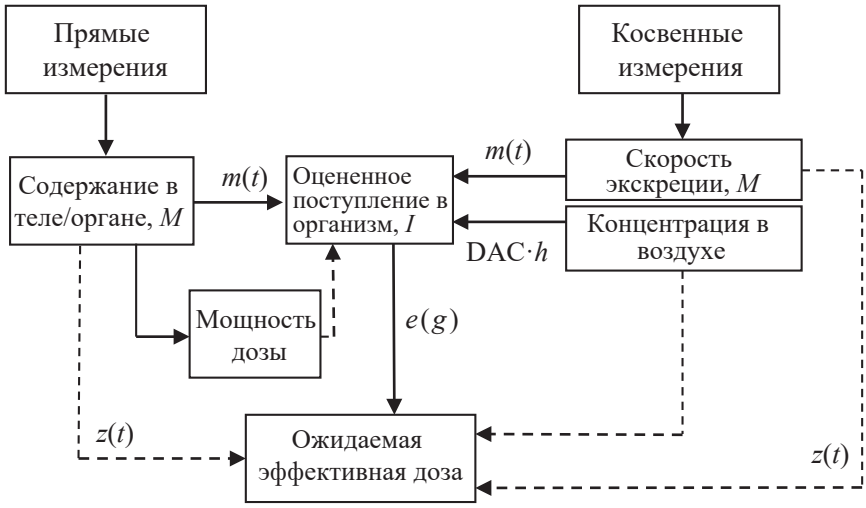
дозы должно включать указание рекомендуемой глубины d и направления Ω излучения. Для сильнопроникающего излучения и слабопроникающего излучения рекомендуемая глубина составляет соответственно 10 мм и 0,07 мм. При этом d также следует выражать в миллиметрах.

2.45. Если поле однонаправленное, направление Ω задается как угол между радиусом, противоположным падающему полю, и заданным радиусом. Когда заданный радиус параллелен полю излучения (т.е. когда $\Omega = 0°$), величина $H'(d, 0)$ может быть записана просто как $H'(d)$. Кроме того, в однонаправленном поле $H'(d)=H^*(d)$. При измерении $H'(d, \Omega)$ поле излучения должно быть равномерным по измерениям прибора, а прибор должен иметь надлежащую характеристику направленности.

2.46. Для облучения хрусталика глаза рекомендуемая глубина составляет 3 мм, но в настоящее время отсутствуют опубликованные переводные коэффициенты для преобразования основной физической величины кермы в направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$. Однако, если дозиметрическое устройство не предназначено для измерения $H'(3, \Omega)$, в качестве замены может быть использован $H'(0{,}07, \Omega)$ [8].

Величины, подлежащие индивидуальному мониторингу при дозиметрии внутреннего облучения

2.47. Дозы внутреннего облучения не могут быть измерены напрямую; их значения могут быть получены только на основе индивидуальных измерений других величин, таких как измерения активности в организме или в образцах экскреции. В тех случаях, когда индивидуальный мониторинг нецелесообразен, не отвечает требованиям или невозможен, профессиональное облучение работников может оцениваться на основе мониторинга рабочего места и другой соответствующей информации, такой как данные о месте и продолжительности облучения. Индивидуальные измерения включают измерения, проводимые как прямыми, так и косвенными методами. Примерами прямых методов являются методы измерения уровня активности в организме, такие как радиометрия всего тела, грудной клетки или щитовидной железы. Примерами косвенных методов являются измерения активности in vitro в собранных биологических пробах или измерения, проведенные с использованием индивидуального отбора проб воздуха. Концептуальная основа оценки доз при проведении таких измерений проиллюстрирована на рис. 2.



Примечание: Возможные альтернативные подходы к расчету показаны пунктирными линиями

РИС. 2. Общая схема оценки доз внутреннего облучения на основе данных радиационного мониторинга [9].

2.48. Как показано на рис. 2, величиной, представляющей главный интерес в отношении дозы внутреннего облучения, является поступление в организм I (т.е. активность радионуклида, поступившего в организм). Величину поступления в организм получают путем деления измеренного содержания в организме или скорости экскреции M на соответствующее значение $m(t)$:

$$I = \frac{M}{m(t)} \tag{5}$$

где $m(t)$ — доля поступления, которая остается в организме (для прямых методов) или выведена из организма (для косвенных методов) в момент времени t после поступления [13]. Эта доля зависит от радионуклида, его химической и физической формы, пути поступления и времени t.

2.49. В случае поступления смеси радионуклидов или многократного поступления, поступление I_j радионуклида j может быть рассчитано с использованием соответствующего измеренного значения M_j и полученной доли $m(t)_j$.

2.50. Дозы, ожидаемые в результате заданного поступления, I, называют ожидаемой эквивалентной дозой $H_T(\tau)$ в ткани или органе T и ожидаемой эффективной дозой $E(\tau)$, где τ — период времени после поступления, в течение которого доза накапливается. Ожидаемая эффективная доза $E(\tau)$ обычно используется для текущей оценки профессионального облучения. Для профессионального облучения взрослых τ принимается равным 50 годам, независимо от возраста на момент поступления. Для профессионального облучения учеников в возрасте от 16 до 18 лет и для облучения учащихся в возрасте от 16 до 18 лет τ представляет собой период времени до достижения возраста 70 лет.

2.51. Для того, чтобы получить значение ожидаемой эквивалентной дозы в ткани или органе, поступление умножают на $h_T(g)$, ожидаемую эквивалентную дозу на единицу поступления пероральным или ингаляционным путем, в зависимости от обстоятельств, для возрастной группы g. При текущей оценке профессионального облучения учитывается возрастная группа взрослых людей, за исключением учеников.

2.52. Для получения значения ожидаемой эффективной дозы поступление умножают на $e(g)$, ожидаемую эффективную дозу на единицу перорального или ингаляционного поступления, в зависимости от обстоятельств, для возрастной группы g.

2.53. В случае поступления смеси радионуклидов, поступление каждого радионуклида следует оценивать отдельно и умножать на соответствующий дозовый коэффициент (т.е. на соответствующую ожидаемую эффективную дозу на единицу поступления).

2.54. Ожидаемая доза может быть серьезно занижена, если дозовый коэффициент $h_T(g)$ или $e(g)$ применяется непосредственно к измеренному содержанию в организме, а не к предполагаемому поступлению.

2.55. Разработаны различные биокинетические модели для расчета значений $m(t)$ и $e(g)$ (см. пункт 7.141(a)). МКРЗ представила в графической и табличной форме значения $m(t)$ в определенные моменты времени для подгруппы радионуклидов (см. [13]). Сводные данные о дозовых коэффициентах $e(g)$ для поступления радионуклидов у работников представлены в [14], а также приведены в таблице III.2A документа GSR Part 3 [2]. Эти дозовые коэффициенты основаны на методах расчета и параметрах, приведенных в [15]. Опубликованные в настоящее время

значения $m(t)$ и $e(g)$ заменены новыми значениями в [16] на основе обновленных биокинетических моделей и на основе методов расчета и параметров, приведенных в [3].

2.56. МКРЗ предоставила данные о дозовых коэффициентах на единицу содержания в организме $z(t)$ [16]. Как показано на рис. 2, эти коэффициенты позволят рассчитать ожидаемую эффективную дозу непосредственно по результатам измерений при мониторинге без выполнения процесса расчета соответствующего поступления, в соответствии с уравнением:

$$E(\tau) = M \cdot z(t) \tag{6}$$

2.57. В ситуациях облучения от одного радионуклида при пероральном или ингаляционном поступлении без внешнего облучения предел поступления I_{L}, соответствующий пределу L эффективной дозы, определяется как:

$$I_{\mathrm{L}} = \frac{\mathrm{L}}{e(g)} \tag{7}$$

где $e(g)$ — соответствующее значение ожидаемой эффективной дозы на единицу поступления. При наличии внутреннего облучения, получаемого от ряда радионуклидов, или внешнего облучения суммарную эффективную дозу следует рассчитывать путем суммирования отдельных вкладов и сравнивать с соответствующим пределом эффективной дозы.

2.58. Потенциальную возможность ингаляционного поступления радионуклидов можно при необходимости оценивать путем измерения концентраций активности в пробах воздуха. Допустимая концентрация в воздухе определяется как концентрация активности аэрозолей, которая приведет к поступлению $I_{\mathrm{inh,L}}$ у работника, постоянно подвергающегося облучению в течение одного года (принимается равным 2000 ч). Допустимая концентрация в воздухе обычно выражается в единицах беккерелей на кубический метр. При стандартной интенсивности дыхания 1,2 м^3/ч и для поступления, выраженного в беккерелях, допустимая концентрация в воздухе определяется следующим образом:

$$\mathrm{DAC} = \frac{I_{\mathrm{inh,\,L}}}{2000 \times 1.2} \tag{8}$$

2.59. Для получения оценки поступления, выраженной в единицах часов воздействия DAC, измеренная концентрация активности аэрозолей, выраженная в виде доли допустимой концентрации в воздухе, может быть умножена на время облучения в часах.

Величины для мониторинга короткоживущих дочерних продуктов радона (^{222}Rn)

2.60. Доза в легких почти полностью связана с короткоживущими дочерними продуктами ^{222}Rn, а не с самим ^{222}Rn (см. пункт 5.45). Маловероятно, что короткоживущие дочерние продукты находятся в равновесии с материнским радионуклидом. Поэтому для целей радиационной защиты при описании концентрации дочерних продуктов ^{222}Rn в воздухе и результирующего облучения при ингаляционном поступлении используются специальные величины.

Скрытая энергия альфа-излучения

2.61. Скрытая энергия альфа-излучения ε_p одного атома короткоживущего радионуклида дочернего продукта ^{222}Rn представляет собой суммарную энергию альфа-излучения, излучаемую этим атомом при полном распаде от ^{222}Rn до ^{210}Pb.

2.62. Скрытая энергия альфа-излучения, излучаемая 1 Бк радионуклида, а не одним атомом, определяется как:

Скрытая энергия альфа-излучения на единицу активности (J/Bq) =

$$\frac{\varepsilon_p}{\text{активность на атом}} = \frac{\varepsilon_p}{\lambda} = \frac{\varepsilon_p t}{\ln 2} \qquad (9)$$

где λ — постоянная распада (в обратных секундах), а t — период полураспада радионуклида (в секундах). Соответствующие значения для короткоживущих продуктов распада ^{222}Rn приведены в таблице 1.

Концентрация скрытой энергии альфа-излучения

2.63. При рассмотрении ситуаций облучения, связанных с дочерними продуктами ^{222}Rn, суммарная скрытая энергия альфа-излучения обычно выражается в виде концентрации энергии в воздухе (в джоулях на кубический метр). Ее называют концентрацией скрытой энергии

альфа-излучения. Для любой смеси короткоживущих дочерних продуктов ^{222}Rn в воздухе вклад каждого радионуклида в концентрацию скрытой энергии альфа-излучения представляет собой его скрытую энергию альфа-излучения на единицу активности (ε_p/λ), указанную в таблице 1, умноженную на его концентрацию активности *c*. Тогда суммарная концентрация скрытой энергии альфа-излучения представляет собой сумму этих индивидуальных вкладов:

$$\text{PAEC} = \sum_j c_j \frac{\varepsilon_{\text{p},\, j}}{\lambda_j} \tag{10}$$

2.64. Из таблицы 1 можно сделать вывод (просто добавив значения в правую колонку), что если бы все дочерние продукты находились в равновесии с материнским радионуклидом ^{222}Rn при концентрации 1 Бк/м^3, концентрация скрытой энергии альфа-излучения смеси составляла бы $5{,}56 \times 10^{-9}$ Дж/м^3.

ТАБЛИЦА 1. СКРЫТАЯ ЭНЕРГИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ ^{222}Rn

Радионуклид	Период полураспада	Энергия альфа-излучения (Дж)	Выход (%)	Скрытая энергия альфа-излучения	
				На атом ε_p (Дж)	На единицу активности ε_p/λ (Дж/Бк)
Po-218	3,098 мин.	$0{,}962 \times 10^{-12}$	100	$2{,}19 \times 10^{-12}$	$0{,}588 \times 10^{-9}$
Pb-214	26,8 мин.	Ноль (бета-излучатель)	—	$1{,}23 \times 10^{-12}$	$2{,}85 \times 10^{-9}$
Bi-214	19,9 мин.	Ноль (бета-излучатель)	—	$1{,}23 \times 10^{-12}$	$2{,}12 \times 10^{-9}$
Po-214	164,3 мкс	$1{,}23 \times 10^{-12}$	100	$1{,}23 \times 10^{-12}$	3×10^{-16}

Источник: Данные за 2014 год из базы данных NuDat (см. www.nndc.bnl.gov/nudat2).

2.65. На практике дочерние продукты редко, если когда-либо вообще, будут находиться в равновесии, и поэтому концентрация скрытой энергии альфа-излучения будет составлять некоторую часть равновесного значения. Эту часть называют коэффициентом равновесия F:

$$F = \frac{\text{PAEC}}{\text{PAEC (равновесная)}} \tag{11}$$

2.66. В качестве примера рассмотрим неравновесную смесь ^{222}Rn и его дочерних продуктов, в которой индивидуальные концентрации активности радионуклидов составляют 100 Бк/м^3 для ^{222}Rn, 75 Бк/м^3 для ^{218}Po, 50 Бк/м^3 для ^{214}Pb и 25 Бк/м^3 для ^{214}Po и ^{214}Bi. Из таблицы 1 следует, что концентрация скрытой энергии альфа-излучения смеси составляет:

$$\begin{aligned}\text{PAEC} &= \left(0.588\times10^{-9}\times75\right)+\left(2.85\times10^{-9}\times50\right)+\left(2.12\times10^{-9}\times25\right)+\left(3\times10^{-16}\times25\right)\\ &= 2.40\times10^{-7}\ \text{J/m}^3\end{aligned} \tag{12}$$

2.67. Если бы смесь находилась в равновесии, то все радиоизотопы в цепочке распада имели бы концентрацию активности 100 Бк/м^3, и концентрация скрытой энергии альфа-излучения в соответствии с пунктом 2.64 составляла бы:

$$\text{PAEC (равновесная)} = 5.56\times10^{-9}\times100 = 5.56\times10^{-7}\ \text{J/m}^3 \tag{13}$$

Поэтому коэффициент равновесия смеси составляет:

$$F = \frac{2.40\times10^{-7}}{5.56\times10^{-7}} = 0.432 \tag{14}$$

Облучение, обусловленное скрытой энергией альфа-излучения[7]

2.68. Облучение человека от дочерних продуктов ^{222}Rn (P_{RnP}) определяют путем умножения концентрации скрытой энергии альфа-излучения (в джоулях на кубический метр) на период облучения (в часах). Поэтому облучение выражается в единицах джоуль-часов на кубический метр.

[7] Облучение, обусловленное скрытой энергией альфа-излучения, не является своего рода скрытым облучением.

Поскольку концентрация скрытой энергии альфа-излучения, как правило, будет варьироваться в течение периода облучения, облучение следует рассчитывать как интеграл по времени:

$$P_{\mathrm{RnP}} = \int_0^{\tau} \mathrm{PAEC}(t)\,\mathrm{d}t \tag{15}$$

где τ — период облучения. При расчете период облучения обычно принимается равным одному году. Как правило, для рабочих мест используется стандартный годовой период облучения, составляющий 2000 часов. Следует иметь в виду, что принятие этого стандартного значения может привести к консервативной оценке годового облучения.

Эквивалентная равновесная концентрация и эквивалентное равновесное облучение

2.69. Существует альтернативный способ обозначения концентрации дочерних продуктов ^{222}Rn в воздухе. Если концентрация газообразного ^{222}Rn (в беккерелях на кубический метр) умножается на коэффициент равновесия *F*, то полученную величину называют эквивалентной равновесной концентрацией (EEC) материнского радионуклида ^{222}Rn (также выраженной в единицах беккерелей на кубический метр). EEC можно рассматривать как концентрацию ^{222}Rn, находящегося в равновесии с короткоживущими дочерними продуктами его распада, которые имеют ту же концентрацию скрытой энергии альфа-излучения, что и фактическая неравновесная смесь. Из пункта 2.64 можно определить, что численная связь между концентрацией скрытой энергии альфа-излучения и EEC выглядит следующим образом:

$$\mathrm{PAEC}\ (\mathrm{J/m^3}) = 5.56 \times 10^{-9} \times \mathrm{EEC}\ (\mathrm{Bq/m^3}) \tag{16}$$

Точно так же облучение от дочерних продуктов ^{222}Rn может быть выражено как эквивалентное равновесное облучение, в единицах беккерель-часов на кубический метр:

$$\text{Эквивалентное равновесное облучение} = \int_0^{\tau} \mathrm{EEC}(t)\,\mathrm{d}t \tag{17}$$

Выбор между облучением, обусловленным скрытой энергией альфа-излучения, и эквивалентным равновесным облучением не важен, поскольку эти две величины просто связаны между собой постоянным коэффициентом $5{,}56\times10^{-9}$ Дж/Бк.

Облучение, обусловленное концентрацией газообразного ^{222}Rn, в качестве заменителя облучения, обусловленного дочерними продуктами ^{222}Rn

2.70. Во многих ситуациях, связанных с облучением, обусловленным дочерними продуктами ^{222}Rn, процесс измерения может быть значительно упрощен путем использования средневзвешенной по времени концентрации газообразного ^{222}Rn в воздухе (в единицах беккерелей на кубический метр) в качестве заменителя скрытой энергии альфа-излучения. Например, измерения в большом числе зданий в течение длительного периода времени лучше всего проводить с использованием пассивных трековых устройств, детектирующих ^{222}Rn. Такие устройства имеют малые размеры, они просты, надежны и недороги. При применении этого подхода следует использовать соответствующее значение коэффициента равновесия F. Для этой цели обычно достаточно использовать значение по умолчанию, равное 0,4. Было обнаружено, что большинство значений F в воздухе внутри помещения находится в пределах диапазона, отклоняющегося на 30% от этого значения. Однако на таких рабочих местах, как подземные рудники или водоочистные сооружения, могут иметь место значительно более низкие значения F. Тогда облучение, обусловленное скрытой энергией альфа-излучения, задается формулой:

$$\begin{aligned}&\text{Облучение, обусловленное скрытой энергией}\\&\text{альфа-излучения } (\mathrm{J\cdot h\cdot m^{-3}}) =\\&\text{Концентрация } ^{222}\mathrm{Rn} \times 5.56\times10^{-9}\times0.4\times T\end{aligned} \qquad (18)$$

где T — период облучения (ч). При использовании стандартного годового периода облучения, составляющего 2000 часов для рабочих мест, эта формула дает значение облучения, обусловленного скрытой энергией альфа-излучения, составляющее $4{,}45\times10^{-6}$ Дж·ч·м$^{-3}$ при концентрации ^{222}Rn, равной 1 Бк/м^3.

Величины при проведении мониторинга короткоживущих дочерних продуктов ^{220}Rn

2.71. Радон-220 (обычно называемый тороном) на рабочих местах обычно не является проблемой, вызывающей озабоченность, за исключением случаев, когда перерабатывается или хранится материал с высоким содержанием тория, например, при переработке моназита с целью извлечения редкоземельных элементов и тория. В таких случаях может быть использован подход, аналогичный подходу для дочерних продуктов ^{222}Rn. Короткоживущие дочерние продукты ^{220}Rn могут не находиться в равновесии с материнским радионуклидом. На закрытых рабочих местах короткий период полураспада ^{220}Rn (55,6 с) означает, что пространственное распределение ^{220}Rn сильно отличается от пространственного распределения его дочерних продуктов. Оценка коэффициента равновесия является сложной задачей, и для целей оценки дозы подход, основанный на измерении концентрации дочерних продуктов ^{220}Rn, является более простым и целесообразным, чем подход, основанный на измерении концентрации ^{220}Rn.

2.72. Из различных радионуклидов дочерних продуктов ^{220}Rn только ^{212}Pb и ^{212}Bi вносят значительные вклады в суммарную скрытую энергию альфа-излучения — соответственно 91% и 9%. Скрытая энергия альфа-излучения ^{212}Pb составляет $6{,}91\times10^{-8}$ Дж/Бк, в то время как скрытая энергия альфа-излучения ^{212}Bi составляет $6{,}56\times10^{-9}$ Дж/Бк. Вклад материнского радионуклида ^{220}Rn более чем на порядок ниже, чем вклад ^{212}Bi. Поскольку почти вся суммарная скрытая энергия альфа-излучения формируется за счет вклада ^{212}Pb, его концентрация активности в воздухе может быть использована в качестве заменителя концентрации скрытой энергии альфа-излучения, и в этом случае концентрация ^{212}Pb, составляющая 1 Бк/м^3, соответствует концентрации скрытой энергии альфа-излучения, равной $6{,}91\times10^{-8}$ Дж/м^3.

3. ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В СИТУАЦИЯХ ПЛАНИРУЕМОГО ОБЛУЧЕНИЯ

3.1. В пунктах 3.1–3.4 документа GSR Part 3 [2] изложена сфера применения требований для ситуаций планируемого облучения. Эта сфера применения определена с учетом соответствующих видов практической деятельности и облучения от источников в рамках различных видов практической деятельности. Что касается облучения от природных источников, то в пункте 3.4 документа GSR Part 3 [2] говорится, что такое облучение обычно подпадает под требования для ситуаций существующего облучения (см. раздел 5). Требования для ситуаций планируемого облучения применяются только в определенных случаях (см. пункты 3.159 и 3.161).

3.2. Документ GSR Part 3 [2] требует, чтобы любое лицо или любая организация, намеревающееся или намеревающаяся осуществить любую деятельность в рамках сферы применения требований, направляло или направляла регулирующему органу уведомление о таком намерении. Подача только уведомления является достаточной при условии, что облучение, которое ожидается при осуществлении практической деятельности или данного действия, вряд ли может превысить малую долю соответствующих пределов, определяемую регулирующим органом, и что вероятность и величина потенциального облучения и любых других потенциальных вредных последствий пренебрежимо малы.

3.3. В тех случаях, когда одного лишь уведомления недостаточно, соответствующее лицо или организация должны обращаться в регулирующий орган за разрешением, которое принимает форму регистрации или лицензирования. Типичными видами практической деятельности, которые подлежит регистрации, являются те, для которых: (i) безопасность может быть в значительной мере обеспечена путем соответствующего проектирования установок и оборудования; (ii) эксплуатационные процедуры отличаются простотой соблюдения; (iii) требования в отношении подготовки по вопросам безопасности минимальны; и (iv) имеется статистика, свидетельствующая о небольшом числе проблем с безопасностью при осуществлении операций. Регистрацию лучше всего вводить применительно к видам практической деятельности, операции в которых не характеризуются значительными различиями.

3.4. Одна из основных обязанностей руководства в отношении профессионального облучения изложена в Требовании 21 документа GSR Part 3 [2]:

> «**На работодателей, зарегистрированных лиц и лицензиатов возлагается ответственность за защиту персонала от профессионального облучения. Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты обеспечивают оптимизацию защиты и безопасности и непревышение пределов дозы, установленных для профессионального облучения**».

3.5. Согласно пункту 3.78 документа GSR Part 3 [2], если облучение работника поступает от источников, не требующихся в ходе его работы или не связанных непосредственно с выполняемой им работой, руководство обязано обеспечить этому работнику такой же уровень защиты от такого облучения, как и для лиц из населения.

3.6. В соответствии с дифференцированным подходом к регулированию (см. пункты 2.20–2.22) правительство или регулирующий орган обязаны определить виды практической деятельности или источники в рамках видов практической деятельности, подлежащие изъятию из-под действия некоторых или всех требований документа GSR Part 3 [2], включая требования к уведомлению, регистрации или лицензированию (см. пункт 3.10 документа GSR Part 3 [2]). Подобным же образом, требуется, чтобы регулирующий орган утверждал, какие источники, включая материалы и предметы, уже находящиеся в рамках осуществляемой с уведомлением практической деятельности или разрешенной практической деятельности, могут быть освобождены от регулирующего контроля (см. пункт 3.12 документа GSR Part 3 [2]). Изъятие или освобождение от контроля является надлежащим вариантом регулирования, если радиационные риски слишком низки, чтобы требовать регулирующего контроля, или если введение (или сохранение) регулирующего контроля не может принести чистой пользы (см. пункты I.1–10 документа GSR Part 3 [2]).

3.7. В соответствии с пунктами I.2 и I.11 документа GSR Part 3 [2], общим критерием для изъятия или освобождения от контроля без дальнейшего рассмотрения является эффективная доза порядка 10 мкЗв или менее в год (или 1 мЗв или менее в год в случае маловероятных сценариев). Однако для больших количеств материала, содержащего радионуклиды природного происхождения, критерий 10 мкЗв не подходит, поскольку он на один-два порядка величины ниже уровня нормальных колебаний облучения,

обусловленного природным фоновым излучением. Для такого материала критерием для изъятия является эффективная доза порядка 1 мЗв или менее в год (пункт I.4 документа GSR Part 3 [2]), в то время как критерием для освобождения от контроля является концентрация активности 1 Бк/г или менее для каждого радионуклида в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th и 10 Бк/г или менее для ^{40}K (или, для некоторых остатков, эффективная доза 1 мЗв или менее в год) (см. пункт I.12 документа GSR Part 3 [2]).

ОПТИМИЗАЦИЯ

Общие положения

3.8. Пункты 3.76(b) и 3.77 документа GSR Part 3 [2] гласят:

> «3.76. Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты обеспечивают для всех работников, занятых на работах, при выполнении которых они подвергаются или могут подвергаться профессиональному облучению:
>
> …….
>
> b) оптимизацию защиты и безопасности в соответствии с требованиями настоящих Норм;
>
> …….
>
> 3.77. Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты:
>
> a) вовлекают работников, в надлежащих случаях через их представителей, в работу по оптимизации защиты и безопасности;
> b) устанавливают и применяют в надлежащих случаях ограничения в рамках мер по оптимизации защиты и безопасности».

3.9. Что касается контроля профессионального облучения в ситуациях планируемого облучения, то руководящие материалы по выполнению соответствующих требований документа GSR Part 3 [2] по оптимизации защиты и безопасности представлены в пунктах 3.10–3.18. Дальнейшая информация более практического характера приведена в [17].

3.10. Оптимизацию защиты и безопасности следует рассматривать на всех этапах срока службы оборудования и установок в отношении как облучения при нормальной эксплуатации, так и потенциального облучения. Как следствие, в процедуре оптимизации следует учитывать ситуации на всех этапах — от проектирования, в рамках эксплуатации и до вывода из эксплуатации и обращения с отходами.

3.11. С практической точки зрения требования к оптимизации требуют подхода, при котором:

a) рассматриваются все возможные меры, связанные с источником(ами) и характером работы работников с источником(ами) или вблизи него(них);
b) предполагается процесс «целевого управления» со следующей последовательностью: планирование, постановка целей, мониторинг, измерение рабочих характеристик, оценка и анализ рабочих характеристик с целью определения корректирующих мер и постановка новых целей;
c) существует возможность адаптации с учетом любых значительных изменений в состоянии методов, ресурсов, имеющихся для целей защиты, или преобладающего социального контекста;
d) поощряется подотчетность, с тем чтобы все стороны ответственно относились к процессу предотвращения излишнего облучения.

3.12. Величина «коллективная эффективная доза» может использоваться в качестве инструмента для оптимизации, для сравнения имеющихся радиологических технологий и для процедур защиты. Эта величина учитывает облучение всех лиц в группе в течение заданного периода времени или во время заданной операции, выполняемой этой группой в обозначенных зонах облучения. Коллективная эффективная доза рассчитывается как сумма всех индивидуальных эффективных доз за определенный период времени или во время рассматриваемой операции и выражается в человеко-зивертах (чел.Зв).

3.13. В процессе оптимизации следует учитывать:

a) ресурсы, имеющиеся для обеспечения защиты и безопасности;
b) распределение индивидуального облучения и коллективного облучения в различных группах работников;
c) вероятность и величину потенциального облучения;

d) потенциальное воздействие мер, предпринимаемых в целях обеспечения радиационной защиты, на уровень других (нерадиологических) рисков для работников или лиц из населения;
e) надлежащую практику в соответствующих секторах;
f) социально-экономические аспекты.

3.14. Некоторые из вариантов, рассмотренных при оптимизации защиты и безопасности для работников, могут приводить к увеличению облучения других лиц или, в медицинской области, к снижению эффективности клинической процедуры. Такие последствия следует учитывать в процессе оптимизации, особенно при рассмотрении вопроса о введении мер административного контроля и использовании средств индивидуальной защиты. В частности, меры по защите медицинского персонала не должны приводить к снижению защиты пациента или ухудшению клинических результатов.

3.15. В целом, дополнительная польза, которая должна быть получена с точки зрения снижения дозы, постепенно уменьшается по мере увеличения сопутствующих расходов. Даже затраты на рассмотрение способов снижения доз могут стать значительными по сравнению с ожидаемой пользой. На определенном этапе эти усилия могут оказаться нецелесообразными в случае низких доз. В этой связи следует отметить, что в пункте 3.10 документа GSR Part 3 [2] предусматривается изъятие практической деятельности из сферы действия регулирующего контроля в тех случаях, когда оценка показывает, что изъятие является оптимальным вариантом для защиты. Это положение является лишь признанием более общей концепции уменьшающихся результатов.

3.16. Оптимизацию защиты и безопасности следует рассматривать на этапе проектирования оборудования и установок, когда еще имеется определенная степень гибкости. На этом этапе при определении вариантов защиты следует тщательно изучить вопрос об использовании инженерно-технических средств контроля. Например, при интервенционных процедурах с визуальным контролем, когда существует возможность получения работниками значительной дозы в хрусталике глаза, следует уделять внимание установке стационарных защитных экранов и выбору оборудования. Однако даже если защита была оптимизирована на этапе проектирования, по-прежнему применимы требования в отношении оптимизации на этапе эксплуатации. На этом этапе содержание и масштаб процесса оптимизации будут зависеть от ситуации. Например, при работе с рентгеновскими аппаратами процесс оптимизации может

быть довольно простым и включать соблюдение местных правил и соответствующую подготовку операторов. Что касается ядерных установок, то ситуации оказываются более сложными, и в рамках программы радиационной защиты следует придерживаться структурированного подхода, включая использование методов содействия принятию решений (см. пункты 3.24–3.27), установление граничных доз (см. пункты 3.28–3.33) и установление уровней расследования (см. пункты 3.122–3.128).

3.17. Оптимизация защиты и безопасности при эксплуатации - это процесс, который начинается на этапе планирования и продолжается на этапах разработки графиков, подготовки, реализации и получения обратной связи. Этот процесс оптимизации посредством управления производством работ применяется с целью обеспечения постоянного контроля за уровнями облучения и поддержания их на разумно достижимом низком уровне. Важным элементом управления производством работ является разработка программы радиационной защиты, адаптированной к конкретной ситуации.

3.18. Руководству следует регистрировать информацию о том, каким образом осуществляется оптимизация защиты и безопасности и при необходимости распространять эту информацию. Эта информация может охватывать следующие области:

a) обоснование предлагаемых оперативных, связанных с техническим обслуживанием и административных процедур наряду с другими рассмотренными вариантами и причинами их отклонения;
b) периодическое рассмотрение и анализ тенденций в отношении доз, обусловленных профессиональным облучением лиц в различных рабочих группах, и других оценочных показателей;
c) внутренние аудиты и независимые экспертизы, а также соответствующие корректирующие меры;
d) отчеты об инцидентах и уроки, которые следует извлечь.

Приверженность оптимизации защиты

3.19. Главную ответственность за оптимизацию защиты и безопасности несет руководство. Приверженность эффективной политике в области защиты и безопасности имеет важнейшее значение на всех уровнях руководства, но особенно на старшем уровне. Приверженность руководства следует демонстрировать посредством письменных программных заявлений, которые делают критерии радиационной защиты неотъемлемой частью процесса принятия решений, а также путем предоставления

надлежащих ресурсов и оказания четкой и наглядной поддержки тем лицам, которые непосредственно отвечают за радиационную защиту на рабочем месте.

3.20. Старшему руководству следует воплощать свою приверженность оптимизации защиты и безопасности в эффективные действия путем включения оптимизации в соответствующую программу радиационной защиты, соразмерную уровню и характеру радиационных рисков, связанных с практической деятельностью. Сфера охвата такой программы изложена в пункте 3.60.

3.21. Работники также должны быть привержены обеспечению защиты и безопасности. Работодателю следует обеспечивать наличие механизмов, с помощью которых работники могли бы в максимально возможной степени участвовать в разработке методов поддержания доз на разумно достижимом низком уровне, и иметь возможность высказать свое мнение об эффективности мер радиационной защиты.

3.22. Оптимизация защиты и безопасности является регулирующим требованием. Регулирующему органу следует быть приверженным оптимизации защиты и безопасности и поощрять ее применение. При необходимости регулирующему органу следует предпринимать все соответствующие действия для обеспечения соблюдения регулирующих требований к руководству в целях применения этого принципа.

3.23. Руководству следует обеспечивать, чтобы для сотрудников всех уровней, включая старших руководителей, осуществлялись учебные программы, содержание и продолжительность которых соразмерны функциям и обязанностям соответствующего персонала и адаптированы к ним. Персоналу регулирующих органов следует обладать подготовкой, необходимой для обеспечения надлежащего применения оптимизации защиты и безопасности и их соблюдения.

Использование методов содействия принятию решений

3.24. Процесс оптимизации защиты и безопасности с использованием методов содействия принятию решений может варьироваться от интуитивного качественного анализа до количественного анализа, но должен быть достаточным для последовательного учета всех соответствующих факторов, с тем чтобы способствовать достижению следующих целей:

a) определять оптимизированные в сложившихся обстоятельствах меры по обеспечению защиты и безопасности с учетом имеющихся вариантов обеспечения защиты и безопасности, а также характера, величины и вероятности облучения;
b) на основе результатов такого процесса оптимизации устанавливать критерии для ограничения величины облучения и его вероятности посредством мер, направленных на предотвращение аварий и смягчение их последствий.

3.25. В большинстве ситуаций качественный подход, основанный на профессиональном суждении, будет достаточным для принятия решения о наиболее благоприятном уровне защиты, который может быть достигнут. В более сложных ситуациях, особенно в тех, которые имеют значительные последствия для расходов (например, на этапе проектирования установок), может оказаться целесообразным использование более структурированного подхода. Некоторые сложные ситуации могут поддаваться количественной оценке с использованием анализа затрат и результатов или других количественных методов. Однако в других случаях может оказаться невозможным количественно оценить все соответствующие факторы или выразить их в сопоставимых единицах. Кроме того, может оказаться затруднительным обеспечить баланс между коллективными дозами и индивидуальными дозами, а также между дозами для работников и дозами для населения и учитывать более широкие социальные факторы. В таких ситуациях могут быть полезны методы содействия принятию качественных решений, такие как многокритериальный анализ.

3.26. Структурированный подход к выбору надлежащих мер обеспечения защиты и безопасности должен включать следующие шаги с учетом облучения при нормальной эксплуатации и потенциального облучения:

a) определение всех практически осуществимых вариантов защиты, которые могут потенциально снизить профессиональное облучение;
b) выявление всех соответствующих экономических, социальных, радиологических и, в соответствующих случаях, нерадиологических факторов для конкретной рассматриваемой ситуации, в которых проводится различие между выявленными вариантами (например, коллективной дозой, распределением индивидуальных доз, влиянием на облучение населения, влиянием на будущие поколения и инвестиционными расходами);
c) количественная оценка, где это возможно, соответствующих факторов для каждого варианта защиты;

d) сравнение всех вариантов и выбор оптимального(ых) варианта(ов);
e) в соответствующих случаях проведение анализа чувствительности (т.е. оценки устойчивости решений, полученных путем тестирования с использованием различных значений ключевых параметров, для которых существуют признанные неопределенности).

3.27. Независимо от ситуации, лицам, принимающим решения, следует иметь в виду, что методы содействия принятию решений не обязательно дают окончательный ответ и не являются единственным возможным решением. Эти методы следует рассматривать в качестве инструментов, помогающих структурировать проблемы, с тем чтобы сравнить относительную эффективность различных возможных вариантов обеспечения защиты и безопасности, облегчить интеграцию всех соответствующих факторов и содействовать принятию согласованных решений.

Граничные дозы

3.28. Пункт 1.22 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Граничные дозы...используются для оптимизации защиты и безопасности и преследуют цель обеспечить, чтобы благодаря контролю уровень всех видов облучения был на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических, социальных и экологических факторов. Граничные дозы применяются в отношении профессионального облучения и облучения населения в ситуациях планируемого облучения».

Для профессионального облучения граничная доза — это связанное с источником значение индивидуальной дозы, используемое для ограничения диапазона вариантов, учитываемых в процессе оптимизации, и она всегда будет представлять собой определенную часть предела дозы. Далее пункт 1.22 гласит:

> «Граничные дозы устанавливаются для каждого контролируемого источника и играют роль граничных условий при определении диапазона вариантов для целей оптимизации защиты и безопасности. Граничные дозы — это не пределы дозы: превышение граничной дозы не означает несоблюдения регулирующих требований, но может привести к принятию последующих мер».

3.29. Пункт 1.23 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Хотя цели использования граничных доз для контроля профессионального облучения и облучения населения аналогичны, граничные дозы применяются по-разному. В случае профессионального облучения граничная доза — это инструмент, который разрабатывается и используется при оптимизации защиты и безопасности лицом или организацией, отвечающими за установку или деятельность... После облучения граничная доза может использоваться в качестве точки отсчета для оценки адекватности применяемой оптимальной стратегии обеспечения защиты и безопасности...и для внесения необходимых коррективов. Вопрос об установлении граничной дозы необходимо рассматривать совместно с другими положениями, касающимися охраны здоровья и обеспечения безопасности, и с учетом имеющихся технологий».

3.30. Цель применения граничной дозы заключается в установлении предельных значений индивидуальной дозы — доз от источника, комплекта источников в установке, практической деятельности, задания или группы операций в конкретной отрасли промышленности, — которые могут считаться приемлемыми в процессе оптимизации защиты для этих источников, видов практической деятельности или заданий. В зависимости от ситуации, граничная доза может быть выражена как разовая доза или как доза в течение заданного периода времени. Любые граничные дозы следует устанавливать таким образом, чтобы в тех случаях, когда работники подвергаются облучению от нескольких источников или в рамках нескольких заданий, соблюдались пределы дозы при профессиональном облучении.

3.31. Для применения принципа оптимизации индивидуальные дозы следует оценивать на этапе проектирования и планирования, и именно эти прогнозируемые индивидуальные дозы для различных вариантов следует сравнивать с соответствующей граничной дозой. Варианты, в которых прогнозируется получение доз ниже граничной дозы, следует рассматривать в дальнейшем; варианты, в которых прогнозируется получение доз выше граничной дозы, следует, как правило, отклонять. Граничные дозы не следует использовать ретроспективно для проверки соблюдения требований по обеспечению защиты и безопасности.

3.32. Граничные дозы следует использовать с учетом перспективы при оптимизации радиационной защиты в различных ситуациях, возникающих при планировании и выполнении заданий, а также при проектировании установок или оборудования. Поэтому их следует устанавливать на индивидуальной основе в соответствии с конкретными характеристиками ситуации облучения. Поскольку граничные дозы связаны с источником, следует указать источник, к которому они относятся. Граничные дозы следует устанавливать в консультации с заинтересованными сторонами. Регулирующие органы могут использовать их в общем плане — для категорий аналогичных источников, видов практической деятельности или заданий — или, в частности, при выдаче разрешений для отдельных источников, видов практической деятельности или заданий. Установление ограничений может быть результатом взаимодействия между регулирующим органом, затрагиваемыми операторами и, в соответствующих случаях, представителями работников. Как общее правило, может оказаться более целесообразным, чтобы регулирующий орган не устанавливал конкретные значения ограничений, а поощрял разработку ограничений в отношении профессионального облучения в конкретных отраслях и организационных группах, подлежащих надзору со стороны регулирующих органов.

3.33. Следует обеспечивать, чтобы процесс определения граничной дозы для любой конкретной ситуации включал рассмотрение опыта эксплуатации и обратную информацию относительно аналогичных ситуаций, если это возможно, а также учет экономических, социальных и технических факторов. В случае профессионального облучения особое значение имеет опыт эффективного управления операциями, и его следует учитывать при установлении ограничений. Для этих целей могут быть полезны национальные обследования или международные базы данных, в которых фиксируется обширный опыт в области облучения, связанного с конкретными операциями.

ОГРАНИЧЕНИЕ ДОЗ

3.34. Пункт 3.76 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты обеспечивают для всех работников, занятых на работах, при выполнении которых они подвергаются или могут подвергаться профессиональному облучению:

a) контроль профессионального облучения, исключающий превышение соответствующих пределов дозы для профессионального облучения, указанных в Приложении III».

3.35. В соответствии с пунктом III.1 документа GSR Part 3 [2]:

«Для профессионального облучения работников в возрасте старше 18 лет устанавливаются следующие пределы дозы:

a) эффективная доза 20 мЗв в год, усредненная за пять последовательных лет[66] (100 мЗв за 5 лет), и 50 мЗв за любой отдельный год;
b) эквивалентная доза в хрусталике глаза 20 мЗв в год, усредненная за пять последовательных лет (100 мЗв за 5 лет) и 50 мЗв за любой отдельный год;
c) эквивалентная доза в конечностях (кистях рук и стопах ног) или в коже[67] 500 мЗв в год.

[66] Начало периода усреднения должно совпадать с первым днем соответствующего годового периода после даты ввода в действие настоящих Норм без какого-либо ретроспективного усреднения.

[67] Пределы эквивалентной дозы в коже используются в отношении средней дозы на 1 см^2 наиболее высоко облученного участка кожи. Доза в коже также является составляющей эффективной дозы, причем ее величина рассчитывается путем умножения средней дозы для всей кожи на взвешивающий коэффициент для ткани (кожи)».

3.36. Регулирующему органу или другому соответствующему органу следует четко определять правила, которым необходимо следовать при определении периодов, используемых для ограничения доз. Простыми примерами, которые могут использоваться для одногодичных периодов, являются календарные годы или национальные финансовые годы. Для целей усреднения могут быть выбраны «скользящие» пятилетние периоды, в которых текущий отдельный год (календарный или финансовый) считается последним годом в пятилетнем периоде. В соответствии с предпочтениями, связанными с регулированием, могут быть приняты и другие договоренности.

3.37. Как указано в пункте III.1 документа GSR Part 3 [2], пределы эквивалентной дозы в коже применимы в отношении средней дозы на 1 см^2 наиболее высоко облученного участка кожи. Доза в коже также является

составляющей эффективной дозы, причем ее величина рассчитывается путем умножения средней дозы во всей коже на тканевый взвешивающий коэффициент для кожи.

3.38. Как указано в в пунктах III.1 и 3.114 документа GSR Part 3 [2], в случае профессионального облучения работницы, уведомившей о беременности или о кормлении грудью, применяются дополнительные ограничения (см. пункты 3.46 и 6.2–6.20).

3.39. В соответствии с пунктом III.2 документа GSR Part 3 [2]:

> «Для профессионального облучения учеников в возрасте от 16 до 18 лет, которые проходят обучение в целях последующего получения работы, связанной с излучением, и для облучения учащихся в возрасте от 16 до 18 лет, которые пользуются источниками в процессе своего обучения, устанавливаются следующие пределы дозы:
>
> a) эффективная доза 6 мЗв в год;
> b) эквивалентная доза в хрусталике глаза 20 мЗв в год;
> c) эквивалентная доза в конечностях (кистях рук и стопах ног) или в коже[67] 150 мЗв в год.
>
> [67] Пределы эквивалентной дозы в коже используются в отношении средней дозы на 1 см^2 наиболее высоко облученного участка кожи. Доза в коже также является составляющей эффективной дозы, причем ее величина рассчитывается путем умножения средней дозы для всей кожи на взвешивающий коэффициент для ткани (кожи)».

В случае профессионального облучения работодатель ученика должен нести ответственность за обеспечение защиты и безопасности ученика.

3.40. Рекомендации относительно применения пределов дозы в отношении внештатных работников изложены в пунктах 6.21–6.100.

3.41. К случаям, в которых может потребоваться гибкость, обеспечиваемая усреднением доз за пять лет, относятся плановые операции по техническому обслуживанию на атомных электростанциях и текущие работы в рамках деятельности по добыче урана. Однако в большинстве ситуаций, при условии надлежащего применения принципа оптимизации защиты, будет необычно, если работники будут получать годовую эффективную дозу, превышающую 20 мЗв. В тех случаях, когда гибкость, обеспечиваемая

усреднением, не требуется, регулирующий орган может продолжать работать с годовым пределом; тогда предел дозы будет составлять 20 мЗв в любом отдельном году.

3.42. Общий подход к применению пределов дозы в тех случаях, когда используется полная гибкость (т.е. усреднение доз за пять лет), можно резюмировать следующим образом:

a) в целом облучение отдельного работника следует контролировать таким образом, чтобы эффективная доза не превышала 20 мЗв в год. Это значение включает дозу внешнего облучения, а также дозу внутреннего облучения, полученные работником в течение данного периода;
b) если в результате облучения работника он получает эффективную дозу, превышающую 20 мЗв в год, но его облучение не превышает предела дозы 50 мЗв, то руководству следует предпринять следующие меры, в зависимости от обстоятельств:
   i) провести рассмотрение получаемого облучения с целью определения того, находилось ли это облучение на разумно достижимом низком уровне, и, в соответствующих случаях, принять необходимые корректирующие меры;
   ii) рассмотреть способы ограничения дальнейшего облучения этого работника с целью обеспечения того, чтобы эффективная доза в течение выбранного пятилетнего периода усреднения составляла менее 100 мЗв;
   iii) уведомить регулирующий орган о величине дозы и обстоятельствах, приведших к облучению.

3.43. В пункте 3.48 документа GSR Part 3 [2] требуется, чтобы зарегистрированные лица и лицензиаты незамедлительно сообщали регулирующему органу о любом случае превышения предела дозы. Поэтому руководству следует иметь надлежащую систему представления информации. Такая система должна также предусматривать уведомление тех работников, которых касается случай превышения предела дозы профессионального облучения.

3.44. Случаи, когда доза облучения работника превышает предел дозы за год, составляющий 50 мЗв, могут считаться исключительными. В таких исключительных обстоятельствах целесообразно, чтобы работник продолжал работать с радиацией при условии, что:

a) регулирующий орган, уделяя должное внимание здоровью работника, считает, что нет оснований препятствовать продолжению работы работника с радиацией;
b) работодатель и регулирующий орган в консультации с работником (в соответствующих случаях через представителей работника) и, в соответствующих случаях, с врачом по гигиене труда, согласовывают временное ограничение дозы и период, в отношении которого оно применяется.

3.45. Может оказаться целесообразным ограничение, основанное на пропорциональном учете оставшегося периода времени, к которому относится предел дозы, и могут потребоваться дополнительные ограничения с целью соблюдения предела дозы 100 мЗв в течение пяти лет.

3.46. Как правило, пределы дозы для профессионального облучения применяются в равной степени к работающим мужчинам и женщинам. Однако в связи с возможной значимостью большей чувствительности эмбриона или плода или грудного младенца к облучению следует рассмотреть вопрос о дополнительных мерах контроля для беременных и кормящих грудью работниц. Специальные требования к радиационной защите работниц во время и после беременности рассматриваются в пунктах 6.2–6.20.

3.47. Регулирующему органу следует обеспечивать наличие систем, предотвращающих лишение работников, получивших дозу, близкую к соответствующему пределу дозы, их права на труд. Могут возникать ситуации, когда работник непреднамеренно получил дозу, близкую к соответствующему пределу дозы, так что дальнейшее облучение может привести к превышению этого предела. Такую ситуацию следует рассматривать аналогично ситуации, в которой доза облучения работника превышает предел дозы (см. пункты 3.44 и 3.45).

3.48. Руководству следует планировать программы работ таким образом, чтобы обеспечивать, насколько это возможно, что работники не получают дозу, соответствующую значительной части соответствующего предела дозы в течение короткого периода времени, так чтобы последующее облучение могло привести к превышению годового предела дозы.

ПРОГРАММА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Цели

3.49. Общая цель программы радиационной защиты заключается в выполнении отбязанности руководства обеспечивать защиту и безопасность путем принятия управленческих структур, политики, процедур и организационных механизмов, соизмеримых с характером и масштабами рисков. Программа радиационной защиты должна охватывать все основные элементы, способствующие обеспечению защиты и безопасности. Программа радиационной защиты может охватывать все этапы практической деятельности или срока службы установки (т.е. от проектирования, включая ввод в эксплуатацию и эксплуатацию или технологический контроль и до вывода из эксплуатации).

3.50. Радиационная защита является лишь одним из элементов обеспечения общего здоровья и безопасности работников. Создание программы радиационной защиты и управление ею следует осуществлять с учетом требований других областей здравоохранения и безопасности, таких как промышленная санитария, техника безопасности и противопожарная безопасность.

3.51. Пункт 3.93 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты сводят к минимуму необходимость применения административных мер и средств индивидуальной защиты для обеспечения защиты и безопасности, используя хорошо разработанные инженерно-технические меры и обеспечивая удовлетворительные условия труда в соответствии со следующим иерархическим порядком превентивных мер:
>
> 1) инженерно-технические меры;
> 2) административные меры;
> 3) средства индивидуальной защиты».

3.52. Хотя программа радиационной защиты может включать защиту как работников, так и населения, в настоящем руководстве по безопасности основное внимание уделяется только тем аспектам, которые касаются защиты работников. В большинстве случаев дозы, получаемые работниками, значительно ниже соответствующих пределов дозы,

указанных в документе GSR Part 3 [2], и требования в отношении ограничения доз будут потенциально затрагивать лишь небольшую часть персонала. Следует обеспечивать, чтобы требования в отношении оптимизации были главным стимулом для разработки и осуществления программ радиационной защиты, включая во многих случаях меры по предотвращению или сокращению потенциального облучения и меры по смягчению последствий аварий.

Предварительная радиологическая оценка и оценка безопасности

3.53. Характеристики ситуаций облучения могут значительно различаться в зависимости от типа соответствующей установки (от «простых» установок, таких как оборудование для досмотра багажа в аэропортах, до гораздо более сложных установок, таких как ядерные перерабатывающие установки) и от этапа деятельности (например, строительство, эксплуатация, техническое обслуживание и вывод из эксплуатации). Путем использования дифференцированного подхода следует обеспечивать, чтобы программа радиационной защиты была хорошо адаптирована к сложившейся ситуации (см. пункты 2.20–2.22). В качестве первого шага на пути к определению программы радиационной защиты следует провести предварительную радиологическую оценку установки или деятельности.

3.54. При предварительной радиологической оценке следует описывать так точно, как это необходимо, ситуацию, связанную с профессиональным облучением. В соответствии с дифференцированным подходом уровень усилий, формальность и детализация оценки и тщательное изучение, которому она подвергается, следует увязывать с величиной облучения при нормальной эксплуатации, а также с величиной и вероятностью потенциального облучения.

3.55. При предварительной радиологической оценке следует выявлять следующие данные в отношении всех аспектов операций:

a) источники регулярного облучения и разумно предсказуемого потенциального облучения, такие как поверхностное радиоактивное загрязнение, аэрозольное радиоактивное загрязнение и источники внешнего излучения;
b) характер и величина облучения при нормальной эксплуатации;
c) характер, вероятность и величина потенциального облучения. Здесь следует рассмотреть, каким образом в конструкциях, системах и элементах, а также процедурах, связанных с радиационной

защитой или безопасностью, могут происходить одиночные или комбинированные отказы, или иные события, приводящие к потенциальному облучению, и последствия таких отказов;

d) меры по обеспечению защиты и безопасности, необходимые для реализации процесса оптимизации;

e) соответствующие системы мониторинга;

f) оценку потенциального облучения населения, обусловленного радиоактивными сбросами на установке.

3.56. Оценка облучения при предварительной радиологической оценке может быть выполнена одним или несколькими из следующих методов:

a) использование мониторинга рабочих мест. Этот метод может давать хорошую оценку доз, которые будут получать работники, при условии, что радиологические условия на рабочем месте являются достаточно предсказуемыми в течение длительного периода (по крайней мере, в течение нескольких месяцев). Мониторинг рабочих мест следует повторять через соответствующие промежутки времени и, безусловно, при существенном изменении условий труда;

b) использование данных из научной литературы и информации от сопоставимых установок. Некоторые значения дозы приведены в литературе для различных ситуаций на рабочем месте. Они, в принципе, могут использоваться для оценки необходимости мониторинга;

c) использование моделирования. Численное моделирование может быть мощным методом и способно мгновенно предоставлять информацию о параметрах, влияющих на дозы, которые будут получены в конкретных ситуациях облучения. Результаты моделирования следует верифицировать путем измерений;

d) использование подтверждающих измерений. Выполнение подтверждающих измерений с помощью индивидуальных дозиметров может помочь определить необходимость индивидуального мониторинга.

3.57. Предварительная радиологическая оценка поможет определить, что может быть достигнуто на этапе проектирования для установления удовлетворительных условий работы посредством использования инженерно-технических средств. В качестве примеров можно привести обеспечение защиты, локализации, вентиляции или блокировок. Эти соображения должны быть направлены на сведение к минимуму необходимости применения административных мер контроля и средств

индивидуальной защиты для обеспечения защиты и безопасности в ходе обычных операций (см. пункт 3.51). Впоследствии могут быть рассмотрены дополнительные эксплуатационные процедуры и ограничения, которые могут быть введены для дальнейшего контроля облучения работников. Только в случае, если эти меры недостаточны для надлежащего ограничения доз, получаемых работниками, необходимо будет включать в предварительную оценку рассмотрение использования специальных инструментов, средств индивидуальной защиты и специальной подготовки, связанной с выполнением заданий.

3.58. Что касается процесса оценки безопасности, то Требование 13 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «**Регулирующий орган устанавливает требования по оценке безопасности и обеспечивает их соблюдение, и лицо или организация, ответственное или ответственная за установки или деятельность, связанные с радиационными рисками, проводит надлежащую оценку безопасности данной установки или деятельности**».

3.59. Пункт 3.31 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Оценки безопасности проводятся на различных этапах, включая в надлежащих случаях выбор площадки, проектирование, изготовление, сооружение, сборку, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию, техническое обслуживание и снятие с эксплуатации (или закрытие) установок или их частей,...».

Более конкретные требования к оценке безопасности установок и деятельности изложены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 4 (Rev. 1) «Оценка безопасности установок и деятельности» [18], и разрабатываются различные руководства МАГАТЭ по безопасности, посвященные оценке безопасности.

Сфера охвата программы радиационной защиты

3.60. В программе радиационной защиты следует документально отражать с соответствующим уровнем детализации нижеследующие вопросы:

a) распределение обязанностей по обеспечению защиты и безопасности работников между различными уровнями управления, включая соответствующие организационные механизмы и, если это применимо (например, в случае внештатных работников), распределение соответствующих обязанностей между работодателями и зарегистрированным лицом или лицензиатом;
b) назначение и функции квалифицированных экспертов, в зависимости от обстоятельств (см. пункты 3.65–3.71);
c) интеграция радиационной защиты при профессиональном облучении с другими областями здравоохранения и безопасности, такими как промышленная санитария, техника безопасности и противопожарная безопасность;
d) система учета генераторов излучения и радиоактивных источников (см. пункты 3.72–3.74);
e) обозначение контролируемых зон и зон наблюдения (см. пункты 3.75–3.86);
f) местные правила, которым должны следовать работники, и надзор за проведением работ (см. пункты 3.87–3.92);
g) предоставление средств индивидуальной защиты, если это применимо (см. пункты 3.93 и 9.53–9.64);
h) механизмы мониторинга работников и рабочих мест, включая приобретение и обслуживание соответствующих приборов (см. пункты 3.97–3.128 и раздел 7);
i) система регистрации и представления всей соответствующей информации, касающейся контроля облучения, решений относительно мер радиационной защиты и безопасности при профессиональном облучении, и индивидуального мониторинга (см. пункты 3.132–3.140 и раздел 7);
j) программа обучения и подготовки кадров по вопросам характера опасностей и по мерам обеспечения защиты и безопасности (см. пункты 3.141–3.151);
k) методы периодического рассмотрения и проверки функционирования программы радиационной защиты (см. пункты 3.157 и 3.158);
l) план аварийных мероприятий в тех случаях, когда оценка безопасности указывает на необходимость в таком плане (см. пункты 4.5 и 4.6);
m) программа наблюдения за состоянием здоровья работников (см. раздел 10);
n) требования к обеспечению качества и совершенствованию процесса.

3.61. Пункт 3.13 документа GSR Part 3 [2] гласит:

«Зарегистрированные лица и лицензиаты несут ответственность за введение и осуществление технических и организационных мер, необходимых для обеспечения защиты и безопасности практической деятельности и источников, на которые они получили официальное разрешение. Зарегистрированные лица и лицензиаты могут назначать обладающих соответствующей квалификацией лиц для выполнения заданий, связанных с этими обязанностями, однако это не снимает с них главную ответственность за обеспечение защиты и безопасности. Зарегистрированные лица и лицензиаты оформляют документы с указанием фамилий и обязанностей лиц, назначаемых для обеспечения соблюдения требований настоящих Норм».

3.62. Руководству следует соответствующим образом возлагать на персонал ответственность за осуществление программы радиационной защиты в рамках организации. Обязанности каждого иерархического уровня, от старшего руководства до работников, участвующих в выполнении конкретных заданий по каждому аспекту программы радиационной защиты, следует четко разграничивать и документировать в письменных программных заявлениях с целью обеспечения того, чтобы все руководители и персонал были осведомлены о них.

3.63. Следует обеспечивать, чтобы организационные структуры отражали распределение обязанностей и приверженность организации обеспечению защиты и безопасности. Управленческая структура должна облегчать сотрудничество между различными заинтересованными лицами. Программу радиационной защиты следует разрабатывать таким образом, чтобы лицам, отвечающим за различные аспекты работы, предоставлялась соответствующая информация.

3.64. В целях координации процесса принятия решений относительно выбора мер по обеспечению защиты и безопасности может оказаться целесообразным, в зависимости от размера и сложности установки, создать специальный консультативный комитет в составе представителей тех департаментов, которые занимаются вопросами профессионального облучения. Основная цель этого комитета может заключаться в консультировании старшего руководства по программе радиационной защиты. Поэтому в его состав следует включать управленческий персонал из соответствующих департаментов и работников, имеющих опыт работы на местах. Функции этого комитета должны заключаться в определении основных целей программы радиационной защиты в целом и оперативной радиационной защиты в частности, подтверждении целей радиационной

защиты, внесении предложений относительно выбора мер по обеспечению защиты и безопасности и вынесении рекомендаций руководству в отношении ресурсов, методов и инструментов, которые должны быть выделены для осуществления программы радиационной защиты.

Квалифицированные эксперты

3.65. В программе радиационной защиты следует указывать потребность в квалифицированных экспертах в соответствующих перечисленных ниже областях и назначать их:

a) радиационная защита;
b) дозиметрия внутреннего и внешнего облечения;
c) мониторинг рабочего места;
d) вентиляция (например, в подземных рудниках);
e) гигиена труда;
f) обращение с радиоактивными отходами.

3.66. Руководству следует обеспечивать предоставление соответствующих услуг квалифицированных экспертов, а также тесное сотрудничество лиц, оказывающих такие услуги в области радиационной защиты, и поддержание тесных рабочих контактов с лицами, ответственными за контроль нерадиологических опасностей. В тех случаях, когда этого требует регулирующий орган, следует назначить должностное лицо, ответственное за радиационную защиту, с целью надзора за применением соответствующих регулирующих требований и их соблюдением.

3.67. Функции квалифицированных экспертов в каждой области взаимосвязаны во многих отношениях и могут быть объединены при эксплуатации некоторых установок. Например, на небольшом подземном руднике, возможно, было бы целесообразно объединить функции лица, ответственного за радиационную защиту, и лица, ответственного за вентиляцию. Если обязанности распределены между двумя или более квалифицированными экспертами, этим квалифицированным экспертам следует поддерживать тесные рабочие отношения.

3.68. Квалифицированным экспертам следует быть подотчетными непосредственно старшему представителю работодателя на установке, который несет общую ответственность за обеспечение безопасности.

3.69. Следует предоставлять квалифицированным экспертам надлежащее оборудование, ресурсы и персонал, с тем чтобы они могли выполнять свои функции.

3.70. Следует периодически оценивать эффективность мер контроля, осуществляемых квалифицированными экспертами.

3.71. Руководству следует консультироваться с назначенными квалифицированными экспертами, в зависимости от обстоятельств, по аспектам программы радиационной защиты, включая определение контролируемых зон и зон наблюдения, подготовку местных правил, предоставление средств индивидуальной защиты и организацию мониторинга рабочих мест и работников, а также по любым последующим изменениям, оказывающим существенное влияние на защиту и безопасность.

Учет генераторов излучения и радиоактивных источников

3.72. Основное требование изложено в Требовании 17 документа GSR Part 3 [2], которое гласит: **«Зарегистрированные лица и лицензиаты обеспечивают безопасность генераторов излучения и радиоактивных источников».**

3.73. Более подробные требования по обеспечению безопасности генераторов излучения и радиоактивных источников приведены в пунктах 3.49–3.60 документа GSR Part 3 [2]. Руководящие материалы по обеспечению безопасности генераторов излучения и герметичных радиоактивных источников изложены в Серии норм безопасности МАГАТЭ № RS-G-1.10 «Safety of Radiation Generators and Sealed Radioactive Sources» («Безопасность генераторов излучения и закрытых радиоактивных источников») [19].

3.74. Следует обеспечивать, чтобы система учета генераторов излучения и радиоактивных источников включала перечень, содержащий записи о местоположении и описании каждого генератора излучения или радиоактивного источника, а также информацию о деятельности и физической и химической форме каждого радиоактивного источника. Этот перечень следует периодически обновлять и проверять. Кроме того, следует рассмотреть вопрос о ведении учета любых специальных инструкций по каждому находящемуся в распоряжении радиоактивному источнику и подробных сведений об утилизации любого такого источника.

Классификация зон

3.75. При наличии профессионального облучения руководству следует рассмотреть вопрос о классификации рабочих зон. Эти зоны следует четко определять в программе радиационной защиты, и их классификация должна основываться на предварительной радиологической оценке, упомянутой в пунктах 3.53–3.56. Можно выделить два типа зон: контролируемые зоны и зоны наблюдения.

Контролируемые зоны

3.76. Подробные требования к контролируемым зонам изложены в пунктах 3.88–3.90 документа GSR Part 3 [2], в котором говорится:

> «3.88. Зарегистрированные лица и лицензиаты определяют в качестве контролируемой зоны любую зону,... в которой требуются или могут потребоваться специализированные меры по обеспечению защиты и безопасности в целях:
>
> a) контроля облучения или предотвращения распространения радиоактивного загрязнения при нормальной эксплуатации;
> b) предотвращения или ограничения вероятности и величины облучения в случае ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях.
>
> 3.89. При определении границ любой контролируемой зоны зарегистрированные лица и лицензиаты учитывают величину облучения, ожидаемого при нормальной эксплуатации, вероятность и величину облучения в случае ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях, а также тип и масштаб процедур, необходимых для обеспечения защиты и безопасности.
>
> 3.90. Зарегистрированные лица и лицензиаты:
>
> a) физически обозначают границы контролируемых зон или, когда это практически невозможно, какими-либо другими приемлемыми средствами;

b) когда эксплуатация или возбуждение источника осуществляется лишь эпизодически или производится его перемещение с одного места на другое, обозначают границы соответствующей контролируемой зоны с помощью средств, отвечающих сложившимся обстоятельствам, и указывают периоды облучения;
c) выставляют знак, рекомендованный Международной организацией по стандартизации,... и размещают инструкции в местах входа в контролируемые зоны и в соответствующих местах в пределах этих зон;
d) устанавливают меры по обеспечению защиты и безопасности, в том числе в надлежащих случаях физические меры по контролю распространения радиоактивного загрязнения и местные правила и процедуры, применяемые в отношении контролируемых зон;
e) ограничивают доступ в контролируемые зоны посредством применения административных процедур, например использования допусков к работе, и с помощью физических барьеров, включая замки или блокировки, при этом масштабы ограничений должны соответствовать вероятности и величине облучения;
f) на входах в контролируемые зоны в соответствующих случаях обеспечивают наличие:
   i) средств индивидуальной защиты;
   ii) оборудования для индивидуального дозиметрического контроля и мониторинга рабочего места;
   iii) соответствующих мест хранения личной одежды;
g) на выходах из контролируемых зон в соответствующих случаях обеспечивают наличие:
   i) оборудования для мониторинга радиоактивного загрязнения кожи и одежды;
   ii) оборудования для мониторинга радиоактивного загрязнения любых предметов или материала, удаляемых из зоны;
   iii) умывальников или душевых установок и других индивидуальных средств дезактивации;
   iv) соответствующих мест хранения радиоактивно загрязненных средств индивидуальной защиты;
h) периодически проводят анализ существующих условий, с тем чтобы определить возможную необходимость пересмотра мер по обеспечению защиты и безопасности или границ контролируемых зон;
i) обеспечивают получение соответствующей информации, соответствующего инструктажа и надлежащей подготовки лицами, работающими в контролируемых зонах».

3.77. Зону следует обозначать как контролируемую зону в тех случаях, когда руководство считает необходимым принятие процедурных мер контроля для обеспечения оптимизированного уровня защиты и соблюдения соответствующих пределов дозы. Такие обозначения должны основываться на опыте эксплуатации и экспертных суждениях. В тех зонах, где нет проблемы загрязнения открытыми радиоактивными веществами, обозначенные зоны могут иногда определяться на основе мощности дозы на их границе. В прошлом для определения границ контролируемых зон часто использовались значения мощности дозы, основанные на части соответствующего предела дозы. Такой подход все еще может быть уместным, однако его не следует использовать без тщательной радиологической оценки. Например, следует учитывать продолжительность времени, в течение которого мощность дозы остается на определенном уровне или превышать его, и риски потенциального облучения.

3.78. Работа с открытыми радиоактивными веществами может приводить к радиоактивному загрязнению воздуха и поверхностей, а это, в свою очередь, может приводить к поступлению радионуклидов у работников. Такое радиоактивное загрязнение обычно носит прерывистый характер, и, как правило, невозможно контролировать поступление, полагаясь исключительно на конструктивные особенности, особенно в случае инцидента. Поэтому для предотвращения или уменьшения возможности поступления потребуется разработать рабочие процедуры, и в целом следует создавать контролируемые зоны.

3.79. Возможно, нет необходимости создавать контролируемые зоны там, где используются лишь небольшие количества открытых радиоактивных веществ (например, в случае проведения в исследовательской лаборатории исследований с использованием изотопных индикаторов). Они также могут оказаться ненужными, когда речь идет только о материалах с низкой концентрацией активности, таких как материалы, используемые в различных видах промышленной деятельности, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения.

3.80. Предупреждающие знаки на входах в контролируемые зоны следует использовать для указания сотрудникам, особенно обслуживающему персоналу, на то, что в этой зоне применяются специальные процедуры и что, вероятно, присутствуют источники излучения.

3.81. При создании контролируемых зон руководство может счесть полезным использовать существующие физические границы, такие как стены помещений или зданий. Это может означать, что размеры таких зон будут больше, чем это было бы строго необходимо, исходя только из соображений радиационной защиты. Например, в практических целях на некоторых подземных урановых рудниках может оказаться целесообразным обозначить в качестве контролируемой зоны всю подземную зону. Аналогичным образом, в некоторых диагностических медицинских учреждениях может оказаться целесообразным обозначить весь процедурный кабинет как контролируемую зону.

3.82. При определении контроля доступа в контролируемые зоны следует учитывать практические соображения и необходимость контроля доступа по другим (нерадиологическим) причинам. На многих рабочих местах, особенно в специально спроектированных зданиях с относительно небольшим числом рабочих, может оказаться целесообразным устанавливать и эксплуатировать комплексные средства контроля, такие как физические барьеры, включающие шлюзы и блокировки, которые могут потребоваться уже по соображениям безопасности. На других рабочих местах, таких, как подземные рудники, на которых заняты тысячи работников, более практичной и приемлемой альтернативой могут оказаться такие средства контроля доступа, как карточки и бирки, а также надзор.

Зоны наблюдения

3.83. Требования к зонам *наблюдения* изложены в пунктах 3.88–3.90 документа GSR Part 3 [2], которые гласят:

> «3.91. Зарегистрированные лица и лицензиаты определяют в качестве зоны наблюдения любую зону, которая еще не определена как контролируемая зона, но в которой необходимо вести наблюдение за условиями профессионального облучения, хотя, как правило, применение специализированных мер по обеспечению защиты и безопасности там не требуется.
>
> 3.92. Зарегистрированные лица и лицензиаты с учетом характера, вероятности и величины облучения или радиоактивного загрязнения в зонах наблюдения:
>
> a) обозначают границы зон наблюдения надлежащими средствами;

b) выставляют утвержденные знаки в надлежащих случаях в местах входа в зоны наблюдения;
c) периодически проводят анализ существующих условий, с тем чтобы определить возможную необходимость применения дополнительных мер по обеспечению защиты и безопасности или необходимость изменения границ зон наблюдения».

3.84. Основная цель зоны наблюдения заключается в выявлении тех участков рабочего места, которые следует подвергать регулярному рассмотрению радиологических условий с целью определения того, следует ли изменять статус данной зоны — в результате, например, обстоятельств, которые не были предусмотрены при предварительной радиологической оценке, — или имела ли место определенная утрата контроля, либо в конструктивных особенностях, либо в процедурах, которые применяются в любой соседней контролируемой зоне. Обычно рассмотрение радиологических условий может включать программу регулярного мониторинга зоны и, в некоторых случаях, лиц, работающих в ней. Не следует автоматически создавать зону наблюдения вокруг каждой контролируемой зоны, поскольку вполне может быть достаточно требований, которые применяются в пределах обозначенной контролируемой зоны.

3.85. Как и в случае контролируемых зон, определения зон наблюдения лучше всего основывать на опыте эксплуатации и экспертных суждениях, но опять же для определения границы можно использовать величину мощности дозы. Разумной целью было бы обеспечение того, чтобы те работники, которые подвергаются облучению за пределами назначенных зон, получали такой же уровень защиты, как если бы они были лицами из населения. Это предполагает использование величины мощности дозы, основанной на эффективной дозе 1 мЗв в год, в качестве одного из возможных путей определения внешней границы зоны наблюдения. Условия в контролируемых зонах должны быть такими, чтобы работники могли входить в зону с минимальным количеством формальностей для радиационной защиты. Кроме того, при определении зон наблюдения может оказаться целесообразным использовать существующие физические границы (см. пункт 3.81).

3.86. Хотя во многих случаях может оказаться целесообразной маркировка границ зон наблюдения предупреждающими знаками, это не всегда может быть необходимым или продуктивным. Например, может оказаться

необходимым обозначить зоны наблюдения в тех частях больниц, к которым могут иметь доступ лица из населения; вместе с тем, знаки на входах в такие зоны могут вызывать ненужную обеспокоенность.

Местные правила и надзор

3.87. Как указано в пункте 3.94 документа GSR Part 3 [2], руководство:

> «в консультации с работниками или, в надлежащих случаях, через их представителей:
>
> a) устанавливает, оформляя в виде документа, местные правила и процедуры, которые необходимы для обеспечения защиты и безопасности работников и других лиц;
> b) указывает в местных правилах и процедурах величину для любого соответствующего уровня расследования или разрешенного (санкционированного) уровня, а также процедуры, которых необходимо придерживаться в случае превышения такого уровня».

Руководству следует обеспечивать, чтобы работы, связанные с профессиональным облучением, находились под надлежащим контролем и чтобы правила, процедуры и меры по обеспечению защиты и безопасности доводились до сведения тех работников, к которым они применяются. Руководству следует также предпринимать все разумные меры с целью обеспечения соблюдения правил, процедур и мер по обеспечению защиты и безопасности.

3.88. Следует обеспечивать, чтобы местные правила и процедуры соответствовали конструкции и целям соответствующей установки и разрабатывались таким образом, чтобы облегчалась оптимизация защиты и безопасности.

3.89. В местных правилах и процедурах следует описывать организационные структуры и процедуры, которые должны соблюдаться в контролируемых зонах, и они могут включать некоторые или все положения для различных компонентов программы радиационной защиты, такие как:

a) мониторинг облучения и радиоактивного загрязнения;
b) инженерно-технические меры контроля, такие как системы вентиляции;
c) использование индивидуальных средств защиты;

d) средства личной гигиены;
e) наблюдение за состоянием здоровья работников;
f) обращение с радиоактивными отходами;
g) мониторинг окружающей среды;
h) система менеджмента;
i) подготовка кадров;
j) развитие культуры безопасности;
k) ведение учетных документов;
l) отчетность;
m) в надлежащих случаях, аварийная готовность и реагирование.

3.90. Местные правила и процедуры следует вывешивать на видном месте или делать легкодоступными на рабочем месте.

3.91. Работникам следует проходить надлежащую подготовку, с тем чтобы они могли соблюдать местные правила и процедуры.

3.92. Руководству следует назначать ответственных за надзор за выполнением заданий. Такой надзор следует осуществлять с целью обеспечения соблюдения в рабочее время всех требуемых мер по обеспечению защиты и безопасности. На удаленных рабочих местах такую ответственность следует возлагать на непосредственного руководителя на месте проведения работ.

Средства индивидуальной защиты

3.93. В тех случаях, когда инженерно-технические и административные меры контроля недостаточны для обеспечения оптимального уровня защиты в выполняемых заданиях, требуется, чтобы руководство в соответствии с пунктом 3.95 документа GSR Part 3 [2] обеспечило работников подходящими и достаточными средствами индивидуальной защиты, которые поддерживаются в надлежащем состоянии и, при необходимости, регулярно проверяются. При рассмотрении мер по снижению облучения с использованием средств индивидуальной защиты следует учитывать любое возможное увеличение доз облучения вследствие задержек или неудобств, вызванных использованием этих средств. Работников следует обучать использованию таких средств индивидуальной защиты до начала работы. Более подробная информация об использовании индивидуальных средств защиты приводится в пунктах 9.53–9.64.

Планирование работ и разрешение на производство работ

3.94. При проведении работ, в ходе которых могут возникать значительные уровни излучения или радиоактивного загрязнения, или когда работа является сложной (с участием нескольких групп работников и многочисленных видов деятельности), одним из наиболее важных средств достижения оптимизации защиты и безопасности является заблаговременное планирование работ. Лицу, ответственному за радиационную защиту, следует принимать участие в планировании работ и вырабатывать рекомендации относительно условий, в которых работы могут выполняться в контролируемых зонах. Ситуации, которые оправдывают использование подробных планов работ и допусков к работе, как правило, встречаются в ядерной индустрии, но могут также возникать в неядерных секторах (например, при обслуживании или демонтаже ускорителей). Дополнительные руководящие материалы по использованию планирования работ для оптимизации на атомных станциях опубликованы Агентством по ядерной энергии ОЭСР [20].

3.95. Письменные процедуры следует использовать в качестве части процесса планирования работ, в зависимости от типа установки или вида деятельности. К числу подлежащих рассмотрению элементов относятся следующие:

a) информация о выполненных ранее аналогичных работах;
b) время начала работ, их предполагаемая продолжительность и задействованные людские ресурсы;
c) карты оцененных мощностей дозы;
d) эксплуатационное состояние установки (например, для атомной электростанции, холодный или горячий останов и работа на полной или пониженной мощности);
e) другие виды деятельности в той же области, которые могут препятствовать работе;
f) подготовка операций и помощь в их проведении (например, изоляция процесса, строительные леса и изоляционные работы);
g) защитная одежда и инструменты, которые будут использоваться;
h) коммуникация, необходимая для обеспечения надзорного контроля и координации;
i) обращение с любыми радиоактивными отходами, возникающими в результате проведения работ;
j) координация с защитными мерами для обеспечения обычной безопасности.

3.96. Для каждого задания, требующего особых радиологических мер предосторожности, обычно следует подготавливать разрешение на производство радиационно-опасных работ. Разрешение на производство радиационно-опасных работ выдается лицами, ответственными за планирование операций, в сотрудничестве с лицом, ответственным за радиационную защиту. Копию разрешения на производство радиационно-опасных работ следует предоставлять руководителю работ, и группе, выполняющей работы, следует иметь ее при себе во время производства работ. Наряду с описанием выполняемых работ разрешение на производство радиационно-опасных работ может включать:

a) подробную карту мощности дозы в зоне производства работ и возможных «горячих точек», составленную по результатам обследования, проведенного до начала работ, или полученную иным образом с использованием оценок;
b) оценку уровней радиоактивного загрязнения и того, каким образом они могут изменяться в ходе производства работ;
c) спецификацию любого дополнительного мониторинга уровней радиации на рабочем месте, который должен быть проведен до или во время производства работ;
d) оценку индивидуального облучения и коллективного облучения для каждого этапа работ;
e) спецификацию любых дополнительных дозиметров, которые будут использоваться работниками;
f) спецификацию средств индивидуальной защиты, которые будут использоваться на различных этапах производства работ;
g) подробную информацию о любых ограничениях по времени или ограничениях дозы;
h) инструкции по порядку обращения к лицу, ответственному за радиационную защиту.

Радиационный мониторинг и оценка облучения

Цели радиационного мониторинга

3.97. Общий термин «радиационный мониторинг» относится к процессу, который включает проведение измерений в связи с оценкой или контролем воздействия излучения и облучения от радиоактивных материалов. Хотя измерения играют важную роль в любой программе радиационного мониторинга, такой мониторинг представляет собой нечто большее, чем просто измерение; он требует интерпретации и оценки. Поэтому основное

обоснование для проведения измерения следует выражать в том, каким образом оно помогает обеспечить и продемонстрировать надлежащую защиту и безопасность, в том числе в процессе оптимизации.

3.98. Программа радиационного мониторинга может служить различным целям в зависимости от характера и масштабов практической деятельности. К числу этих целей могут относиться следующие:

a) оценка облучения работников и демонстрация соответствия регулирующим требованиям;
b) подтверждение эффективности методов работы (например, адекватность надзора и обучения) и технических норм;
c) определение радиационной обстановки на рабочем месте, и того, находятся ли она под надлежащим контролем и улучшили ли или ухудшили ситуацию оперативные изменения;
d) оценка и совершенствование рабочих процедур на основе рассмотрения собранных данных радиационного мониторинга отдельных лиц и групп. Такие данные могут использоваться для выявления как положительных, так и отрицательных особенностей рабочих процедур и конструктивных характеристик и тем самым способствовать разработке более безопасных методов работы в радиационно-опасных условиях;
e) предоставление информации, которая может быть использована для того, чтобы работники могли понять, как, когда и где они подвергаются облучению, и мотивировать их к принятию мер по снижению облучения;
f) предоставление информации для оценки доз в случае аварийного облучения.

Кроме того, данные радиационного мониторинга могут использоваться для цели анализа соотношения риска и пользы и дополнять медицинскую документацию.

3.99. Радиационный мониторинг может обеспечивать важные дополнительные преимущества в области производственных отношений или связей с общественностью (такие, как уверенность и мотивация рабочей силы) или научных исследований (такие, как данные для эпидемиологических исследований), или в предоставлении информации, полезной для определения ответственности в случае проявления неблагоприятных последствий для здоровья отдельных работников. Эти соображения могут повлиять на решения о характере и масштабах программ

радиационного мониторинга, однако сами по себе они не являются основным обоснованием программы радиационного мониторинга в целях обеспечения защиты и безопасности.

Программа радиационного мониторинга

3.100. Главную ответственность за разработку программы радиационного мониторинга несет руководство. Программу радиационного мониторинга следует разрабатывать в консультации с соответствующим квалифицированным экспертом на основе предварительной радиологической оценки, обсуждаемой в пунктах 3.53–3.59, с должным учетом регулирующих требований.

3.101. Программы радиационного мониторинга можно разбить и подразделить на несколько различных типов. Первое разбиение связано с целями радиационного мониторинга. На этом уровне для целей радиационной защиты можно определить четыре вида радиационного мониторинга:

a) текущий мониторинг связан с непрерывными операциями и предназначен для удовлетворения регулирующих требований и демонстрации того, что условия работы, включая уровни индивидуальной дозы, остаются удовлетворительными;
b) специальный мониторинг имеет характер исследования и, как правило, охватывает ситуацию на рабочем месте, в отношении которой имеется недостаточная информация для демонстрации надлежащего контроля. Он предназначен для предоставления подробной информации с целью выяснения любых проблем и определения будущих процедур. Обычно его следует проводить на этапе ввода в эксплуатацию новых установок или после серьезных изменений установок или процедур, или когда операции выполняются в аномальных обстоятельствах, таких как авария;
c) подтверждающий мониторинг проводится в тех случаях, когда необходимо проверить допущения, сделанные в отношении условий облучения (например, для подтверждения эффективности защитных мер);
d) связанный с выполнением конкретного задания мониторинг применяется в отношении конкретной операции. Он позволяет получить данные, необходимые для принятия незамедлительных решений об управлении операцией. Он также может поддерживать оптимизацию защиты.

3.102. Каждый из этих видов программ мониторинга может быть подразделен на основе места проведения мониторинга:

a) индивидуальный дозиметрический контроль (мониторинг) включает измерения, проводимые с использованием оборудования, носимого отдельными работниками, или измерения количеств радиоактивных веществ в их организмах или на них и интерпретацию таких измерений;
b) мониторинг рабочего места включает измерения, проводимые в рабочей среде, и интерпретацию таких измерений.

3.103. Индивидуальный мониторинг можно далее подразделить на мониторинг внешнего облучения, внутреннего облучения и радиоактивного загрязнения кожи. Мониторинг рабочего места можно далее подразделить на мониторинг внешнего излучения, радиоактивного загрязнения воздуха и поверхностного радиоактивного загрязнения. На детали программ будут влиять такие факторы, как вид и энергия излучения и анализируемые радионуклиды (см. раздел 7).

3.104. В проекте программы следует отражать цели программы радиационного мониторинга, и их следует четко указывать и фиксировать. В ее структуру следует включать основу для интерпретации результатов мониторинга и то, как это связано с целями программы, и эту основу следует документально регистрировать. В программе следует проводить различие между мониторингом для целей контроля за операциями и мониторингом для официальной оценки облучения в соответствии с регулирующими требованиями.

3.105. Следует обеспечивать, чтобы оборудование, которое будет использоваться в программе мониторинга, было пригодно для анализа видов излучения и форм радиоактивного материала, встречающихся на рабочем месте. Оборудование следует откалибровать в соответствии с надлежащими стандартами. Более подробные руководящие материалы, включая руководящие материалы по предоставлению одобренных дозиметрических услуг, содержатся в разделе 7. Руководящие материалы по системе менеджмента для поставщиков дозиметрических услуг содержатся в разделе 8.

3.106. Следует обеспечивать, чтобы разработка и осуществление программы мониторинга отвечали требованиям обеспечения качества, воплощенным в системе менеджмента, для обеспечения того, чтобы

процедуры устанавливались и соблюдались правильно, а также для обеспечения оперативного составления и правильного ведения документации. В проекте программы мониторинга следует указывать документацию, которую следует вести, и связанные с этим процедуры ведения и утилизации документации. Все эти аспекты следует регулярно рассматривать через заранее определенные промежутки времени или после любых существенных изменений в работе установки или в регулирующих требованиях. Цель таких рассмотрений должна заключаться в обеспечении надлежащего использования усилий по проведению мониторинга (тип, периодичность и масштабы). Эту информацию следует также использовать для выявления как хороших, так и плохих особенностей рабочих процедур и как хороших, так и плохих конструктивных характеристик.

Индивидуальный мониторинг (дозиметрический контроль)

3.107. Необходимость и целесообразность индивидуального мониторинга работников будут зависеть от следующих факторов:

a) количество присутствующего радиоактивного материала и присутствующие радионуклиды;
b) физическая и химическая форма радиоактивного материала;
c) тип используемой системы локализации;
d) выполняемые операции;
e) ожидаемые уровни и вероятные изменения доз или уровней поступления в организм;
f) сложность процедур измерения и процедур интерпретации данных программы измерений;
g) общие условия работы.

Например, работники, участвующие в обращении с закрытыми источниками (или содержащими дисперсивные материалы источниками, которые находятся в закрытых контейнерах с экранированием или без него), могут нуждаться в мониторинге внешнего облучения, но не внутреннего облучения. И наоборот, работники, работающие с такими радионуклидами, как ^{3}H, ^{125}I или ^{239}Pu, могут нуждаться в мониторинге внутреннего облучения, но не внешнего облучения.

3.108. По-видимому, индивидуальный мониторинг необходимо более активно проводить на ранних этапах операции. По мере накопления опыта на рабочем месте можно постоянно держать в поле зрения вопрос о необходимости регулярного индивидуального мониторинга с целью

принятия решения о необходимости продолжения индивидуального мониторинга или о том, является ли мониторинг на рабочем месте достаточным для целей радиационной защиты. При определении необходимости индивидуального мониторинга следует также учитывать возможность аварийного облучения.

3.109. В случае работ, связанных с внутренним облучением, решение о регистрации работника в программе индивидуального мониторинга должно основываться на вероятности поступления радионуклидов, превышающего заранее определенный уровень. Если для предотвращения или уменьшения возможности поступления в организм требуется разработать рабочие процедуры, то, как правило, следует создать контролируемую зону. Индивидуальный мониторинг поступления радионуклидов следует регулярно использовать только для работников, которые работают в зонах, обозначенных как контролируемые зоны конкретно в связи с контролем радиоактивного загрязнения и в которых есть основания ожидать значительных уровней поступления. Если опыт показывает, что маловероятно, что ожидаемые эффективные дозы профессионального облучения в результате годового поступления радионуклидов превысят 1 мЗв, то индивидуальный мониторинг может оказаться ненужным, но следует проводить мониторинг на рабочем месте. Ниже приводятся примеры видов деятельности, для которых следует рассмотреть возможность регулярного индивидуального мониторинга внутреннего облучения:

a) обращение с большими количествами газообразных или летучих материалов, например, с тритием и его соединениями, в рамках крупномасштабных производственных процессов, на тяжеловодных реакторах и при производстве газоразрядных источников света;
b) обработка плутония и других трансурановых элементов;
c) техническое обслуживание реакторных установок, которое может приводить к облучению от продуктов деления и продуктов активации;
d) крупносерийное производство радиоизотопов;
e) производство больших количеств радиофармацевтических препаратов, таких как ^{18}F для диагностики с помощью позитронно-эмиссионной томографии или ^{131}I для терапии, и обращение с ними;
f) добыча высокосортных урановых руд, переработка урановых минеральных концентратов и производство ядерного топлива;
g) переработка минеральных концентратов, таких как моназит, богатый торием, и производство продуктов, содержащих торий.

3.110. Для получения необходимой точности и прецизионности индивидуальную дозиметрию следует проводить, когда это возможно, утвержденной службе дозиметрии. Регулирующему органу следует рассмотреть вопрос о создании национальной процедуры аккредитации в качестве основы для утверждения дозиметрических служб. Система менеджмента для поставщиков дозиметрических услуг обсуждается в разделе 8.

3.111. Для посетителей, совершающих короткие и редкие посещения контролируемых зон, может проводиться индивидуальный мониторинг, но это необязательно. Однако следует вести учет радиологических условий в посещенных контролируемых зонах (например, данные мониторинга рабочего места или индивидуального мониторинга лиц, сопровождающих посетителей) и продолжительности времени, проведенного в этих зонах во время посещений.

Мониторинг рабочих мест

3.112. Требования к мониторингу рабочих мест изложены в пунктах 3.96–3.98 документа GSR Part 3 [2], которые гласят:

> «3.96 Зарегистрированные лица и лицензиаты в надлежащих случаях в сотрудничестве с работодателями устанавливают, осуществляют программу мониторинга рабочих мест, а также проводят ее регулярное рассмотрение под наблюдением лица, ответственного за радиационную защиту, или квалифицированного эксперта.
>
> 3.97 Тип и частота проведения мониторинга рабочих мест устанавливаются такими, чтобы они:
>
> a) были достаточными для:
> i) оценки радиационной обстановки на всех рабочих местах;
> ii) оценки облучения в контролируемых зонах и зонах наблюдения;
> iii) анализа классификации контролируемых зон и зон наблюдения;
>
> b) основывались на мощности дозы, концентрации активности в воздухе и поверхностном радиоактивном загрязнении, а также на их ожидаемых колебаниях и на вероятности и величине облучения в случае ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях.

3.98 Зарегистрированные лица и лицензиаты при необходимости в сотрудничестве с работодателями ведут документацию, в которой регистрируются результаты осуществления программы мониторинга рабочих мест. Результаты осуществления программы мониторинга рабочих мест в надлежащих случаях сообщаются работникам через их представителей».

3.113. В программах мониторинга рабочих мест следует указывать:

a) величины, подлежащие измерению;
b) где и когда должны проводиться измерения и с какой периодичностью;
c) наиболее подходящие методы и процедуры измерения;
d) уровни расследования и действия, которые необходимо предпринимать в случае их превышения.

3.114. Результаты и итоги мониторинга рабочих мест следует документально оформлять и в надлежащих случаях сообщать руководству и работникам через их представителей. Эту информацию следует использовать в поддержку оценки, проводимой до и после выполнения работ, планирования работ, контроля радиоактивного загрязнения и управления операциями радиологического контроля. Следует выявлять существенные изменения в результатах мониторинга и периодически анализировать тенденции. При необходимости следует принимать корректирующие меры. Следует регистрировать данные, которые:

a) демонстрируют соблюдение регулирующих положений;
b) указывают на существенные изменения в рабочей среде;
c) содержат подробную информацию о радиационных обследованиях, например дату, время, место проведения, мощность дозы, концентрацию активности в воздухе, используемые приборы, лицо, проводившее обследование, или другие замечания;
d) содержат подробную информацию относительно любых полученных сообщений о рабочем месте, которые могут негативно сказаться на соблюдении соответствующих требований;
e) содержат подробную информацию о любых соответствующих принятых мерах.

3.115. Особое внимание следует уделять выбору и использованию приборов с целью обеспечения того, чтобы их рабочие характеристики соответствовали конкретной ситуации при мониторинге рабочих мест.

Руководящие материалы по соображениям, касающимся приобретения, использования, технического обслуживания и испытаний приборов для мониторинга рабочих мест, содержатся в разделе 7.

Оценка облучения

3.116. Конкретные требования к оценке профессионального облучения изложены в пунктах 3.99–3.102 документа GSR Part 3 [2], который гласит:

> «3.99 Работодатели, а также самостоятельно занятые лица и зарегистрированные лица и лицензиаты несут ответственность за организацию проведения оценки профессионального облучения работников на основе индивидуального дозиметрического контроля в надлежащих случаях и обеспечивают наличие договоренностей с имеющими официальное разрешение или одобренными поставщиками услуг в области дозиметрии, работающими в рамках системы менеджмента качества.
>
> 3.100 В тех случаях, когда это целесообразно, приемлемо и осуществимо, для любого работника, который обычно выполняет работу в контролируемой зоне или иногда работает в контролируемой зоне и может получить значительную дозу профессионального облучения, проводится индивидуальный дозиметрический контроль (мониторинг). В случаях, когда проведение индивидуального дозиметрического контроля (мониторинга) для работника нецелесообразно, неприемлемо или невозможно, профессиональное облучение оценивается на основе результатов мониторинга рабочего места и информации о местах нахождения и длительности облучения работника[33].
>
> 3.101 Для любого работника, на регулярной основе работающего в зоне наблюдения или лишь иногда входящего в контролируемую зону, оценка профессионального облучения проводится в надлежащих случаях на основе результатов мониторинга рабочих мест или индивидуального дозиметрического контроля.
>
> 3.102 Работодатели обеспечивают выявление работников, которые могут подвергнуться облучению радиоактивным загрязнением, включая работников, использующих средства защиты органов дыхания. Работодатели организуют надлежащий мониторинг в объеме,

необходимом для подтверждения эффективности мер по обеспечению защиты и безопасности и для оценки поступления радионуклидов и ожидаемых эффективных доз.

[33] Различия между типами работников, указанных в пунктах 3.100 и 3.101 для целей контроля, сходны с различиями между категорией А и категорией В работников в законодательстве Европейского союза [см. (21])]».

3.117. Следует рассмотреть возможность оценки облучения отдельных работников в нормальных и прогнозируемых аномальных условиях, если для любого отдельного компонента облучения (например, сильнопроникающего фотонного облучения, нейтронного облучения или внутреннего облучения) ожидается, что соответствующая годовая эффективная доза превысит 1 мЗв. Следует также учитывать вероятность и возможную величину потенциального облучения.

3.118. В целом, когда величина или вариабельность облучения может быть значительной, облучение отдельного работника следует оценивать по результатам индивидуального мониторинга. Бывают случаи, особенно при оценке внутреннего облучения, когда это может оказаться невозможным или практически неосуществимым, и следует полагаться на мониторинг рабочих мест. В таких случаях в программе мониторинга следует предоставлять подробную информацию о перемещениях работника и о временных и пространственных изменениях концентрации в воздухе в непосредственной близости от работника. Там, где это возможно, следует использовать данные определения характеристик конкретного рабочего места, а не значения по умолчанию.

3.119. Для работ, сопряженных с риском внутреннего облучения, может потребоваться установить уровень концентрации активности в воздухе или поступления активности в организм для использования в качестве показателя того, существует ли возможность значительного индивидуального облучения. При определении такого уровня следует, насколько это возможно, учитывать наличие конкретных радиоактивных материалов и пути облучения на соответствующем рабочем месте. Если этот уровень превышен, могут потребоваться дополнительные прямые измерения внутреннего облучения данного лица. Это также может быть желательно, если есть какие-либо сомнения относительно того, является ли оцененное облучение для конкретных условий на рабочем месте достаточно точным.

3.120. При любой оценке профессионального облучения следует оценивать точность конкретных процедур мониторинга или устройств, используемых для определения внешнего и внутреннего облучения. Цель должна заключаться в том, чтобы получить как можно более полные регистрационные данные о реальном официально оцененном облучении. Следует учитывать факторы, влияющие на точность оценки. Следует определять критерии точности измерений и их интерпретации, а также принимать разумные и надлежащие меры для количественной оценки и сведения к минимуму неопределенностей.

3.121. Более подробные руководящие материалы по оценке облучения содержатся в разделе 7.

Уровни расследования

3.122. Опыт, накопленный в той или иной конкретной ситуации, иногда указывает на необходимость рассмотрения процедур и результатов работы. Этот опыт может быть качественным (например, наблюдение за тем, что частота незначительного радиоактивного загрязнения, возможно, возросла) или количественным (например, тенденция в результатах программ мониторинга). Использование количественного опыта может быть облегчено путем применения уровней расследования к результатам мониторинга отдельных лиц и рабочих мест. Уровень расследования определяется как «значение таких величин, как эффективная доза, поступление или радиоактивное загрязнение на единицу площади или объема, при котором или при превышении которого следует провести расследование» [2].

3.123. Уровни расследования играют важную роль в программах мониторинга в качестве инструментов для использования руководством. Уровни расследования следует определять на этапе планирования деятельности и пересматривать на основе опыта работы. Регулирующий орган, возможно, пожелает также установить для целей регулирования общий уровень расследования с точки зрения индивидуального облучения. Уровни расследования могут устанавливаться с точки зрения практически любой поддающейся измерению величины, относящейся к конкретному лицу или рабочей среде. Их следует определять руководству программы радиационной защиты, причем их цель заключается в содействии контролю операций и облучения.

3.124. Уровни исследования следует использовать только в ретроспективном смысле и не следует путать с граничными дозами. Если уровень расследования превышен, следует начать рассмотрение с целью определения причин и изучения механизмов обеспечения защиты и безопасности, а также причин превышения заданной величины. Такое рассмотрение может привести к принятию дополнительных мер по обеспечению защиты и безопасности. Рассмотрение следует проводить в целях извлечения уроков, которые могут оказаться важными для любых будущих операций, и определения того, необходимы ли дополнительные меры по совершенствованию имеющихся механизмов обеспечения защиты и безопасности.

3.125. Уровни расследования следует устанавливать руководству на основе знаний, касающихся условий на рабочем месте, ожидаемых уровней и вариабельности определяемых величин (например, эффективной дозы и поступления в организм), а также типа и частоты мониторинга. Значение уровня расследования следует также согласовывать с целями программы мониторинга и с типом расследования, которое будет начато. Значение уровня расследования может основываться на выбранной части соответствующего предела дозы и должно соответствовать периоду времени, к которому относится результат индивидуального мониторинга. Например, уровень расследования для штатной работы с текущим мониторингом может быть установлен на основе ожидаемой эффективной дозы 5 мЗв при поступлении в организм в течение года. Для N периодов мониторинга в год уровень расследования IL_j (в беккерелях) для поступления радионуклида j за заданный период мониторинга будет определяться следующим образом:

$$\mathrm{IL}_j = \frac{0.005}{N \cdot e(g)_j} \tag{19}$$

где $e(g)_j$ — дозовый коэффициент для ингаляционного или, в соответствующих случаях, перорального поступления радионуклида j (в зивертах на беккерель). Значение уровня расследования следует устанавливать с учетом других источников облучения.

3.126. Уровень может быть установлен для лиц, участвующих в конкретной операции, или может быть определен специально для лиц в пределах места работы без ссылки на конкретную операцию. Последняя

ситуация особенно актуальна, когда работники подвергаются облучению от ряда различных источников на рабочем месте или выполняют ряд различных заданий на рабочем месте.

3.127. Руководству следует определять лиц, ответственных за проведение расследований, когда они необходимы. Цель и действия, связанные с каждым уровнем расследования, следует четко определять заранее. При расследовании следует рассматривать:

a) обстоятельства, приведшие к подозрению о возможном облучении;
b) верификацию дозиметрических результатов;
c) вероятность того, что пределы или уровни дозы будут превышены в существующих условиях работы;
d) необходимые корректирующие меры.

3.128. Мониторинг рабочих мест может включать измерение уровней мощности дозы, уровней радиоактивного загрязнения, концентраций активности в воздухе или их комбинации. Уровни расследования для мониторинга рабочих мест следует устанавливать руководству на основе ожидаемых уровней и опыта работы. Значение поверхностного радиоактивного загрязнения (активность на единицу площади), полученное на основе доли соответствующего предела дозы, может быть полезным для указания значимости конкретных измерений и, следовательно, может использоваться в качестве уровня расследования с целью указания на ухудшение радиологических условий на рабочем месте.

Уровни регистрации

3.129. В ходе текущего мониторинга рабочих мест или отдельных лиц будет генерироваться большой объем данных, которые могут иметь незначительную качественную важность с точки зрения их преобразования в эффективную (или эквивалентную) дозу. Уровень регистрации — это установленный регулирующим органом уровень дозы облучения или поступления в организм, по достижении или превышении которого значения дозы облучения, облучения работников или поступления в организм должны заноситься в их индивидуальные данные регистрации облучения (см. пункт 3.105(b) документа GSR Part 3 [2]). Например, уровень регистрации поступления радионуклидов в организм может быть установлен таким образом, чтобы он соответствовал ожидаемой эффективной дозе 1 мЗв при поступлении в организм в течение года.

Таким образом, для N периодов мониторинга в год уровень регистрации RL_j (в беккерелях) для поступления радионуклида j за данный период мониторинга будет определяться следующим образом:

$$RL_j = \frac{0.001}{N \cdot e(g)_j} \tag{20}$$

В случаях облучения работников излучением более чем одного вида или несколькими радионуклидами, при выборе уровня регистрации для каждого вклада в дозу, облучение или поступление в организм следует учитывать вклад каждого вида излучения или каждого радионуклида. В случае индивидуального мониторинга внешнего облучения в качестве уровня регистрации обычно используется минимальный уровень детектирования.

3.130. Для оценки дозы внутреннего облучения, если доза или поступление в организм оказывается ниже уровня регистрации, результат измерения всегда следует сохранять в документах дозиметрического контроля рабочего места и/или определенного лица.

Допустимые уровни расследования и регистрации

3.131. Может быть удобно выражать уровни расследования и уровни регистрации в виде фактически измеренных величин (т.е. активности радионуклидов, измеренной в организме или в пробах экскреции). Они называются допустимыми уровнями расследования (DIL) и допустимыми уровнями регистрации (DRL), соответственно. Они представляют собой значения при измерении, которые соответствуют уровням расследования или уровням регистрации для таких параметров, как ожидаемая эффективная доза или поступление радионуклидов. Для случая поступления радионуклидов DIL и DRL рассчитываются отдельно для каждого радионуклида, причем они специфичны для физической и химической формы радионуклида на рабочем месте и являются функцией временного интервала между моментом поступления в организм и моментом измерения. Для примеров, приведенных в уравнениях (19) и (20):

$$DIL_j = \frac{0.005}{N \cdot e(g)_j} m(t_0)_j \tag{21}$$

$$DRL_j = \frac{0.001}{N \cdot e(g)_j} m(t_0)_j \tag{22}$$

где $m(t_0)_j$ — доля поступления радионуклидаj, остающаяся в организме или в пробе экскреции по истечении периода времени t_0. Значение t_0 обычно основывается на предположении, что поступление происходит в середине периода мониторинга, и в этом случае:

$$t_0 = \frac{365}{2N} \text{ суток} \tag{23}$$

Регистрационные записи профессионального облучения

3.132. Ведение учета является важной частью процесса индивидуального мониторинга, как указано в пунктах 3.103 и 3.106 документа GSR Part 3 [2], которые гласят:

> «3.103 Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты ведут регистрационные записи профессионального облучения[34] каждого работника, для которого пункты 3.99–3.102 требуют проведения оценки профессионального облучения.
>
> …….
>
> 3.106 Работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты:
>
> a) обеспечивают работникам доступ к регистрационным записям полученного ими профессионального облучения;
> b) обеспечивают руководителю программы наблюдения за состоянием здоровья работников, регулирующему органу и соответствующему работодателю доступ к регистрационным записям профессионального облучения работников;
> c) содействуют предоставлению копий регистрационных записей облучения работников новым работодателям при смене работниками места работы;
> d) принимают меры по сохранению регистрационных записей облучения бывших работников соответственно у работодателя, зарегистрированного лица или лицензиата;
> e) при соблюдении требований подпунктов a) – d), приведенных выше, принимают должные меры в целях обеспечения конфиденциальности регистрационных записей.
>
> [34] Регистрационные записи профессионального облучения именуются также “регистрационными записями облучения” или “регистрационными записями дозы”».

3.133. Руководству следует разработать процедуру, указывающую, каким образом должны представляться данные и результаты мониторинга, какие уровни доз следует регистрировать и какие документы и регистрационные записи о профессиональном облучении следует вести. Как правило, поставщик дозиметрических услуг имеет ограниченный прямой контакт с работниками и руководством установки. Однако результаты мониторинга часто используются руководством при выработке для персонала, ответственного за оперативную радиационную защиту, рекомендаций о том, когда необходимо вмешательство в отношении работников, например, последующий отбор проб или ограничение работы. Следовательно, необходимо тесное сотрудничество между теми, кто занят в различных частях программ мониторинга и программ защиты.

3.134. Следует обеспечивать, чтобы регистрационные записи индивидуального профессионального облучения включали любые оцененные эквивалентные дозы или уровни поступления в организм, включая дозу в коже и хрусталике глаза, в зависимости от обстоятельств. Следует включать подробную информацию о любом участии в аномальных событиях, даже если невозможно произвести оценку облучения. Следует сохранять регистрационные записи, касающиеся целей, методов мониторинга и моделей, используемых для анализа и интерпретации данных, поскольку они могут потребоваться для будущей интерпретации регистрационных записей профессионального облучения. Важное значение имеет прослеживаемость измерений и оценок облучения.

3.135. В программе мониторинга следует указывать периоды, в течение которых осуществляются мониторинг и оценка облучения, причем эти периоды связаны с программой обработки данных или отбора проб дозиметра. Индивидуальный учет профессионального облучения работников следует вести таким образом, чтобы для каждого по отдельности можно было идентифицировать облучение, оцениваемое за эти периоды.

3.136. Регистрационные записи профессионального облучения следует обновлять и следует разработать процедуры для обеспечения того, чтобы оценки облучения за любой период мониторинга оперативно включались в регистрационные записи индивидуального облучения.

3.137. Системы регистрации должны быть способны выдавать информацию об оценке профессионального облучения за любой отчетный период, определенный в программе радиационной защиты или требуемый

регулирующим органом. Если работник меняет работу, следует оперативно обновлять и заполнять регистрационные записи профессионального облучения.

3.138. Регистрационные записи доз должны быть легко доступными и должны быть защищены от утраты. Такая защита обычно обеспечивается путем хранения дубликатов групп записей в хорошо разделенных местах, так чтобы обе копии не могли быть уничтожены в результате одного инцидента. Регистрационные записи каждого лица, охваченного мониторингом, следует объединять; они должны быть полными и точными; в них следует указывать место, цель, дату и составителя; и они должны быть разборчивыми и понятными квалифицированному специалисту. Следует учитывать любые применимые национальные требования или международные соглашения, касающиеся конфиденциальности регистрационных записей индивидуальных данных.

3.139. Если работодатели, зарегистрированные лица и лицензиаты прекращают деятельность, в которой работники подвергаются профессиональному облучению, то им следует принимать меры по обеспечению сохранения регистрационных записей профессионального облучения работников соответственно в регулирующем органе или в государственном реестре, или у соответствующего работодателя, зарегистрированного лица или лицензиата.

3.140. Более подробные руководящие материалы по регистрационным записям о профессиональном облучении содержатся в разделе 7.

Информация, инструктаж и подготовка

3.141. Пункт 3.110 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Работодатели в сотрудничестве с зарегистрированными лицами и лицензиатами:
>
> a) обеспечивают получение всеми работниками адекватной информации о рисках для здоровья, связанных с их профессиональным облучением при нормальной эксплуатации, в случае ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях, соответствующего инструктажа и надлежащей подготовки и периодической переподготовки по вопросам

обеспечения защиты и безопасности, а также адекватной информации о влиянии выполняемых ими действий на защиту и безопасность;

b) обеспечивают получение работниками, которые могут участвовать в мероприятиях по реагированию на аварийную ситуацию или на которых эти мероприятия могут оказывать воздействие, адекватной информации, соответствующего инструктажа и надлежащей подготовки, а также периодической переподготовки по вопросам защиты и безопасности;

c) ведут учетную документацию по подготовке, полученной каждым отдельным работником».

3.142. Руководство несет ответственность за обеспечение того, чтобы работники, которые могут подвергаться профессиональному облучению, и лица, на которых возложены обязанности в рамках программы радиационной защиты, получали общую информацию и подготовку по радиационной защите. При необходимости это должно включать подготовку представителей работников и членов соответствующих комитетов по безопасности.

3.143. Старшему руководству следует пройти подготовку по тематике рисков, связанных с излучениями, основных принципов защиты и безопасности, его основных обязанностей в отношении управления радиационными рисками и основных элементов программы радиационной защиты.

3.144. В подготовку работников, непосредственно задействованных в работе с источниками излучения, следует включать соответствующую информацию, представленную в виде документов, лекций, прикладного обучения и подготовку на рабочих местах с акцентом на процедуры, специфические для рабочих заданий данных работников. Подготовка работников, которые считаются подверженными профессиональному риску, должна охватывать темы на уровне детализации, соразмерном рабочим заданиям работников и потенциальной опасности. Подготовка должна охватывать следующие темы:

a) основные риски, связанные с ионизирующим излучением;

b) основные величины и единицы, используемые в радиационной защите;

c) требования к радиационной защите (включая оптимизацию защиты и ограничение доз);

d) основы практической радиационной защиты (например, использование средств индивидуальной защиты, экранирование и поведение в обозначенных зонах);
e) конкретные вопросы, связанные с выполнением заданий;
f) обязанность незамедлительно уведомлять назначенное лицо о любом непредвиденном происшествии, с которым связан повышенный радиационный риск;
g) в надлежащих случаях, действия, которые могут потребоваться в случае аварии.

3.145. В тех случаях, когда необходимо выполнить работу, связанную со значительным облучением, следует рассмотреть вопрос об использовании подготовки на макетах или имитаторах с целью обеспечения того, чтобы работа велась наилучшим образом, были устранены все ненужные опасности и сведены к минимуму периоды облучения.

3.146. Работникам, которые могут не подвергаться профессиональному облучению, но чья работа может оказывать влияние на уровень облучения других работников или лиц из населения (например, проектировщиков, инженеров и специалистов по планированию), следует предоставлять соответствующую информацию о принципах обеспечения защиты и безопасности. Им следует также пройти подготовку по вопросам учета в своей деятельности требований в отношении защиты и безопасности, с тем чтобы оптимизировать защиту других людей.

3.147. Лицам, чьи рабочие задания связаны с использованием радиации, таким как лица, осуществляющие уход, или сотрудники службы безопасности, и другим лицам, которые могут кратковременно находиться в зонах, где возможно облучение, следует предоставлять базовую информацию об опасностях и о любых необходимых профилактических мерах. Для таких лиц необходимо лишь кратко обсудить такие вопросы, как использование факторов времени и расстояния для ограничения облучения, провести качественное обсуждение связанных с облучением рисков, которым они могут подвергаться, и изложить конкретные директивы, касающиеся запрещенных, требуемых или рекомендуемых действий.

3.148. Конкретные требования документа GSR Part 3 [2] в отношении работниц, которые могут входить в контролируемые зоны или зоны наблюдения, рассматриваются в пунктах 6.2–6.20. Руководству следует рассмотреть возможную необходимость предоставления дополнительной

информации и подготовки в связи с любыми изменениями условий труда, с тем чтобы ограничить облучение эмбриона или плода или грудного младенца после получения уведомления о беременности.

3.149. Особое внимание следует уделять исполнителям работ по контрактам, включая субподрядчиков и внештатных работников. Работодателям следует сотрудничать в целях обеспечения того, чтобы исполнители работ по контрактам, включая субподрядчиков и внештатных работников, получали необходимую информацию и соответствующую подготовку (см. пункты 6.73–6.76).

3.150. Знания работников об основах обеспечения защиты и безопасности, их уровень подготовки и компетентность, позволяющие безопасно выполнять поставленные перед ними задачи, следует оценивать и следует определять их достаточность перед выполнением любого не предусматривающего контроль задания. Руководству следует организовать процесс оценки знаний, уровня подготовки и компетентности работников.

3.151. Информационные и учебные программы по вопросам защиты и безопасности следует документировать и утверждать на соответствующем уровне организации. Такие программы следует периодически рассматривать с целью обеспечения их актуальности. Официальную документацию по подготовке и тестированию каждого работника следует вести и сохранять в течение соответствующего периода после его увольнения. Следует проводить периодическую переподготовку для обеспечения того, чтобы работники обладали самыми современными знаниями, имеющими отношение к их работе, и чтобы они не проявляли самоуспокоенность в отношении опасностей на рабочем месте. В тех случаях, когда в основные принципы или процедуры вносятся существенные изменения, следует также проводить переподготовку. Подготовку следует регулярно обновлять.

3.152. Дополнительные руководящие материалы по обучению и подготовке работников приведены в Серии норм безопасности МАГАТЭ № RS-G-1.4 «Повышение компетентности в области радиационной защиты и безопасного использования источников излучения» [22].

Квалификация и аттестация работников

3.153. Работникам, которым требуется значительный уровень знаний в конкретной области работ, связанных с закрытыми источниками, открытыми источниками или генераторами излучения, следует обладать

соответствующей квалификацией и, в соответствующих случаях, иметь соответствующий сертификационный документ. Примерами таких работников являются рентгенологи-диагносты, операторы промышленного радиографического оборудования и операторы копирующих манипуляторов в горячих камерах для источников излучения.

3.154. Регулирующему органу следует разрабатывать руководящие материалы по требованиям к квалификации для каждой категории должностей. В этих руководящих материалах должны быть рассмотрены минимальный уровень образования, минимальные требования к профессиональной подготовке и переподготовке, а также минимальный уровень опыта для каждой категории должностей. Кроме того, регулирующему органу следует обеспечивать соблюдение требований, касающихся признания квалификации, связанной с определенными функциями и обязанностями, такими, как функции и обязанности сотрудников по радиационной защите. В качестве альтернативы регулирующему органу следует рассматривать и, при необходимости, утверждать предложения руководства в отношении требований к обучению.

3.155. После успешного прохождения требуемого обучения и получения необходимого стажа работы работник может быть официально признан квалифицированным. Признание такой квалификации может быть осуществлено работодателем, регулирующим органом или назначенным советом, обществом, профессиональным или академическим органом.

3.156. Возможно, было бы целесообразно и удобно, чтобы регулирующий орган признавал определенные учебные центры и курсы с учетом их качества и пригодности. Такое признание может быть официально обеспечено в рамках процесса аккредитации.

Аудиты и рассмотрения

3.157. Следует проводить на регулярной основе оценку программы радиационной защиты. Аудиты и рассмотрения деятельности в рамках программы радиационной защиты следует планировать на основе статуса и важности этой деятельности. Система менеджмента (см. пункты 2.23–2.26) должна предусматривать процесс проведения таких оценок для выявления и исправления административных и управленческих проблем, которые могут препятствовать достижению программных целей. Аудиты и рассмотрения следует проводить лицам, которые обладают технической компетенцией для оценки анализируемых процессов и процедур, но не

несут никакой прямой ответственности за эту деятельность. Это могут быть сотрудники, работающие в других областях в данной организации, или же может оказаться преимуществом независимая оценка, проводимая другими организациями. Цель таких оценок заключается в повышении эффективности и действенности программы радиационной защиты.

3.158. Аудиты и рассмотрения следует проводить в соответствии с письменными процедурами и контрольными перечнями. Их следует проводить при наличии одного или нескольких из следующих условий:

a) в тех случаях, когда этого требует регулирующий орган;
b) когда руководство считает необходимой систематическую независимую оценку программы;
c) после осуществления новой программы радиационной защиты или основных элементов программы радиационной защиты;
d) при внесении существенных изменений в функциональные области программы радиационной защиты, таких как существенная реорганизация или пересмотр процедур;
e) при необходимости проверки выполнения ранее выявленных корректирующих мер.

ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ ОТ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Применимость требований для ситуаций планируемого облучения

3.159. Согласно пункту 3.4 документа GSR Part 3 [2], профессиональное облучение от природных источников в целом подпадает под действие требований для ситуаций существующего облучения (см. раздел 5). Это всегда происходит в тех случаях, когда облучение обусловлено «радионуклидами природного происхождения, независимо от концентрации активности, в предметах потребления, включая пищевые продукты, корма для животных, питьевую воду, сельскохозяйственные удобрения и вещества, улучшающие или мелиорирующие почву, и строительные материалы, а также остаточный радиоактивный материал в окружающей среде» (пункт 5.1(c)(ii) документа GSR Part 3 [2]). В случае профессионального облучения от радионуклидов природного происхождения в материалах, отличных от этих предметов повседневного потребления, и от радионуклидов в остатках в окружающей среде (эти

«другие» материалы являются по существу материалами в промышленных процессах), применимые требования зависят от концентраций активности радионуклидов следующим образом:

a) если в любом технологическом материале концентрация активности любого радионуклида в цепочке распада ^{238}U или цепочке распада ^{232}Th превышает 1 Бк/г или если концентрация активности ^{40}K превышает 10 Бк/г, то промышленная деятельность рассматривается как практическая деятельность и применяются требования для ситуаций планируемого облучения;
b) если в каждом технологическом материале концентрации активности всех радионуклидов в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th составляют 1 Бк/г или менее, а концентрация активности ^{40}K составляет 10 Бк/г или менее, то материал не рассматривается как радиоактивный материал природного происхождения, промышленная деятельность не рассматривается как практическая деятельность и применяются требования для ситуаций существующего облучения.

3.160. Критерии, приведенные в пункте 3.159, представляют (по порядку величины) верхние границы концентраций активности в нормальном грунте [23], как показано на рис. 3 для радионуклидов в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th. На рис. 3 видно, что многие используемые в промышленности минералы содержат концентрации активности ^{238}U и ^{232}Th ниже 1 Бк/г и, возможно, нет необходимости регулировать их как радиоактивный материал природного происхождения.

3.161. Облучение от радона на рабочем месте обычно подпадает под требования для ситуаций существующего облучения. Однако с точки зрения пункта 3.4 документа GSR Part 3 [2], требования для ситуаций планируемого облучения применяются в отношении:

a) облучения от ^{222}Rn, ^{220}Rn и их дочерних продуктов на рабочих местах, на которых профессиональное облучение от других радионуклидов в цепочке распада ^{238}U или цепочке распада ^{232}Th контролируется как ситуация планируемого облучения;
b) облучения от ^{222}Rn и его дочерних продуктов на рабочих местах, на которых среднегодовая концентрация активности ^{222}Rn в воздухе превышает контрольный уровень (см. пункты 5.19–5.23).

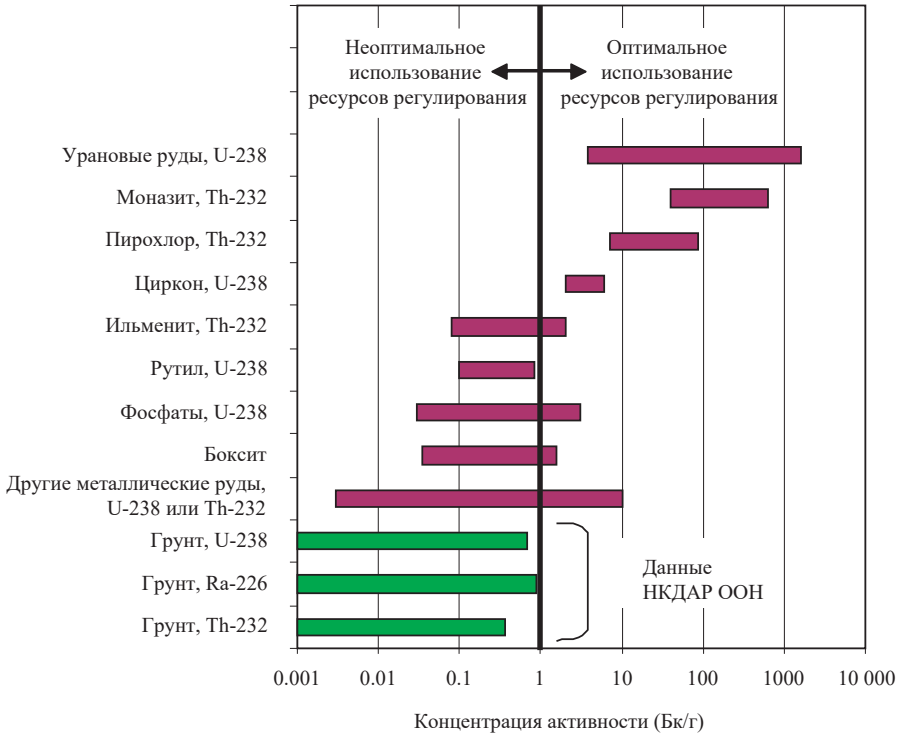


РИС. 3. Концентрации активности радионуклидов в материалах природного происхождения.

Дочерние продукты ^{222}Rn, о которых говорится в пункте 3.161(a) и (b) — это ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi и ^{214}Po. Дочерние продукты ^{220}Rn, о которых говорится в пункте 3.161(a) — это ^{216}Po, ^{212}Pb, ^{212}Bi, ^{212}Po и ^{208}Tl. Дополнительная информация о ^{222}Rn, ^{220}Rn и их дочерних продуктах содержится в пунктах 5.45–5.51.

3.162. В результате применения критериев, изложенных в пунктах 3.159 и 3.161, и с учетом опубликованных в настоящее время данных измерений профессионального облучения, действие требований для ситуаций планируемого облучения распространяется или может распространяться на следующие виды промышленной деятельности [24]:

a) добыча и переработка урановых руд;
b) эстракция редкоземельных элементов [25];
c) производство и использование тория и его соединений;

d) производство ниобия и ферро-ниобия;
e) добыча руд, помимо урановых руд;
f) добыча нефти и газа [26];
g) производство пигментов на основе диоксида титана [27];
h) деятельность в фосфатной промышленности [28];
i) деятельность в промышленности по производству циркония и диоксида циркония [29];
j) производство олова, меди, алюминия, цинка, свинца, чугуна и стали;
k) сжигание угля;
l) обработка воды.

Дифференцированный подход

3.163. В отношении промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, следует применять дифференцированный подход к регулированию с учетом:

a) экономического значения многих отраслей промышленности, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения;
b) больших объемов остатков и технологических отходов, которые могут образовываться, и, как следствие этого, ограниченного числа вариантов обращения с ними;
c) потенциально высокой стоимости регулирования в связи с уменьшением облучения, которое реально может быть достигнуто, когда уровни облучения и связанные с ними радиационные риски уже довольно низки;
d) признания того, что дозы, как ожидается, всегда должны быть значительно ниже порогового уровня возникновения детерминированных эффектов для здоровья; кроме того, никогда не существует реальной возможности возникновения радиологической аварийной ситуации.

3.164. Для определения оптимального подхода к регулированию регулирующему органу следует выйти за рамки простого установления факта превышения критериев, изложенных в пунктах 3.159 и 3.161. Кроме того, ему следует более детально рассматривать конкретные типы операций, технологических процессов и материалов, включая предварительную радиологическую оценку возможного облучения и сравнение затрат на регулирование с возможными достигаемыми результатами.

3.165. Что касается дифференцированного подхода, то регулирующему органу следует прежде всего определять, является ли изъятие практической деятельности оптимальным вариантом регулирования; опыт показывает, что это вполне может иметь место в отношении многих видов промышленной деятельности, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения. Для облучения от радиоактивных материалов природного происхождения критерий изъятия без дальнейшего рассмотрения, как указано в пункте I.4 документа GSR Part 3 [2] представляет собой дозу порядка 1 мЗв или менее в течение года. При выборе оптимального варианта регулирования (изъятие, уведомление, регистрация или лицензирование) следует должным образом учитывать воздействие (и действенность) существующих мер контроля, которые могут уменьшить дозы и которые уже могут быть приняты в результате осуществления других форм регулирования, таких как регулирование гигиены труда и безопасности; в противном случае оценка дозы может быть значительно завышена. Необходимость использования самого высокого уровня дифференцированного подхода (лицензирования) в отношении видов практической деятельности, связанных с облучением от радиоактивных материалов природного происхождения, вероятно, будет актуальной только для тех операций, которые связаны со значительными количествами материала с весьма высокими концентрациями активности радионуклидов.

3.166. Согласно пункту I.12(b) документа GSR Part 3 [2], материал (например, остатки радиоактивных материалов природного происхождения), содержащий радионуклиды природного происхождения в рамках разрешенной практической деятельности, может быть освобожден от применения требований без дальнейшего рассмотрения со стороны регулирующего контроля при условии, что концентрация активности каждого радионуклида в цепочке распада ^{238}U или цепочке распада ^{232}Th составляет 1 Бк/г или менее, а концентрация активности ^{40}K составляет 10 Бк/г или менее.

3.167. Материалы, которые были освобождены от применения требований на имеющей официальное разрешение установке в связи с низким содержанием радионуклидов, все же могут быть источниками нерадиологических рисков для человека и окружающей среды в результате воздействия других входящих в их состав элементов, таких как тяжелые металлы. Поэтому такие материалы могут потребовать постоянного контроля согласно соответствующим регулирующим положениям.

Предварительная радиологическая оценка

Пути облучения

3.168. При проведении предварительной радиологической оценки производственной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, наиболее вероятными путями облучения работников являются пути облучения, связанные с внешним облучением гамма-излучением, испускаемым технологическим материалом, и внутренним облучением при вдыхании радионуклидов, содержащихся в пыли, а именно:

a) основными радионуклидами природного происхождения, вносящими вклад в гамма-облучение, являются ^{214}Pb и ^{214}Bi из цепочки распада ^{238}U и ^{228}Ac, ^{212}Pb и ^{208}Tl из цепочки распада ^{232}Th. Наибольшая энергия гамма-излучения (2614 кэВ) связана с ^{208}Tl. Облучение, обусловленное гамма-излучением, является главным образом следствием накопления минеральных концентратов или остатков. Мощности дозы, как правило, наиболее высоки вблизи технологических резервуаров, трубопроводов, фильтров и больших запасов материала;
b) воздушно-пылевые частицы возникают в результате повторного взвешивания частиц загрязнения на полах и других поверхностях, в результате выбросов при операциях по обработке и при транспортировке минералов. При вдыхании таких частиц работниками, занятыми в промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, облучение от радионуклидов в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th может представлять интерес с точки зрения целей радиационной защиты.

3.169. Для некоторых видов деятельности, связанных с минералами и сырьем, может потребоваться рассмотрение внутреннего облучения при вдыхании ^{222}Rn, выделяющегося из технологического материала, что приводит к облучению от его короткоживущих дочерних продуктов (с точки зрения пункта 3.161, такая ситуация облучения не обязательно будет считаться ситуацией планируемого облучения). Облучение от ^{220}Rn и его дочерних продуктов обычно не является проблемой, представляющей интерес, поскольку период полураспада ^{220}Rn намного короче, чем у ^{222}Rn. Следует обратить внимание на ^{220}Rn на некоторых рабочих местах, связанных с полезными ископаемыми с высоким содержанием ^{232}Th, такими как моназит. На таких рабочих местах, вероятно, облучение в любом случае

будет контролироваться как ситуация планируемого облучения, а не как ситуация существующего облучения из-за необходимости контролировать облучение от других радионуклидов в цепочке распада ^{232}Th (см. пункт 3.161(a)).

3.170. Внутреннее облучение работников при пероральном поступлении вряд ли потребует рассмотрения при нормальных эксплуатационных условиях.

Ожидаемые уровни облучения

3.171. Опыт показывает, что годовые эффективные дозы, получаемые работниками, занятыми в промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, зачастую являются низкими, даже если концентрации радионуклидов в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th значительно превышают 1 Бк/г. Поэтому предварительную радиологическую оценку следует проводить таким образом, чтобы быстро определить, какие пути облучения являются значимыми с точки зрения защиты и безопасности, в отличие от тех, которые имеют минимальное значение. Для облучения, обусловленного гамма-излучением, и облучения от взвешенной в воздухе пыли можно установить в широком смысле показатель дозы, которую следует ожидать, если известны концентрации активности в различных технологических материалах. В Добавлении I изложена соответствующая методология для этого, в которой используется основная линейная зависимость между дозой и концентрацией активности.

3.172. На подавляющем большинстве рабочих мест концентрации ^{222}Rn аналогичны нормальным уровням в помещениях или могут быть снижены до таких уровней посредством улучшенной вентиляции в соответствии с требованиями для ситуаций существующего облучения (см. раздел 5). С точки зрения пункта 3.161(a), облучение от ^{222}Rn на рабочих местах, связанное с радиоактивными материалами природного происхождения, может подпадать под действие требований для ситуаций планируемого облучения ввиду необходимости контролировать (как в ситуации планируемого облучения) облучение от других радионуклидов в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th. Даже на этих рабочих местах концентрации ^{222}Rn, как правило, по-прежнему близки к нормальным уровням в помещениях, поскольку любые уровни ^{222}Rn, выделяющегося из минералов с повышенными концентрациями ^{226}Ra, могут быть легко снижены посредством вентиляции. Тем не менее, на некоторых рабочих

местах возможны высокие концентрации ^{222}Rn. Концентрации ^{222}Rn в некоторых случаях оказываются настолько высокими, что, несмотря на все разумные усилия по их снижению, они превышают контрольный уровень для ^{222}Rn (см. пункт 5.60), что вызывает необходимость контроля в рамках ситуации планируемого облучения с учетом пункта 3.161(b). Вероятнее всего, такими рабочими местами будут подземные рабочие места, для которых могут действовать ограничения в отношении возможной вентиляции и/или где может произойти значительный выброс ^{222}Rn в воздух из обогащенных радием минералов (например, на подземных урановых рудниках) или из обогащенных радием вод (например, на подземных рудниках и установках для очистки подземных вод). Концентрации ^{222}Rn на рабочем месте, как правило, сильно различаются, и облучение весьма трудно прогнозировать посредством моделирования. При подозрении на возможность значительного повышения концентрации ^{222}Rn необходимо провести радиологическое обследование концентрации ^{222}Rn на рабочем месте в рамках предварительной радиологической оценки, с тем чтобы определить, в какой степени могут потребоваться меры по контролю облучения от ^{222}Rn. Это не зависит от того, будет ли ситуация облучения в конечном счете рассматриваться как ситуация планируемого облучения или как ситуация существующего облучения.

3.173. Поскольку природный калий содержит 0,012% ^{40}K, этот радионуклид присутствует во многих минералах и сырье. При периоде полураспада 1,25 миллиарда лет ^{40}K распадается за счет бета-излучения до ^{40}Ca (89%) и путем захвата электронов до ^{40}Ar(11%), при этом энергия испускаемого гамма-излучения составляет 1,46 МэВ. В организме человека ^{40}K контролируется гомеостатически, и любое его избыточное количество выводится. Содержание калия в организме взрослого человека составляет около 160 г. Поскольку считается практически невозможным контролировать содержание ^{40}K в организме, считается, что ^{40}K не поддается контролю, и он исключен из сферы применения норм (см. пункт 1.42 документа GSR Part 3 [2]). Для целей обеспечения защиты и безопасности единственным возможным предметом озабоченности является гамма-излучение от больших количеств материала, обогащенного калием, например, в некоторых видах удобрений. Согласно данным, представленным в [24], ожидается, что годовая эффективная доза на единицу концентрации активности в связи с гамма-излучением от ^{40}K в богатых калием минералах составит 0,02–0,03 мЗв на Бк/г. Концентрация активности всегда составляет менее 30,6 Бк/г, что равно концентрации активности ^{40}K в чистом калии. Поэтому, как ожидается, эффективная доза, получаемая работником, подвергающимся облучению от богатых

калием минералов, всегда будет составлять менее 1 мЗв в год. С учетом этого профессиональное облучение, связанное с ^{40}К в богатых калием минералах, как правило, может не учитываться при любой предварительной радиологической оценке.

Контроль облучения работников

Облучение при воздействии гамма-излучения

3.174. Для сведения к минимуму внешнего облучения от радиоактивных материалов природного происхождения иногда могут быть целесообразными конкретные меры защиты на рабочем месте, такие как контроль периода пребывания или даже экранирование. Материалы с относительно низкими концентрациями активности приводят к умеренным мощностям доз гамма-излучения (обычно не более нескольких микрозивертов в час), даже при контакте. В таких случаях может оказаться достаточным не рекомендовать доступ и ограничивать его, например, путем хранения материалов в преимущественно незанятых зонах. В зонах, содержащих материалы с относительно высокими концентрациями активности, могут потребоваться физические барьеры и предупреждающие знаки.

Облучение от пыли и других аэрозольных загрязнителей

3.175. Облучение, связанное с взвешенной в воздухе пылью, вероятно, будет контролироваться на многих рабочих местах в рамках общих правил гигиены труда и техники безопасности. Контроль качества воздуха с целью сведения к минимуму уровней запыленности может также способствовать снижению концентраций продуктов распада ^{222}Rn и ^{220}Rn. Поэтому степень эффективности существующих мер контроля в целях обеспечения гигиены труда и безопасности с точки зрения сведения к минимуму облучения работников — это то, что регулирующему органу следует установить, прежде чем принимать решение о введении дополнительных мер контроля по чисто радиологическим причинам. На некоторых рабочих местах существующие меры контроля, предназначенные только для целей обеспечения гигиены труда и безопасности работников, могут обеспечить достаточную защиту от внутреннего облучения. На других рабочих местах могут потребоваться дополнительные меры контроля конкретно в целях радиационной защиты для достижения соблюдения требований, которые применяются в ситуациях планируемого облучения.

3.176. Многие рабочие места, где существует облучение от радиоактивных материалов природного происхождения, по своей природе являются пыльными. К таким рабочим местам относятся зоны горной добычи, зоны дробления руды и зоны обработки и упаковки продукции. На таких рабочих местах, в частности на тех, которые не открыты в атмосферу, решающее значение для борьбы с переносимой по воздуху пылью, как правило, имеют вентиляционные системы. Системы вентиляции могут также иметь решающее значение для контроля ^{222}Rn и его дочерних продуктов, а также нерадиологических аэрозольных загрязнителей; в подземных шахтах к этим нерадиологическим загрязнителям могут относиться газообразный метан и газовые продукты взрывов. Проектирование систем вентиляции подземных рудников должно быть неотъемлемой частью общего планирования и развития рудников. Там, где это возможно, накопление ^{222}Rn на подземных рабочих местах следует сводить к минимуму путем предотвращения прохождения свежего воздуха через горные выработки и реализации системы «одного прохода». Скорости воздуха должны быть достаточно высокими и обеспечивать разбавление аэрозольных загрязнителей, но не настолько высокими, чтобы вызвать повторное взвешивание частиц осевшей пыли. Зоны, откуда подается воздух, должны быть хорошо отделены от зон, где выпускается вытяжной воздух, с тем чтобы избежать смешивания этих двух потоков воздуха. Желательно, чтобы основная система вентиляции работала в непрерывном режиме, с тем чтобы избежать накопления активности в рабочих зонах. Следует предотвращать доступ работников в любые не оборудованные вентиляцией зоны, если только такие работники не имеют специального разрешения и надлежащей защиты. Следует избегать размещения стационарных рабочих станций на путях обратных потоков воздуха. Там, где это невозможно, следует предусматривать операторские кабины с подачей фильтрованного воздуха.

3.177. На тех установках, где высока возможность облучения от взвешенной в воздухе пыли, ^{222}Rn или от других аэрозольных загрязнителей, работодателю следует обеспечивать использование услуг обладающего надлежащей квалификацией сотрудника по вентиляции. Сотрудник по вентиляции должен быть обязан:

a) консультировать руководство по всем вопросам, касающимся систем вентиляции и очистки воздуха;

b) обеспечивать надлежащую работу вентиляционных систем (включая вспомогательные вентиляционные системы, работа которых в подземных рудниках может быстро ухудшаться), введение любых необходимых модификаций и обеспечение оперативного устранения любых недостатков;
c) обеспечивать измерение расхода и скорости воздуха в соответствии с надлежащей практикой вентиляции;
d) обеспечивать использование надлежащим образом откалиброванных приборов;
e) осуществлять программы отбора проб и контроля запыленности совместно с лицом, ответственным за радиационную защиту;
f) участвовать в программах обучения и разработке или утверждении всех учебных материалов по вентиляции и борьбе с запыленностью;
g) в надлежащих случаях быть осведомленным о свойствах ^{222}Rn, ^{220}Rn и их дочерних продуктов.

3.178. Полная локализация материалов зачастую нецелесообразна, особенно когда речь идет о больших количествах материалов с низкой концентрацией активности. Однако разливы и распространение материалов за пределы зоны зачастую не имеют радиологической значимости, если только это не приводит к значительным и стойким уровням взвешенной пыли. Поэтому наиболее эффективным подходом, вероятно, явится предотвращение повторного взвешивания пыли. Контроль поверхностного загрязнения может оказаться затруднительным и непрактичным, и конкретные меры по контролю поверхностного загрязнения становятся значимыми только в тех случаях, когда присутствуют материалы с более высокой концентрацией активности. Тем не менее, даже в тех случаях, когда обрабатываемые материалы имеют низкую концентрацию активности, всегда следует соблюдать надлежащую промышленную практику, включая установление соответствующих правил и рабочих процедур (т.е. использование вакуумной очистки) для обеспечения надлежащего контроля за повторным взвешиванием пыли. Следует разработать и постоянно держать в поле зрения меры, способствующие надлежащему поддержанию общего порядка, борьбе с разливами и обеспечению личной гигиены.

3.179. В ситуациях, когда концентрации активности радионуклидов в обрабатываемых материалах являются умеренными, следует признавать, что содержание кремнезема в взвешенной в воздухе пыли может вызывать более серьезную озабоченность по соображениям гигиены труда, чем содержание в ней радионуклидов.

Информированность и подготовка работников

3.180. Многие виды промышленной деятельности, связанные с радиоактивными материалами природного происхождения, не связаны автоматически с облучением. Введение местных правил и понимание мер предосторожности, воплощенных в таких правилах, должны подкрепляться улучшением информированности и подготовки работников. Методы работы отдельных сотрудников могут усугублять образование пыли и в некоторых случаях могут полностью сводить на нет эффективность любых имеющихся инженерно-технических мер контроля. Могут существовать недостатки в том, как выполняются задания по техническому обслуживанию оборудования, что предполагает необходимость периодического рассмотрения с целью определения того, возможны ли улучшения.

3.181. Программы обучения и подготовки работников должны включать конкретные темы, касающиеся промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения. Следует, чтобы такие темы охватывали, в зависимости от обстоятельств:

a) свойства и опасности, связанные с радионуклидами в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th (включая, в надлежащих случаях, ^{222}Rn и ^{220}Rn);
b) применение принципов времени, расстояния и экранирования для сведения к минимуму облучения, обусловленного гамма-излучением вблизи крупных скоплений радиоактивных материалов природного происхождения, особенно там, где концентрации активности высоки;
c) измерение активности аэрозолей в виде пыли и активности ^{222}Rn и его дочерних продуктов;
d) необходимость контроля и подавления взвешенной в воздухе пыли и применяемые методы;
e) функционирование и назначение системы вентиляции и ее важность для обеспечения защиты и безопасности.

4. ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В СЛУЧАЕ ЯДЕРНОЙ ИЛИ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

4.1. Требования к защите и безопасности для работников в ситуациях аварийного облучения изложены в документе GSR Part 3 [2] и в Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 7 «Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации» [30].

4.2. Существуют четыре группы работников, которые могут подвергаться облучению в ядерной или радиологической аварийной ситуации вследствие их участия в аварийном реагировании или в самой ядерной или радиологической аварийной ситуации на установке или при осуществлении деятельности:

a) аварийные работники, имеющие определенные обязанности;
b) работники, исполняющие свои обязанности на рабочих местах и не участвующие в реагировании на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию;
c) работники, которым предлагается прекратить исполнение своих обязанностей на рабочих местах и покинуть площадку;
d) работники, которые случайно подвергаются облучению в результате аварии или другого инцидента на установке или во время проведения работ и облучение которых не связано с аварийным реагированием.

4.3. Эти четыре группы определяются с учетом широкого круга сценариев, а также различных функций и обязанностей работников на установке или в рамках деятельности (таких, как назначенные аварийные работники, административный персонал на площадке и сотрудники близлежащих оперативных подразделений). Функции различных работников в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации будут различаться, и для обеспечения надлежащей защиты всех работников следует применять соответствующие стратегии защиты. Защиту аварийных работников, указанных в пункте 4.2(a), следует обеспечивать в соответствии с требованиями, изложенными в документе GSR Part 3 [2] для ситуаций аварийного облучения и в документе GSR Part 7 [30]. Защиту работников, относящихся к группе, указанной в пункте 4.2(b), следует обеспечивать таким же образом, как и защиту работников в ситуациях планируемого облучения в соответствии с требованиями, изложенными в документе GSR Part 3 [2]. Защиту работников, относящихся к группе, указанной

в пункте 4.2(c), следует обеспечивать таким же образом, как и защиту лиц из населения в ситуациях аварийного облучения в соответствии с требованиями, изложенными в документе GSR Part 7 [30]. Защиту работников, подвергшихся аварийному облучению (пункт 4.2(d)) в связи с последующим медицинским наблюдением, лечением и оценкой дозы, следует обеспечивать в соответствии с документом GSR Part 3 [2] и документом GSR Part 7 [30].

4.4. Защита помощников в аварийной ситуации (т.е. лиц из населения, которые по собственному желанию и добровольно оказывают помощь при реагировании на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию) в настоящем руководстве по безопасности конкретно не рассматривается. Однако помощников в аварийной ситуации следует регистрировать, подключать к выполнению операций по аварийному реагированию и обеспечивать для них такой же уровень защиты, как и для аварийных работников, не назначенных в качестве таковых на этапе готовности, в соответствии с документом GSR Part 7 [30].

АВАРИЙНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ОБЯЗАННОСТИ

4.5. Мероприятия по защите работников в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации следует включать в план аварийных мероприятий, который подготавливается на основе оценки опасности в соответствии с документом GSR Part 7 [30]. Уровень планирования следует делать соизмеримым с характером и величиной рисков и осуществимостью смягчения последствий в случае возникновения аварийной ситуации.

4.6. Что касается защиты аварийных работников, то в план аварийных мероприятий следует включать:

a) лиц или организации, отвечающих за обеспечение соблюдения требований в отношении защиты и безопасности работников в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, в том числе за контроль облучения аварийных работников;
b) конкретные функции и обязанности всех работников, участвующих в реагировании на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию;
c) подробные сведения о надлежащих защитных мерах, которые необходимо принимать, средствах индивидуальной защиты и оборудовании для радиационного мониторинга, которые будут использоваться, а также о мероприятиях в области дозиметрии;

d) рассмотрение вопроса контроля доступа работников в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации на площадке.

ЗАЩИТА АВАРИЙНЫХ РАБОТНИКОВ

4.7. Основное различие между лицами из населения и аварийными работниками в ситуации аварийного облучения заключается в том, что лица из населения могут получать дозы облучения, если не будут приняты определенные меры с целью предотвращения этого, тогда как аварийные работники будут получать дозы облучения в связи с возложенными на них конкретными функциями. Поэтому, насколько это возможно, целесообразно и далее трактовать облучение аварийных работников согласно требованиями для ситуаций планируемого облучения в соответствии с дифференцированным подходом, особенно на более поздних этапах аварийной ситуации. Облучение аварийных работников начинается с задания совершить конкретное действие и заканчивается с выполнением поставленной задачи или объявлением о завершении аварийной ситуации.

4.8. Защита аварийных работников должна включать, как минимум:

a) обучение тех аварийных работников, которые заранее назначены в качестве таковых;
b) предоставление непосредственно перед их использованием тем аварийным работникам, которые не были назначены в качестве таковых заранее[8], инструкций относительно того, как выполнять определенные для них функции в аварийных условиях и как защитить себя («своевременное обучение»);
c) управление получаемыми дозами, их контроль и регистрацию;
d) предоставление надлежащих специализированных средств индивидуальной защиты и оборудования для радиационного мониторинга;
e) в надлежащих случаях обеспечение йодной профилактики;
f) по мере необходимости, организацию медицинского наблюдения и психологического консультирования;
g) в надлежащих случаях получение информированного согласия аварийных работников на выполнение определенных функций.

---

[8] Аварийные работники, не назначенные в качестве таковых на этапе обеспечения готовности, должны быть зарегистрированы и задействованы в операциях по аварийному реагированию в соответствии с документом GSR Part 7 [30].

Обоснование

4.9. На этапе обеспечения готовности следует обосновать защитные меры и другие меры реагирования, которые должны быть приняты в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Следует надлежащим образом учитывать ущерб здоровью, связанный с дозами, получаемыми аварийными работниками, которые предпринимают защитные меры и другие меры реагирования. Всем заинтересованным сторонам (регулирующему органу, организациям, осуществляющим реагирование, и другим) следует поддерживать осуществление процесса обоснования.

Оптимизация

4.10. На этапе обеспечения готовности для защиты работников следует применять процесс оптимизации, включая использование контрольных уровней. Всем заинтересованным сторонам (регулирующему органу, организациям, осуществляющим реагирование, и другим) следует поддерживать осуществление процесса оптимизации.

4.11. В рамках процесса оптимизации следует установить контрольные уровни. Контрольный уровень должен представлять собой уровень дозы, выше которого считается нецелесообразным допускать планируемое облучение и для которого поэтому следует планировать и оптимизировать защитные меры. Дозы, сравниваемые с контрольными уровнями, обычно представляют собой ожидаемые дозы (т.е. дозы, которые могут быть получены в будущем, поскольку только на такие будущие дозы могут повлиять решения о защитных действиях). Контрольные уровни не являются определенной формой предела полученной в прошлом дозы.

4.12. Начальный этап реагирования на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию характеризуется отсутствием информации об этом событии, нехваткой материалов для защитных мер и необходимостью безотлагательного осуществления защитных действий. Поэтому возможности применения процесса оптимизации при управлении защитой аварийных работников на таком начальном этапе практически отсутствуют. Усилия должны быть направлены на снижение любого облучения, насколько это практически осуществимо, с учетом сложных условий развивающейся аварийной ситуации.

4.13. При принятии защитных мер на позднем этапе ядерной или радиологической аварийной ситуации и при переходе из ситуации аварийного облучения в ситуацию существующего облучения процесс оптимизации следует применять для защиты аварийных работников таким же образом, как и для защиты работников в ситуациях планируемого облучения.

Ограничение облучения аварийных работников

4.14. Поскольку облучение аварийных работников является преднамеренным и контролируемым, следует предполагать, что применяются пределы дозы для работников, если только не имеется веских причин не применять их. Как указано в пункте 4.15 документа GSR Part 3 [2] (см. также пункт 5.55 документа GSR Part 7 [30]):

> «Организации, осуществляющие реагирование, и работодатели обеспечивают, чтобы ни один аварийный работник в аварийной ситуации не подвергался облучению, превышающему 50 мЗв, кроме указанных ниже случаев:
>
> a) с целью спасения жизни или предотвращения серьезного поражения;
> b) при осуществлении действий, направленных на предотвращение возникновения серьезных детерминированных эффектов, и действий, направленных на предотвращение возникновения катастрофических условий, которые могут оказать значительное воздействие на людей и окружающую среду; или
> c) при осуществлении действий, направленных на предотвращение получения высокой коллективной дозы».

4.15. Рекомендуемые значения для ограничения облучения аварийных работников следует определять в соответствии с поставленной задачей, как указано в добавлении I к документу GSR Part 7 [30] и воспроизведено в таблице 2 настоящего руководства по безопасности. Что касается мер по спасению жизни людей, то следует прилагать все усилия для удержания индивидуальных доз облучения аварийных работников на уровнях ниже 500 мЗв при внешнем облучении от проникающего излучения, в то время как другие виды облучения следует предотвращать всеми возможными средствами. Однако при оценке доз облучения аварийных работников следует оценивать и включать в суммарный уровень облучение, получаемое по всем путям поступления, внешним и внутренним. Значение 500 мЗв

ТАБЛИЦА 2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ АВАРИЙНЫХ РАБОТНИКОВ [30]

Задание	Рекомендуемое значение[a]
Меры по спасению жизни людей	$H_p(10)$[b] < 500 мЗв E[c] < 500 мЗв AD_T[d] < ½AD_T[e] Это значение может быть превышено – с надлежащим учетом общих критериев в таблице II.1 документа GSR Part 7 [30] – в обстоятельствах, когда ожидаемая польза для других определенно перевешивает риски для здоровья самих аварийных работников и когда аварийный работник добровольно соглашается принять участие в этих действиях и понимает и принимает связанные с ними риски для здоровья.
Меры, направленные на предотвращение серьёзных детерминированных эффектов, и меры, направленные на предотвращение развития катастрофических условий, которые могут оказать значительное воздействие на людей и окружающую среду	$H_p(10)$[b] < 500 мЗв E[c] < 500 мЗв AD_T[d] < ½AD_T[e]
Меры, направленные на предотвращение получения высокой коллективной дозы	$H_p(10)$[b] < 100 мЗв E[c] < 100 мЗв AD_T[d] < 0,1AD_T[e]

[a] Эти значения устанавливаются на уровнях от двух до десяти раз ниже уровней общих критериев в таблице II.1 документа GSR Part 7 [30] , и они применимы в отношении:

(a) дозы внешнего облучения, обусловленной сильнопроникающим излучением, в случае $H_p(10)$. Дозы внешнего облучения, обусловленные слабопроникающим излучением, и дозы от поступления радионуклидов или от радиоактивного загрязнения кожи необходимо предотвращать всеми возможными средствами. Если это не представляется возможным, то необходимо ограничивать эффективную дозу и ОБЭ-взвешенную поглощенную дозу в органе или ткани с целью сведения к минимуму риска для здоровья человека в соответствии со степенью риска, которую отражают приведенные здесь рекомендуемые значения;

(b) суммарной эффективной дозы E и ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы в органе или ткани AD_T по всем путям поступления облучения (т.е. как дозы внешнего облучения, так и ожидаемой дозы от поступления в организм), которые необходимо оценивать как можно ранее с целью надлежащего ограничения любого дальнейшего облучения.

[b] Индивидуальный эквивалент дозы HP (d), где d = 10 мм.

[c] Эффективная доза.

[d] ОБЭ-взвешенная поглощённая доза в ткани или органе.

[e] Значения ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы в ткани или органе приведены в таблице II.1 документа GSR Part 7 [30].

следует превышать только при обстоятельствах, при которых ожидаемая польза для других явно перевешивает собственные риски для здоровья аварийного работника и при которых аварийный работник добровольно соглашается принять участие в этих действиях и понимает и принимает связанный с ними риск для здоровья.

4.16. Независимо от обстоятельств, организациям, осуществляющим реагирование, и работодателям следует прилагать все разумные усилия для поддержания доз, получаемых аварийными работниками, ниже пороговых значений для серьезных детерминированных эффектов, приведенных в документе GSR Part 3 [2], документе GSR Part 7 [30] и документе GSG-2 [31].

4.17. При назначении в качестве аварийных работников военного персонала следует прилагать все усилия для обеспечения его защиты таким же образом, как и других аварийных работников.

УПРАВЛЕНИЕ ОБЛУЧЕНИЕМ АВАРИЙНЫХ РАБОТНИКОВ

4.18. С точки зрения пункта 4.12 документа GSR Part 3 [2], правительство должно учредить программу по управлению дозами, получаемыми аварийными работниками в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, а также по контролю и регистрации этих доз. Эту программу следует осуществлять организациям, осуществляющим реагирование, и работодателям.

4.19. Группа аварийных работников, указанных в пункте 4.2(a), может быть дополнительно разделена на три категории аварийных работников:

a) Категория 1. Аварийные работники, осуществляющие меры по смягчению последствий и срочные защитные меры на площадке, включая меры по спасению жизни людей, действия, направленные на предотвращение возникновения серьезных травм, меры, направленные на предотвращение возникновения катастрофических условий, которые могут оказать значительное воздействие на людей и окружающую среду, меры, направленные на предотвращение возникновения серьезных детерминированных эффектов, и меры, направленные на предотвращение получения большой коллективной дозы. Аварийные работники категории 1 должны быть назначены в качестве таковых на этапе обеспечения готовности. Вероятно, это может быть эксплуатационный персонал, находящийся на установке

или проводящий работы, но также это может быть персонал аварийных служб. Его нанимает либо зарегистрированное лицо или лицензиат (эксплуатирующая организация), либо организация, осуществляющая реагирование, и он должен пройти подготовку по радиационной защите при профессиональном облучении.

b) Категория 2. Аварийные работники, осуществляющие срочные защитные меры за пределами площадки (например, эвакуацию, укрытие и радиационный мониторинг) с целью предотвращения получения большой коллективной дозы. Скорее всего, это будут полицейские, пожарные, медицинский персонал, а также водители и экипажи эвакуационных транспортных средств. Следует прилагать все усилия для назначения аварийных работников категории 2 в качестве таковых на этапе обеспечения готовности. Они должны иметь заранее определенные обязанности при аварийном реагировании и должны на регулярной основе проходить подготовку по радиационной защите при профессиональном облучении в качестве сотрудников служб экстренного реагирования. Обычно считается, что они не подвергаются профессиональному облучению, а их работодателями являются организации, осуществляющие реагирование.

c) Категория 3. Аварийные работники, осуществляющие ранние защитные меры и другие меры реагирования за пределами площадки (например, переселение, дезактивацию и мониторинг окружающей среды), а также другие меры, направленные на обеспечение возможности прекращения аварийной ситуации. Аварийные работники категории 3 могут назначаться или не назначаться в качестве таковых на этапе обеспечения готовности. Обычно считается, что они подвергаются или не подвергаются профессиональному облучению, а также могут пройти или не пройти соответствующую подготовку, включая подготовку по радиационной защите.

4.20. Любое ограничение продолжительности работ, выполняемых аварийными работниками, и любые условия, при которых они будут проводить работы, следует применять путем планирования аварийных работ на основе рекомендуемых значений дозы.

4.21. Задания следует распределять, в зависимости от категории аварийных работников, следующим образом:

a) аварийным работникам категории 1 следует осуществлять меры по спасению жизни людей или предотвращению возникновения серьезных травм, меры по предотвращению возникновения серьезных

детерминированных эффектов, и меры по предотвращению возникновения катастрофических условий, которые могут оказать значительное воздействие на людей и окружающую среду;

b) аварийных работников категории 2 не следует привлекать в первоочередном порядке для осуществления мер по спасению жизни людей;

c) аварийным работникам категории 1 и категории 2 следует осуществлять меры по предотвращению получения большой коллективной дозы;

d) аварийным работникам категории 3 следует осуществлять те меры, которые не приведут к получению дозы более 50 мЗв[9].

4.22. Почти во всех аварийных ситуациях будет в лучшем случае постоянно проводиться только измерение дозы внешнего проникающего излучения. Поэтому следует обеспечивать, чтобы оперативные руководящие материалы, предоставляемые аварийным работникам, были основаны на измерениях проникающего излучения (например, на показаниях активного дозиметра или саморегистрирующего дозиметра). Дозы в результате поступления в организм, радиоактивного загрязнения кожи и облучения хрусталика глаза следует предотвращать всеми возможными средствами, например, путем использования средств индивидуальной защиты, йодной профилактики (в тех случаях, когда это может быть связано с облучением от радиоактивного йода) и путем предоставления инструкций, касающихся операций в потенциально опасных радиологических условиях. Такие инструкции должны охватывать применение принципов времени, расстояния и экранирования, предотвращение перорального поступления радионуклидов и использование средств защиты органов дыхания. Имеющуюся информацию о радиационной обстановке на площадке следует использовать для принятия решений о надлежащей защите аварийных работников.

4.23. Работницам, которые знают или подозревают, что они беременны, или которые кормят грудью, следует рекомендовать уведомлять своего работодателя об этом, и их, как правило, следует исключать из выполнения заданий в аварийной ситуации, если только такие задания не могут быть выполнены в соответствии с требованиями к профессиональному облучению, изложенными в пунктах 3.114 и 4.15 документа GSR

---

[9] Помощникам в аварийной ситуации не следует позволять предпринимать действия, которые могут привести к превышению получаемой ими эффективной дозы, составляющей 50 мЗв.

Part 3 [2]. Работницы, назначенные в качестве аварийных работников до возникновения аварийной ситуации и которые знают или подозревают, что они беременны, или которые кормят грудью во время аварийной ситуации, могут добровольно согласиться выполнять функции во время аварийной ситуации, если применяются положения пункта I.4 документа GSR Part 7 [30].

4.24. Организации, осуществляющие реагирование, и работодатели обязаны обеспечивать, чтобы аварийные работники, предпринимающие действия, в ходе которых полученные дозы могут превышать 50 мЗв (см. пункт 4.14 настоящего руководства по безопасности, пункт 4.17 документа GSR Part 3 [2] и пункт 5.57 документа GSR Part 7 [30]), делали это добровольно. Таких аварийных работников следует заранее четко и всесторонне информировать о связанных с этим рисках для здоровья, а также об имеющихся защитных мерах, и их следует обучать, насколько это возможно, действиям, которые они должны предпринимать. Принцип добровольности участия аварийных работников в осуществлении мер реагирования обычно оговаривается в противоаварийных мероприятиях.

4.25. Как правило, дозы, полученные работниками в аварийной ситуации, не являются основанием для прекращения дальнейшего профессионального облучения.

ОЦЕНКА ОБЛУЧЕНИЯ

4.26. Организациям, осуществляющим реагирование, и работодателям следует предпринимать все разумные меры для оценки и регистрации облучения, получаемого работниками в аварийной ситуации. После того, как оценена суммарная доза, полученная аварийными работниками по всем путям поступления облучения (включая ожидаемые дозы от поступления в организм), для ограничения дальнейшего облучения при реагировании на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию следует использовать руководящие материалы, приведенные в таблице 2 для эффективной дозы и ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы в ткани или органе. Дозы облучения аварийных работников при аварийном реагировании и облучения работников, подвергшихся аварийному облучению (см. пункт 4.2 d)), следует, по возможности, регистрировать отдельно от доз, получаемых в ходе текущей работы, но их следует регистрировать в записях профессионального облучения работников.

4.27. Степень точности, требуемая для любой оценки облучения, должна повышаться при увеличении уровня облучения, которое, вероятно, было получено работником. При управлении уровнями облучения аварийных работников категории 1, выраженными в виде дозы и непосредственно измеряемых величин, таких как мощность дозы или концентрация в воздухе, могут оказать помощь некоторые заранее подготовленные руководящие материалы. Мониторинг облучения аварийных работников следует проводить на индивидуальной основе с использованием средств, соответствующих ситуации, таких как саморегистрирующие дозиметры или дозиметры-сигнализаторы.

4.28. Во избежание путаницы всем организациям, осуществляющим реагирование, и работодателям следует составлять и вести регистрационные записи профессионального облучения в упрощенном стандартном формате. Информацию о полученных дозах и связанных с ними рисках для здоровья следует доводить до сведения задействованных аварийных работников.

4.29. Руководящие материалы, приведенные в пунктах 7.222 и 7.223, могут также быть актуальными для аварийных ситуаций.

МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ

4.30. Аварийным работниками и работникам, подвергшимся аварийному облучению, следует оказывать медицинскую помощь в соответствии с дозами, которые они могли получить (см. пункты 10.29–10.34). Если аварийный работник или работник, подвергшийся аварийному облучению, получил эффективную дозу, превышающую 100 мЗв в течение месяца, или если работник просит об этом, то в качестве основы для медицинского наблюдения и консультирования следует проводить скрининг с учетом эквивалентных доз для конкретных радиочувствительных органов. Хотя, как правило, не следует исключать дальнейшего профессионального облучения аварийного работника или работника, подвергшегося аварийному облучению, который получает дозы в ядерной или радиологической аварийной ситуации, все же в тех случаях, когда получена эффективная доза, превышающая 200 мЗв, перед допуском к работе, связанной с дальнейшим профессиональным облучением, следует получить квалифицированную медицинскую консультацию. Такую консультацию следует также предоставлять по просьбе работника. Подобные

квалифицированные медицинские консультации проводятся с целью оценки текущего состояния здоровья и профессиональной пригодности работника в соответствии с документами GSR Part 3 [2] и GSR Part 7 [30].

4.31. Особое внимание следует уделять тому, получил ли работник дозу, достаточную для того, чтобы вызвать серьезные детерминированные эффекты. Если доза, полученная работником, превышает пороговые значения для возникновения серьезных детерминированных эффектов, указанные в таблице IV.1 документа GSR Part 3 [2] и таблице II.1 документа GSR Part 7 [30], следует предпринять защитные меры и другие меры реагирования в соответствии с документом GSR Part 7 [30]. Такие меры могут включать:

a) проведение немедленного медицинского осмотра, консультации и показанного лечения;
b) проведение контроля радиоактивного загрязнения;
c) проведение немедленной декорпорации10 (в надлежащих случаях);
d) проведение регистрации с целью организации более длительного последующего медицинского наблюдения;
e) оказание комплексной психологической помощи.

4.32. Дополнительную информацию, касающуюся медицинского реагирования в аварийных ситуациях, можно найти в документах GSG-2 [31] и [32, 33].

5. ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ В СИТУАЦИЯХ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

5.1. Как указано в пункте 5.1(a) документа GSR Part 3 [2]:

«Требования, относящиеся к ситуациям существующего облучения ..., применяются к:

[10] Декорпорация — это биологические процессы, осуществляемые с помощью химических или биологических агентов, благодаря которым из организма человека удаляются инкорпорированные радионуклиды.

a) облучению, обусловленному радиоактивным загрязнением территорий остаточным радиоактивным материалом, образовавшимся в результате:
   i) деятельности в прошлом, которая никогда не была под регулирующим контролем или которая была охвачена регулирующим контролем, но не в соответствии с требованиями настоящих Норм;
   ii) ядерной или радиологической аварийной ситуации после объявленного окончания ситуации аварийного облучения….».

5.2. Облучение, о котором говорится в пункте 5.1, может создаваться непосредственно самим остаточным радиоактивным материалом или может поступать косвенно от потребительских товаров, в которые инкорпорированы радионуклиды, содержавшиеся в остаточном радиоактивном материале. К таким товарам относятся продовольствие, корма, питьевая вода и строительные материалы. Радионуклидами в остаточном радиоактивном материале могут быть радионуклиды искусственного происхождения или радионуклиды природного происхождения.

5.3. Источником радиоактивного загрязнения территорий могут также быть установки и виды деятельности, подлежащие регулирующему контролю на основе требований для ситуаций планируемого облучения, а также санкционированная деятельность, такая как сбросы, обращение с радиоактивными отходами и вывод из эксплуатации. Ситуация облучения в результате такого радиоактивного загрязнения контролируется как часть общей практической деятельности и поэтому является ситуацией планируемого облучения, а не ситуацией существующего облучения.

5.4. С точки зрения пункта 5.1(c) документа GSR Part 3 [2], требования для ситуаций существующего облучения также применяются, вообще говоря, к облучению, связанному с природными источниками, в тех случаях, когда такое облучение не исключено из области применения документа GSR Part 3 [2] (см. пункт 2.4 настоящего руководства по безопасности). К природным источникам относятся:

a) материалы (в природном или переработанном состоянии), в которых все радионуклиды по существу имеют природное происхождение;
b) ^{222}Rn и ^{220}Rn наряду с их дочерними продуктами, как указано в пункте 3.161;
c) космическое излучение.

5.5. Меры по предотвращению или уменьшению доз, которые в противном случае могли бы иметь место в ситуации существующего облучения, могут принимать форму восстановительных или защитных мер:

a) восстановительные меры в ситуации существующего облучения включают удаление источника или уменьшение его активности или величины. Примером восстановительных мер является удаление остаточного радиоактивного материала с загрязненной площадки;
b) защитные меры в ситуации существующего облучения включают меры, которые воздействуют на пути поступления облучения, а не на сам источник. Примерами защитных мер являются контроль доступа к загрязненной площадке и ограничения на использование загрязненной воды в питьевых целях.

5.6. Категориями облучения в ситуациях существующего облучения являются профессиональное облучение и облучение населения. При рассмотрении профессионального облучения можно выделить две группы подвергающихся облучению работников:

a) работники, которые подвергаются облучению при проведении восстановительных мероприятий. Облучение этих работников может возрастать непосредственно в результате их работы (т.е. когда такие действия связаны с обращением, транспортировкой или удалением остаточного радиоактивного материала);
b) работники, которые подвергаются облучению в ситуации существующего облучения, но которые не проводят никаких восстановительных мероприятий. Облучение этих работников может в конечном счете быть уменьшено в результате принятия восстановительных или защитных мер.

5.7. Предполагается, что дозы, получаемые в ситуациях существующего облучения, оказываются значительно ниже порогового уровня для возникновения детерминированных эффектов для здоровья. Поэтому стохастические эффекты для здоровья являются единственными последствиями для здоровья, которые следует принимать во внимание.

СТРАТЕГИИ ЗАЩИТЫ

5.8. Согласно пунктам 5.2 и 5.3 документа GSR Part 3 [2], правительство имеет определенные обязанности в отношении ситуаций существующего облучения. Необходимо обеспечивать выявление и оценку ситуаций существующего облучения с целью определения того, какие виды облучения (включая профессиональное облучение) представляют интерес с точки зрения радиационной защиты. Необходимо также предусмотреть в нормативно-правовой базе положение по регулированию соответствующего облучения, включая распределение обязанностей по обеспечению защиты и безопасности, установление надлежащих критериев защиты и безопасности в виде контрольных уровней (см. пункты 5.19–5.23) и принятие решений о снижении облучения посредством применения восстановительных и/или защитных мер.

5.9. В тех случаях, когда принимается решение о необходимости снижения облучения, необходимо разработать соответствующие стратегии защиты. Официальное положение о разработке и осуществлении стратегий защиты должно быть предусмотрено правительством в нормативно-правовой базе, включая следующее:

a) конкретизацию общих принципов, лежащих в основе стратегий защиты;
b) возложение обязанностей по разработке и осуществлению стратегий защиты на регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган (например, орган здравоохранения или агентство по охране окружающей среды)[11] и на стороны, участвующие в процессе осуществления;
c) положение об участии заинтересованных сторон в процессе принятия решений, в зависимости от обстоятельств.

5.10. Что касается дифференцированного подхода (см. пункт 2.20), то правительству совместно с регулирующим органом или другим соответствующим компетентным органом, указанным в пункте 5.9(b), следует обеспечивать, чтобы стратегии защиты для ситуаций существующего облучения соответствовали связанным с ними радиационным рискам.

---

[11] Может быть задействовано более одного компетентного органа, и в этом случае термин «компетентный орган» означает систему компетентных органов.

5.11. С учетом пункта 5.4 документа GSR Part 3 [2] регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган должен обеспечивать, чтобы в стратегии защиты для конкретной ситуации существующего облучения были определены цели, которые должны быть достигнуты, и чтобы она включала соответствующие контрольные уровни (см. пункты 5.19–5.23).

5.12. Для достижения целей стратегии защиты в конкретной ситуации существующего облучения, как правило, будут доступны различные восстановительные и защитные меры. С учетом пункта 5.5 документа GSR Part 3 [2] регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган при осуществлении стратегии защиты должен осуществлять мероприятия по оценке этих восстановительных мер и защитных мер. Эта оценка будет включать оценку эффективности мер, которые в конечном счете планируются и осуществляются.

5.13. Регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган при осуществлении стратегии защиты должен обеспечивать доступность для лиц, подвергающихся облучению, информации о потенциальных рисках для здоровья, связанных с облучением, и об имеющихся средствах уменьшения облучения и связанных с ним рисков.

ОБОСНОВАНИЕ

5.14. Регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует разработать стратегию защиты для конкретной ситуации существующего облучения в соответствии с принципом обоснования. Это означает, что рассматривать с точки зрения включения в стратегию защиты следует только те восстановительные меры и/или защитные меры, которые, как ожидается, принесут достаточную пользу, перевешивающую ущерб, связанный с их принятием, включая ущерб в виде радиационных рисков, затраты на такие меры и любой вред или ущерб, причиненный этими мерами.

5.15. В ущерб в виде радиационных рисков, которые необходимо учитывать в процессе обоснования, следует включать облучение работников, участвующих в принятии любых восстановительных мер.

ОПТИМИЗАЦИЯ

Общий подход

5.16. Регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу и другим сторонам, ответственным за разработку стратегии защиты, следует обеспечивать, чтобы форма, масштабы и продолжительность восстановительных и защитных мер были оптимизированы (т.е. они обеспечат максимальную чистую пользу, поскольку все виды облучения контролируются на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических, социальных и экологических факторов). Реализация оптимизированной стратегии защиты не обязательно приведет к наибольшему снижению дозы, поскольку снижение дозы является лишь одним из нескольких атрибутов, учитываемых в процессе оптимизации.

5.17. Как и в случае процесса обоснования (см. пункты 5.14 и 5.15), в ущерб в виде радиационных рисков, которые необходимо учитывать в процессе оптимизации, следует включать облучение работников, участвующих в любых восстановительных мероприятиях.

5.18. Оптимизация защиты в ситуации существующего облучения достигается путем:

a) оценки ситуации облучения, включая любое потенциальное облучение;
b) выявления возможных вариантов защиты, выраженных в виде обоснованных восстановительных мер и/или защитных мер;
c) выбора наилучшего варианта в сложившихся обстоятельствах;
d) осуществления выбранного варианта.

Контрольные уровни

5.19. В процессе оптимизации следует использовать контрольный уровень. Он представляет собой уровень дозы, при превышении которого считается нецелесообразным допускать планируемое облучение. При рассмотрении различных возможных восстановительных мер и защитных мер контрольный уровень служит верхней границей диапазона рассматриваемых вариантов; это обеспечит, что оптимизированная стратегия защиты будет направлена на снижение доз до некоторого значения ниже контрольного уровня.

5.20. Контрольный уровень также служит инструментом для определения приоритетности осуществления восстановительных и защитных мер. При выявлении ситуации существующего облучения фактические уровни облучения могут быть выше или ниже контрольного уровня. Хотя процесс оптимизации призван обеспечивать оптимизированную защиту всех лиц, подвергающихся облучению, приоритет следует отдавать группам, получающим дозы выше контрольного уровня, путем принятия всех разумных мер для снижения этих доз до уровня ниже контрольного.

5.21. Контрольные уровни обычно выражаются в виде годовой эффективной дозы облучения типичного представителя, лежащей в диапазоне 1–20 мЗв. Однако контрольные уровни облучения от радона выражаются в виде среднегодовой концентрации радона в воздухе.

5.22. Контрольный уровень для конкретной ситуации существующего облучения следует устанавливать правительству или регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу, действующему от имени правительства. Значение следует выбирать с учетом всех соответствующих факторов, включая:

a) характер облучения и практическую возможность уменьшения облучения;
b) социальные последствия;
c) национальные или региональные факторы;
d) опыт управления аналогичными ситуациями в прошлом;
e) международные руководящие материалы и передовую практику в других местах.

5.23. Регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует периодически рассматривать контрольные уровни с целью убедиться, что они сохраняют актуальность в свете сложившихся обстоятельств.

ОБЛУЧЕНИЕ, ВОЗНИКАЮЩЕЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕР НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОСТАТОЧНЫМ РАДИОАКТИВНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Применение требований по обеспечению защиты и безопасности

5.24. Как указано в пункте 5.6 (a), работники, осуществляющие восстановительные меры в связи с территориями, загрязненными остаточным радиоактивным материалом, могут подвергаться повышенному облучению в результате такой деятельности, как обращение, транспортировка или удаление остаточного радиоактивного материала. Как указано в пункте 5.26 документа GSR Part 3 [2], работодатели таких работников должны обеспечивать контроль облучения работников согласно соответствующим требованиям для ситуаций планируемого облучения, установленным в разделе 3 документа GSR Part 3 [2]. Поэтому в отношении таких работников применимы руководящие материалы, приведенные в разделе 3 настоящего руководства по безопасности. Актуальны также руководящие материалы, изложенные в пунктах 5.38, 5.39 и 5.42–5.44.

5.25. Как указано в пункте 5.6 (b), работники, которые не участвуют в восстановительных мероприятиях, могут, тем не менее, подвергаться облучению в ситуации существующего облучения в результате наличия на их рабочих местах уровней облучения, связанных с остаточным радиоактивным материалом. Облучение таких работников также подлежит контролю в том смысле, что такое облучение может быть уменьшено в результате принятия восстановительных мер. Требования в отношении обеспечения защиты и безопасности, в соответствии с которыми осуществляется этот контроль, аналогичны требованиям в отношении контроля облучения лиц из населения в ситуациях существующего облучения. Поэтому облучение подобных работников контролируется так, как если бы они были лицами из населения. Руководящие материалы по уменьшению облучения путем принятия восстановительных мер, а также относительно любой необходимой деятельности после их осуществления приводятся в пунктах 5.28–5.44. Более подробные руководящие материалы содержатся в Серии норм безопасности МАГАТЭ № WS-G-3.1 «Восстановление территорий, загрязненных в результате прошлой деятельности и аварий» [34].

Стратегии защиты

5.26. При разработке стратегий защиты территорий, загрязненных остаточным радиоактивным материалом, регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует осуществлять мониторинг или обследование всех загрязненных или потенциально загрязненных территорий, с тем чтобы можно было выявить территории, требующие принятия восстановительных мер и/или защитных мер, и определить соответствующие контрольные уровни. Необходимо будет привлечь ряд правительственных и частных организаций, и следует предусмотреть связь между ними и их вклад в этот процесс. Следует учитывать любые возможные последствия для соседних государств.

5.27. Регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует установить критерии безопасности для разработки и осуществления стратегий защиты, включая критерии и методы оценки эффективности любых восстановительных мер и критерии, определяющие условия в конечных точках восстановления.

Организационные мероприятия в связи с восстановительными мерами

5.28. Следует обеспечивать, чтобы организационные мероприятия в связи с восстановительными мерами, механизмы финансирования и функции и обязанности, включая нормативно-правовую базу, соответствовали руководящим материалам, содержащимся в документе WS-G-3.1 [34].

Функции и обязанности

5.29. Поскольку в восстановительных мероприятиях на загрязненной территории могут участвовать несколько субъектов, включая лиц, которые могут быть незнакомы с требованиями радиационной защиты и безопасности, функции и обязанности различных сторон, участвующих в процессе реабилитации, следует четко определить в нормативно-правовой базе. В частности, следует уточнить обязанности по защите работников при планировании и осуществлении программы реабилитации.

5.30. Следует четко указывать лиц или организации, ответственные за предоставление надлежащих людских ресурсов, оборудования и вспомогательной инфраструктуры для радиационной защиты при профессиональном облучении при проведении восстановительных работ.

Вопросы регулирования

5.31. Нормативно-правовая база, при необходимости подкрепляемая руководящими материалами, должна обеспечивать надлежащую защиту отдельных лиц (включая работников) и окружающей среды при проведении восстановительных работ.

5.32. Защитные меры в форме введения ограничений в отношении использования соответствующих территорий или доступа к ним следует рассматривать до проведения восстановительных мероприятий, во время их осуществления и в надлежащих случаях после их завершения. Основу для установления таких ограничений следует предусматривать в нормативно-правовой базе.

5.33. Процесс регулирования ситуаций реабилитации предполагает нечто большее, чем просто радиационную защиту. Другие законы и регулирующие положения, охватывающие такие вопросы, как гигиена труда и техника безопасности, охрана окружающей среды, землепользование и стандарты в области продовольствия и питьевой воды, вероятно, будут осуществляться различными государственными органами. Эти другие законы и регулирующие положения следует применять в надлежащих случаях для разработки согласованного подхода к регулированию.

Программа восстановительных мероприятий

5.34. Восстановление территории, подвергшейся радиоактивному заражению, включает предварительную радиологическую оценку ситуации, подготовку и утверждение плана восстановительных мероприятий, сами восстановительные работы и обращение с радиоактивными отходами, возникающими в результате проведения восстановительных работ. При предварительной радиологической оценке следует надлежащим образом описать характер проблемы и связанные с ней вопросы, касающиеся радиационной защиты работников.

5.35. В рамках разработки плана восстановительных мероприятий следует рассмотреть, в частности, следующие аспекты, касающиеся защиты работников:

a) определение характера и масштабов радиоактивного загрязнения;
b) определение путей облучения работников;
c) оценка индивидуальных доз по всем путям облучения;

d) оценка вопросов охраны здоровья и техники безопасности при проведении восстановительных работ, включая использование соответствующих средств индивидуальной защиты.

5.36. Порядок обследования характеристик площадки определяется условиями на данной территории, типом и масштабами радиоактивного загрязнения на площадке и имеющимися ресурсами. Следует обеспечивать выбор наиболее подходящих приборов и методов отбора проб и измерений, а также уделение надлежащего внимания калибровке приборов и регистрации данных (см. раздел 7). Сбор данных, скорее всего, потребует измерений гамма-излучения в окружающей среде, а также сбора и измерения проб поверхностного и приповерхностного грунта, находящихся в воздухе радиоактивных материалов, воды и биоты.

5.37. Следует обосновывать и оптимизировать восстановительные меры и защитные меры, которые должны быть приняты (см. пункты 5.14–5.23). Приоритет следует отдавать ситуациям, в которых превышен применимый контрольный уровень (см. пункт 5.20). Решения в отношении восстановительных мер и защитных мер следует принимать с участием соответствующих заинтересованных сторон, занимающихся ситуацией радиоактивного загрязнения. При рассмотрении вопросов защиты и безопасности следует учитывать интересы будущих поколений, а также нынешнего поколения, включая работников.

5.38. В процессе обоснования к позитивным факторам восстановительных мероприятий, которые следует принимать во внимание, относятся не только возможное снижение индивидуальных доз и коллективных доз, но также и ожидаемое уменьшение тревожности людей, включая работников. К негативным факторам, которые следует принимать во внимание, относятся не только прямые финансовые затраты на восстановительные мероприятия, но и социально-экономические издержки, воздействие восстановительных работ на здоровье людей и окружающую среду (включая радиационные риски для работников, выполняющих такие работы) и разрушительное воздействие восстановительных работ на общество. Хотя общая цель заключается в уменьшении доз, получаемых отдельными лицами, сами восстановительные работы могут временно приводить к получению дополнительных доз. Такие дополнительные дозы следует обосновывать на основе полученной чистой пользы, включая учет последующего уменьшения годовой дозы.

5.39. В процессе оптимизации восстановительные меры и защитные меры следует оптимизировать в соответствии с таким же общим подходом, как тот, который используется для оптимизации защиты в ситуациях планируемого облучения (см. пункты 3.8–3.33), при этом роль контрольного уровня в некоторых отношениях эквивалентна роли граничной дозы в ситуациях планируемого облучения. Оптимальный характер, масштабы и продолжительность восстановительных мер и защитных мер следует выбирать из набора обоснованных вариантов реабилитации. При выборе оптимизированного варианта восстановительных мероприятий следует учитывать радиологические последствия для людей и окружающей среды наряду с нерадиологическими последствиями, а также техническими, социальными и экономическими факторами. Следует также учитывать факторы, связанные с обращением с радиоактивными отходами. К ним относятся затраты (включая транспортные расходы), связанные с обращением с отходами, облучение и риски для здоровья работников, занимающихся обращением с отходами, и любое последующее облучение, связанное с обращением с отходами. В некоторых случаях одним из результатов процесса оптимизации восстановительных мероприятий может оказаться введение определенных ограничений в отношении использования населенных территорий, и в этом случае следует продолжать применение институционального контроля с целью обеспечить соблюдение этих ограничений.

5.40. В план восстановительных мероприятий следует включать программу мониторинга с целью обеспечить сбор всей необходимой информации о радиационной обстановке до, во время и после процесса реабилитации. С целью обеспечения надлежащей документации в рамках программы восстановительных мероприятий система ведения документации должна также являться частью плана восстановительных мероприятий, и в нее следует включать:

a) описания выполненных работ;
b) данные программ мониторинга и наблюдения;
c) документацию по гигиене труда и технике безопасности для участников восстановительных мероприятий;
d) документацию по видам и количествам образующихся радиоактивных отходов и обращению с ними;
e) данные мониторинга окружающей среды;
f) документацию по финансовым расходам;
g) документацию об участии заинтересованных сторон;
h) документацию о любых сохраняющихся обязанностях на площадке;

i) указание участков, которые были восстановлены, и участков с остаточным радиоактивным загрязнением;
j) спецификации любых зон, доступ в которые по-прежнему ограничен, и действующие ограничения;
k) заявления о любых зональных или договорных ограничениях или условиях;
l) заявления об извлеченных уроках.

5.41. Следует разработать процедуры для обеспечения того, чтобы регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган получал информацию о любых аномальных условиях, имеющих отношение к защите и безопасности. Следует постоянно информировать частных лиц, включая работников, а сторонам, которых затрагивает ситуация, следует участвовать в планировании, осуществлении и проверке восстановительных мер, а также в любом мониторинге и наблюдении после реабилитации. План восстановительных мероприятий, подкрепленный предварительной радиологической оценкой, следует представлять на утверждение регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу. Его утверждение, в зависимости от обстоятельств, может включать выдачу разрешения в форме регистрации или лицензии, как может потребоваться в случае ситуации планируемого облучения (см. пункт 3.3).

Принятие восстановительных мер

5.42. На протяжении всего периода принятия восстановительных мер ответственное лицо или организация должны нести общую ответственность за обеспечение защиты и безопасности даже в тех случаях, когда для выполнения конкретных задач или функций используются подрядчики. Эта общая ответственность включает ответственность за обеспечение защиты и безопасности при перевозке, обработке, хранении и захоронении радиоактивных отходов, образующихся при проведении восстановительных работ. Проведение (и представление регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу на утверждение) оценки безопасности и, в соответствующих случаях, экологической оценки, а также любых последующих оценок является частью этой ответственности. Как поясняется в пункте 5.24, хотя восстановительные меры принимаются в ситуации существующего облучения, облучение работников, выполняющих восстановительные работы, следует контролировать согласно

соответствующим требованиям в отношении профессионального облучения в ситуациях планируемого облучения. Это налагает на работодателя работников различные обязательства, такие как:

a) подготовка и применение соответствующих процедур обеспечения защиты и безопасности;
b) применение надлежащей инженерно-технической практики;
c) обеспечение надлежащей подготовки, квалификации и компетентности персонала;
d) обеспечение интеграции защиты и безопасности в общую систему менеджмента.

5.43. Если работодатель работников, занятых восстановительными работами, является внешним подрядчиком, лицу или организации, отвечающей за принятие восстановительных мер, следует сотрудничать с этим работодателем в той мере, в какой это необходимо для соблюдения обеими сторонами применимых требований в отношении защиты и безопасности (см. пункты 6.21–6.100).

5.44. Во время осуществления восстановительных мер регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган несет ответственность за проверку повседневного соблюдения регулирующих требований, включая требования по защите от профессионального облучения. Эта проверка соблюдения включает проведение регулярных инспекций и рассмотрение рабочих процедур, программ мониторинга и результатов мониторинга. Существуют также обязанности, связанные с нестандартными вопросами, включая правоприменительные меры в случае несоблюдения; реагирование (при необходимости) на сообщения об аномальных событиях; и рассмотрение и утверждение любых изменений процедур, оборудования или самого плана восстановительных мероприятий, когда такие изменения могут иметь значительные последствия с точки зрения радиологических соображений для работников, населения или окружающей среды.

ОБЛУЧЕНИЕ РАДОНОМ

Пути облучения

5.45. В природе уран встречается в горных породах и в грунте. Распад ^{226}Ra в цепочке распада ^{238}U приводит к образованию изотопа радона ^{222}Rn, инертного радиоактивного газа природного происхождения с периодом

полураспада 3,8 суток. Часть этого газообразного радона выделяется в воздух, а часть растворяется в подземных водах. Наиболее высокие концентрации ^{222}Rn в воздухе обнаруживаются в замкнутых пространствах, причем их уровни зависят от скорости проникновения и уровня вентиляции. Облучение людей при воздействии ^{222}Rn и его короткоживущих дочерних продуктов (^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi и ^{214}Po) происходит главным образом при вдыхании воздуха, что приводит к дозе облучения в легких. С самим ^{222}Rn связан только приблизительно 1% дозы в легких, поскольку большая часть вдыхаемого газа выдыхается. Доза поступает почти полностью от короткоживущего дочернего продукта, атомы которого присоединяются к ядрам конденсации и частицам пыли, присутствующим в воздухе. Эти частицы, а также несвязанные частицы осаждаются вдоль различных дыхательных путей бронхиального дерева. Облучение легких вызывается главным образом альфа-частицами, испускаемыми короткоживущим дочерним продуктом, даже несмотря на определенную эмиссию бета-частиц и гамма-излучения. Облучение при пероральном поступлении ^{222}Rn по пути поступления через подземные воды вряд ли будет иметь существенное значение с точки зрения радиационной защиты при профессиональном облучении.

5.46. Аналогичная ситуация наблюдается в отношении тория в горных породах и грунте, когда распад ^{232}Th приводит к образованию газообразного изотопа ^{220}Rn (обычно называемого тороном). Однако облучение от ^{220}Rn и его короткоживущих дочерних продуктов вряд ли будет будет иметь значение в ситуациях существующего облучения, поскольку период полураспада ^{220}Rn (56 с) намного короче, чем у ^{222}Rn. Вдыхание ^{220}Rn и его дочернего продукта работниками при добыче и переработке полезных ископаемых с высоким содержанием тория может приводит к значимым уровням облучения. Однако в таких ситуациях эти уровни облучения будут контролироваться как ситуация планируемого облучения наряду с облучением от других радионуклидов в цепочке распада ^{232}Th (см. пункт 3.169). Поэтому использование термина «радон» в настоящем документе относится только к изотопу ^{222}Rn.

Концентрации радона

Здания

5.47. В зданиях накопление радона в воздухе происходит главным образом в результате попадания радона непосредственно из подстилающего грунта в цоколь через трещины в полу. В умеренных зонах воздух внутри зданий, как

правило, находится под несколько более низким давлением, чем наружный воздух, вследствие того, что воздух внутри здания теплее воздуха снаружи. Это вызывает конвективный поток, который вместе с воздействием ветра, дующего через дымоходы и другие отверстия, втягивает в здание почвенный газ и, следовательно, радон. Помимо перепадов давления, на концентрацию радона в зданиях могут влиять и другие факторы, такие как относительная влажность и влажность почвы.

5.48. Накопление радона в зданиях также происходит, но, как правило, в меньшей степени, путем высвобождения радона из строительных материалов в воздух внутри здания, особенно если такие материалы являются пористыми и имеют повышенные концентрации ^{226}Ra. Водоснабжение может также служить путем поступления радона в воздух внутри зданий, хотя концентрации радона в сетях хозяйственного водоснабжения, как правило, довольно низки, за исключением, возможно, случаев, когда источником являются подземные воды. На накопление радона в зданиях, являющихся рабочими местами, может также влиять присутствие минералов и сырья, содержащих повышенные концентрации радионуклидов в цепочке распада ^{238}U, хотя это влияние, как правило, довольно незначительно, если имеется достаточная вентиляция (см. пункт 3.172).

5.49. Концентрации радона в помещениях в различных странах неодинаковы ввиду различий в геологии, климате, строительных материалах, методах строительства, типах обеспечиваемой вентиляции (естественной или иной) и бытовых привычках. Внутри стран могут наблюдаться заметные региональные различия. Данные о концентрациях радона в помещениях по всему миру приведены в [35]. Средние арифметические значения, представленные для различных стран, варьируются от 7 Бк/м^3 до 200 Бк/м^3. Сообщаемые средние арифметические значения на участках с высоким фоном находятся в диапазоне 112–2745 Бк/м^3. В некоторых частях Северной Европы сообщается о максимальных значениях до 84000 Бк/м^3. Взвешенное на численность населения среднее арифметическое значение по всему миру представлено как 39 Бк/м^3.

Подземные рабочие места

5.50. Наиболее высокие концентрации радона, как правило, наблюдаются на подземных рабочих местах. К таким рабочим местам относятся подземные рудники, тоннели, подвальные хранилища и стоянки, подземные сооружения для очистки и распределения воды, пещеры, бывшие

шахты, открытые для населения, и курорты. На таких рабочих местах существует множество границ раздела, через которые может происходить значительное поступление радона в воздух, и могут существовать практические ограничения интенсивности вентиляции, которая может быть обеспечена. В некоторых подземных рудниках, включая некоторые из тех, где концентрации ^{226}Ra в породе существенно не повышены, высокие концентрации радона возникают в результате попадания радона через подземные воды и его последующего высвобождения в атмосферу рудника. Аналогичная ситуация может иметь место в подземных сооружениях для очистки и распределения воды.

5.51. Сообщается, что концентрации радона варьируются от 20 Бк/м^3 до более чем 20000 Бк/м^3 на рабочих местах в пещерах и подземных рудниках, открытых для населения, и от около 200 Бк/м^3 до 7000 Бк/м^3 на рабочих местах в тоннелях [36]. Значительно более высокие значения были обнаружены на некоторых действующих подземных рудниках, особенно на урановых рудниках.

Применение требований по обеспечению защиты и безопасности

5.52. Как и в случае любого другого облучения, связанного с природными источниками, профессиональное облучение радоном подпадает под требования для ситуаций существующего облучения (пункт 5.1(c)(i) документа GSR Part 3 [2]). Однако требования для ситуаций планируемого облучения будут применяться в определенных ситуациях, как указано в пункте 3.161.

5.53. Профессиональное облучение радоном, как правило, имеет значение только на закрытых рабочих местах, таких как здания и подземные шахты. Профессиональное облучение радоном на открытом воздухе, как правило, не является проблемой, за исключением, возможно, карьеров в определенных атмосферных условиях.

Определение рабочих мест, на которых облучение радоном является важным

5.54. Правительству следует обеспечивать сбор информации о концентрациях радона в помещениях, включая концентрации на рабочих местах. Поскольку измерение концентраций радона на каждом рабочем месте не представляется возможным, обследования следует планировать и проводить таким образом, чтобы собранная информация

была достаточно репрезентативной для страны в целом, аналогично обследованиям содержания радона в жилых домах. Для этого необходимо, чтобы обследования были, насколько это возможно, систематическими и беспристрастными. Географические соображения часто будут служить хорошим общим руководством для выявления территорий, на которых концентрации радона, вероятно, будут выше среднего. Однако такой подход сам по себе имеет ограничения, поскольку взаимосвязи между концентрацией радона в помещениях и геологическими параметрами, такими как пористость почвы и концентрация урана и радия, являются сложными. Тем не менее геологические соображения могут использоваться для интерполяции результатов обследования и могут быть полезны для уточнения при определении соответствующих территорий.

5.55. Концентрации радона, измеренные на надземных рабочих местах, могут внести важный вклад в определение территорий, подверженных воздействию радона, в случае жилых помещений или наоборот, поскольку, вероятно, территории, подверженные воздействию радона, в случае надземных рабочих мест совпадут с территориями, склонными к наличию облучения радоном, в случае жилых помещений[12].

5.56. После того как данные измерений будут собраны, правительству следует обеспечить, чтобы анализ данных привел к выявлению любых рабочих мест, на которых облучение радоном имеет значение. Если таких ситуаций нет, никаких дальнейших действий не требуется. С другой стороны, если выявлены уровни облучения, вызывающие озабоченность, правительству следует обеспечить включение мер в отношении облучения на рабочих местах в общий национальный план действий по радону в помещениях. План действий следует согласовать с ситуацией облучения и адаптировать к национальным условиям.

---

[12] Территория, подверженная воздействию радона, представляет собой территорию, в которой в силу характеристик грунта или конструкции и использования зданий процентная доля зданий с концентрацией ^{222}Rn выше некоторого заранее определенного уровня (вероятнее всего, применимого контрольного уровня) превышает пороговый процентный уровень, установленный регулирующим органом или другим соответствующим компетентным органом.

План действий

5.57. В национальном плане действий по облучению радоном в помещениях, включая облучение на рабочих местах, следует предусматривать средства для определения восстановительных мер с целью решения проблем облучения, вызывающего озабоченность. В нем также следует предусматривать обеспечение предоставления в рамках соответствующих кампаний работодателям, работникам и лицам из населения, а также другим заинтересованным сторонам, таким, как профессиональные органы, соответствующей информации об облучении радоном. Цель этих информационных кампаний должна заключаться в обмене ключевыми выводами национальных обследований и углублении понимания проблемы радона, потенциальных рисков для здоровья и простых мер, которые могут быть приняты для уменьшения рисков. Поскольку курение является весьма распространенной причиной рака легких, следует подчеркивать повышенные риски, связанные с курением и радоном.

5.58. Для уровней облучения на рабочих местах, которые определены как вызывающие озабоченность, в плане действий следует указать ряд скоординированных действий для решения проблемы концентраций радона на существующих рабочих местах и будущих рабочих местах.

5.59. Можно сосредоточить усилия на контроле радона путем выявления «зданий, подверженных воздействию радона». Такие здания могут быть идентифицированы на основе определенных характеристик конструкции, строительных материалов или методов строительства, которые могут приводить к повышенным концентрациям радона.

Контрольные уровни

5.60. При разработке плана действий следует устанавливать соответствующие контрольные уровни радона на рабочих местах с учетом преобладающих социально-экономических условий. Как правило, контрольный уровень для рабочих мест должен устанавливаться на уровне, не превышающем среднегодовую концентрацию радона 1000 Бк/м^3 (пункт 5.27 документа GSR Part 3 [2]). Это значение соответствует годовой эффективной дозе порядка 10 мЗв, исходя из коэффициента равновесия 0,4 и годового периода пребывания в помещении 2000 часов. Практическое преимущество заключается в принятии единого значения контрольного уровня, которое применяется ко всем рабочим местам независимо от коэффициента равновесия. Тем не менее, если значение

коэффициента равновесия значительно отличается от вышеуказанного, могут использоваться и другие значения контрольного уровня, что может иметь место, например, в некоторых подземных рудниках. Выбор соответствующего контрольного уровня является сложной задачей — его значение следует определять, проявляя большую осторожность и принимая во внимание не только уровень облучения, но и вероятные масштабы принимаемых восстановительных мер, поскольку это имеет экономические последствия для промышленности и государства в целом. В зданиях с высокими коэффициентами заполняемости лицами из населения, таких как детские сады, школы и больницы, облучение всех находящихся в них лиц контролируется с использованием контрольного уровня для жилых домов (пункт 5.20 документа GSR Part 3 [2]).

Восстановительные меры на рабочих местах

5.61. На рабочих местах, определенных в плане действий, могут потребоваться дополнительные, более подробные измерения концентраций радона. Ответственность за организацию проведения этих измерений и принятие любых последующих восстановительных мер лежит на соответствующем работодателе. Работодателю следует иметь возможность получения экспертных рекомендаций относительно восстановительных мер. Возможно, было бы целесообразно, чтобы регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган предоставлял письменные руководящие материалы в соответствии с национальной строительной практикой.

5.62. Работодателю следует обеспечивать, чтобы концентрации радона на рабочих местах находились на разумно достижимом низком уровне с уделением первоочередного внимания тем рабочим местам, на которых превышен контрольный уровень. На некоторых рабочих местах, особенно на подземных рудниках, могут наблюдаться значительные колебания пространственной и временной концентрации радона. Это следует учитывать при определении того, превышен ли контрольный уровень.

5.63. Если, несмотря на все разумные усилия работодателя по снижению концентраций радона на рабочем месте, такие концентрации по-прежнему превышают контрольный уровень, будут применяться соответствующие требования к профессиональному облучению в ситуациях планируемого облучения (см. пункт 3.161(b)). Этот результат маловероятен, за

исключением некоторых подземных рудников, где могут существовать практические пределы, касающиеся ограничения поступления радона в воздух и интенсивности обеспечиваемой вентиляции (см. пункт 3.176).

Методы снижения концентрации радона в зданиях

Снижение давления под полами

5.64. Для фундаментов и оснований, соприкасающихся с грунтом, наиболее эффективным направлением действий по снижению концентраций радона является снижение давления почвенного газа в непосредственной близости от фундамента относительно давления в сооружении. Это может быть достигнуто путем установки системы труб, ведущих из грунта под фундамент, которая поддерживает отрицательный градиент давления между грунтом и фундаментом. При этом почвенный газ, содержащий радон, может безвредно выбрасываться в атмосферу. Там, где это возможно, желательно создавать в фундаментах небольшую и простую полость или отстойник, к которым может быть подключена система труб. Для зданий с обширными и сложными фундаментами может потребоваться ряд таких систем снижения давления.

Подпольная вентиляция

5.65. Если первый этаж не соприкасается с грунтом, количество радона, поступающего в сооружение, может быть уменьшено путем вентиляции пространства под полом. Это может быть достигнуто путем усиления естественной вентиляции или установки вентилятора, который удаляет воздух из-под пола и заменяет его наружным воздухом.

Уплотнение пола и мембраны

5.66. Поскольку большая часть радона, поступающего из почвы, поступает через трещины и другие отверстия в полу, концентрации радона в помещениях можно снизить, перекрыв такие пути проникновения. Однако этот подход, как правило, менее эффективен, чем снижение давления и вентиляция, поскольку трудно надлежащим образом герметизировать все пути проникновения, а уплотнения со временем ухудшаются. Его можно использовать в качестве дополнительной меры для повышения эффективности мер по снижению давления или вентиляции под полом. Высокопрочные пластиковые мембраны, встроенные в фундаменты, могут выступать в качестве эффективных радоновых барьеров при условии, что

все соединения надлежащим образом герметизированы, а герметичность мембран не нарушается во время монтажа. Однако дооборудовать ими существующие здания не представляется возможным.

Повышение интенсивности вентиляции

5.67. Радон в помещениях может быть разбавлен посредством повышения интенсивности вентиляции наружным воздухом. Такой подход может оказаться дорогостоящим с точки зрения энергозатрат, особенно в жарком или холодном климате. Энергозатраты могут быть уменьшены с помощью теплообменников, но это сопряжено со значительными капитальными, эксплуатационными расходами и расходами на техническое обслуживание. В некоторых конструкциях повышение интенсивности вентиляции может фактически приводить к повышению концентраций радона в помещениях вследствие увеличения отрицательного перепада давления между воздухом в помещениях и почвенным газом.

Удаление подстилающего грунта

5.68. Повышенные концентрации радона в помещениях иногда обусловлены высокими концентрациями ^{226}Ra в грунте под зданием или вокруг него. В таких ситуациях концентрации радона в помещениях могут быть снижены путем удаления подстилающего грунта и замены их незагрязненным грунтом. Это объемная работа, и ее следует выполнять только в тех случаях, когда нет простых вариантов.

Обработка воды

5.69. В тех немногих ситуациях, когда вода, используемая в здании, является значительным источником радона в помещении, может оказаться эффективной предварительная обработка воды путем аэрации. Может также быть использована фильтрация с помощью активированного угля, но она, вероятно, будет менее эффективной. Хотя аэрация воды способна снизить концентрации радона в зданиях, в которые она подается, она может усугубить проблему на муниципальных водоочистных сооружениях, где она производится. На любых водоочистных сооружениях следует обеспечивать хорошую вентиляцию воздушных пространств часто посещаемых зон, с тем чтобы предотвратить накопление радона с высокими концентрациями. На очистных сооружениях, перерабатывающих подземные воды с высокими концентрациями радона, одних лишь таких мер может оказаться недостаточно, и может оказаться необходимым ограничивать сроки

пребывания работников установки в зонах с высокими концентрациями радона. Как правило, это не является проблемой, поскольку работники обычно проводят в таких зонах лишь краткие периодические инспекции.

Профилактические мероприятия в новых зданиях

5.70. В дополнение к любым восстановительным мерам, которые должны быть приняты на существующих рабочих местах, что является обязанностью работодателя, регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует также рассмотреть профилактические меры, которые могут применяться в отношении новых зданий, включая рабочие места, в зонах, подверженных воздействию радона. В случае жилых зданий было обнаружено, что в зонах, где более в чем 5% зданий концентрации радона превышают 200 Бк/м^3, профилактические меры во всех новых зданиях, вероятно, будут экономически эффективными [37]. Трудность с новыми зданиями заключается в том, что концентрации радона невозможно прогнозировать с точностью; они могут быть определены только после завершения строительства. Регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует создать основу для заблаговременного выявления тех зданий, для которых профилактические меры следует включать в проект и строительство, а после строительства следует проводить проверки эффективности таких профилактических мер. Следует разрабатывать соответствующие строительные кодексы и руководящие материалы по методам строительства. Особенно тщательно следует рассмотреть вопрос о застройке на искусственном грунте, если есть признаки того, что насыпной материал может иметь повышенные концентрации ^{226}Ra. Может потребоваться тщательная количественная оценка и, при необходимости, введение регулирующим органом или другим соответствующим компетентным органом ограничений.

5.71. Фундаменты новых зданий, строящихся в зонах, подверженных воздействию радона, следует проектировать и строить таким образом, чтобы свести к минимуму проникновение радона из почвы. Некоторые профилактические меры могут потребовать серьезных изменений в проектировании и строительстве фундаментов. Другие меры могут быть очень простыми и могут быть реализованы с относительно низкими затратами. К ним относится создание пористого насыпного слоя под фундаментной плитой с целью удаления радона в почвенном газе. Также может быть оставлено пространство для внутреннего вытяжного канала для удаляемого воздуха. Следует также рассмотреть конструктивные

особенности, позволяющие легко вводить дальнейшие восстановительные меры после завершения строительства, если это будет сочтено необходимым.

5.72. Подход, которому отдаст предпочтение регулирующий орган или другой соответствующий компетентный орган, будет зависеть от местных архитектурных стилей и от масштабов и степени подверженности воздействию радона. Наилучшим вариантом может оказаться сочетание подходов. На начальном этапе осуществления национального плана действий регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует внимательно следить за результатами применения профилактических мер и восстановительных мер с целью обеспечения их надежности и долговечности.

ОБЛУЧЕНИЕ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ КОСМИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Источники облучения

5.73. Существует три основных источника космического излучения, которые следует учитывать при профессиональном облучении:

a) галактическое космическое излучение от источников за пределами Солнечной системы. Галактическое космическое излучение, воздействующее на верхние слои атмосферы, состоит на 98% из нуклонной компоненты (в основном протонов и ионов гелия) и на 2% из электронов. С увеличением солнечной активности плотность потока частиц уменьшается, но максимум энергетического спектра смещается в сторону более высоких энергий;
b) солнечное космическое излучение, генерируемое вблизи поверхности Солнца магнитными возмущениями. Это излучение возникает в результате солнечных вспышек и коронального выброса массы, когда образующиеся частицы направляются в сторону Земли. Этими солнечными частицами являются в основном протоны. Вклад в дозы на уровне земли вносят только частицы частицы с наибольшей энергией;
c) излучение от радиационных поясов Земли (поясов Ван Аллена). Радиационные пояса Ван Аллена образованы путем захвата протонов и электронов магнитным полем Земли. Известны два пояса Ван Аллена: внутренний пояс с центром на высоте около 3000 км и внешний пояс с центром на высоте около 22 000 км от поверхности Земли. В

регионе к востоку от Бразилии, известном как Южно-Атлантическая аномалия, внутренний пояс Ван Аллена опускается до высоты порядка нескольких сотен километров от поверхности Земли.

5.74. Интенсивность космического излучения, достигающего верхних слоев атмосферы, уменьшается в результате воздействия магнитного поля Земли и поэтому изменяется в зависимости от широты. Интенсивность максимальна вблизи геомагнитных полюсов и минимальна вблизи экватора. Интенсивность суммарного космического излучения также изменяется во времени. Ее изменение следует 11-летнему циклу солнечной активности, причем интенсивность излучения находится на самом низком уровне, когда солнечная активность наиболее высока.

5.75. Высокоэнергетические частицы, падающие на атмосферу, взаимодействуют с атомами и молекулами в воздухе, образуя сложный набор вторичных заряженных и незаряженных частиц, включая протоны, нейтроны, пионы и относительно легкие ядра. Незаряженные пионы распадаются с образованием высокоэнергетических фотонов, которые в свою очередь создают каскад высокоэнергетических электронов и фотонов. Заряженные пионы распадаются на мюоны, которые преодолевают большие расстояния в атмосфере. Таким образом, на уровне земли мюонная компонента космического излучения является основным источником дозы, и на ее долю приходится около 80% мощности дозы в случае поглощенной дозы.

Применение требований по обеспечению защиты и безопасности

5.76. Облучение при воздействии космической радиации на уровне земли считается не поддающимся контролю и поэтому исключено из области применения документа GSR Part 3 [2][13].

5.77. Контроль профессионального облучения, обусловленного космическим излучением выше уровня земли, должен рассматриваться для экипажей воздушных судов с точки зрения требований для существующих ситуаций облучения, а облучение должно контролироваться для лиц, осуществляющих деятельность в космосе (см. пункты 5.30–5.33 документа GSR Part 3 [2]).

---

[13] Среднегодовая эффективная доза для групп населения, обусловленная космическим излучением, оценивается в диапазоне 0,3-2 мЗв, при этом средневзвешенное значение для группы населения составляет около 0,38 мЗв [23].

5.78. На высотах для коммерческих воздушных судов, обычно 6100–12200 м, наиболее значимыми компонентами космического излучения являются нейтроны, электроны, позитроны, фотоны и протоны, причем на нейтроны приходится 40–80% мощности дозы в случае эффективной дозы в зависимости от высоты, широты и стадии солнечного цикла. Мощность дозы удваивается на каждые 1830 м повышения высоты. На больших высотах становится важной компонента тяжелых ядер [23].

5.79. Мощности дозы в коммерческих воздушных судах зависят от высоты, широты и стадии солнечного цикла. Для высот 9000–12000 м на широте 50° (что соответствует полету между Северной Европой и Северной Америкой) мощность дозы обычно находится в диапазоне 4–8 мкЗв/ч. Мощности дозы на более низких широтах, как правило, ниже, и, с учетом подъема и спуска, для всех дальнемагистральных рейсов может использоваться средняя мощность дозы 4 мкЗв/ч. Для рейсов на короткие расстояния высота обычно ниже (7500–10000 м), а соответствующая средняя мощность дозы составляет около 3 мкЗв/ч. Среднегодовое время налета экипажей воздушных судов обычно составляет 600–900 ч [23].

5.80. В последние годы произошли изменения в технологии мониторинга с целью оценки поля излучения на борту воздушных судов (см. пункт 7.36). Кроме того, были разработаны различные компьютерные коды для оценки доз, получаемых экипажами воздушных судов при конкретных параметрах маршрута полета. Между измеренными значениями и рассчитанными значениями наблюдалось хорошее совпадение [38]. В настоящее время для оценки доз, получаемых экипажами воздушных судов, используются на регулярной основе скорее компьютерные коды, чем результаты измерений.

5.81. Среднегодовые дозы, получаемые экипажами воздушных судов, обычно находятся в диапазоне 1–3 мЗв, при этом некоторые государства сообщают о максимальных значениях 3,5–6,5 мЗв [23].

5.82. В разных государствах интенсивность деятельности в области гражданской авиации существенно различается, и в некоторых частях мира вероятность получения экипажами воздушных судов значительных доз космического излучения может быть совсем невелика. Регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу (которым может быть компетентный орган в области гражданской авиации) надлежит

определять, является ли оценка облучения экипажей воздушных судов целесообразной (пункт 5.30 документа GSR Part 3 [2]). Если такая оценка не является целесообразной, то никаких дальнейших действий не требуется.

5.83. Если оценка облучения экипажей воздушных судов, обусловленного космическим излучением, считается целесообразной, то применяются следующие требования (см. пункты 5.31 и 5.32 документа GSR Part 3 [2]):

a) регулирующему органу или другому соответствующему компетентному компетентному органу надлежит создать механизм, предусматривающий применение контрольного уровня дозы, и методологию для оценки и регистрации доз профессионального облучения, полученных экипажем воздушного судна вследствие воздействия космического излучения. Можно считать разумным контрольный уровень около 5 мЗв;
b) если дозы экипажа воздушного судна могут превышать контрольный уровень, работодатели экипажа должны: (i) проводить оценку доз и вести их регистрацию; и (ii) предоставлять членам экипажа воздушного судна доступ к регистрационным записям доз;
c) работодатели обязаны: (i) информировать женщин, являющихся членами экипажей воздушных судов, о связанном с воздействием космического излучения риске для эмбриона или зародыша и о необходимости раннего уведомления работодателя о беременности и (ii) применять требования пункта 3.114 документа GSR Part 3 [2] в отношении уведомления о беременности[14], который гласит:

> «Уведомление работницей работодателя о предполагаемом наступлении беременности или о кормлении грудью не должно служить поводом для отстранения работницы от работы. Работодатель работницы, который был уведомлен о ее предполагаемой беременности или кормлении грудью, изменяет условия ее труда в отношении профессионального облучения, с тем чтобы обеспечить зародышу, плоду или младенцу такой же широкий уровень защиты, какой требуется для лиц из населения».

---

[14] Уведомление работодателя о беременности или подозрении на беременность или о кормлении грудью не может рассматриваться как требование к работающей женщине в нормах безопасности МАГАТЭ. Вместе с тем, необходимо, чтобы все работницы понимали важность таких уведомлений для того, чтобы условия их труда можно было соответственно изменить.

В отношении женщин-членов экипажей воздушных судов работодателю следует применять такие же меры радиационной защиты, как те, которые применяются в ситуациях планируемого облучения (см. пункты 6.2–6.20). Это включает предел 1 мЗв для годовой эффективной дозы.

5.84. Согласно документу GSR Part 3 [2], требование относительно оценки дозы и ведения регистрации (см. пункт 5.83(b) выше) применяется только в тех случаях, когда дозы экипажа воздушного судна могут превышать контрольный уровень. Это означает, что необходимо будет оценивать дозы лишь небольшой части штатных сотрудников. Однако на практике государства, осуществляющие значительную деятельность в области гражданской авиации, как правило, включают в процесс оценки дозы все экипажи. Учитывая наличие надлежащих компьютерных кодов для оценки дозы непосредственно на основе параметров полета (см. пункт 5.80), это представляется практически осуществимым вариантом (и представляется более приемлемым для штатных сотрудников).

5.85. С точки зрения современной авиационной практики, высоты полетов четко заданы, а налет экипажа воздушного судна контролируется по нерадиологическим причинам — такой контроль может обеспечивать достаточный контроль облучения. Некоторые авиакомпании, опять-таки по нерадиологическим причинам, могут уже иметь специальные рабочие процедуры для женских летных экипажей после уведомления о беременности, что ограничит получаемые дозы. Эти ограничения гарантируют, что среднегодовые дозы сохраняются на уровне небольшой процентной доли, как правило, около 10%, от годового предела дозы для работников в ситуациях планируемого облучения. Хотя, таким образом, не существует очевидных сценариев, при которых дозы могли бы увеличиваться выше нынешних уровней, в то же время существует мало разумных возможностей для снижения доз. Например, любое дальнейшее ограничение продолжительности полетов экипажей воздушных судов может иметь неприемлемые последствия. Любые попытки уменьшить дозы, получаемые отдельными членами экипажей воздушных судов, путем их перевода на другие рейсы не приведут к уменьшению коллективной дозы. Все эти факторы следует учитывать при рассмотрении вопроса о том, можно ли добиться чего-либо путем введения дополнительных мер контроля с целью уменьшения доз. В настоящее время, как представляется, такие дополнительные меры практически не целесообразны.

Облучение экипажей космических летательных аппаратов

5.86. На высотах 200–600 км и при малых наклонениях орбиты основной вклад в облучение экипажей космических летательных аппаратов вносят протоны и электроны, геомагнитно захваченные внутренним поясом Ван Аллена в зоне Южно-Атлантической аномалии, где он наиболее близок к поверхности Земли [23]. Что касается полетов ограниченной продолжительности на низких околоземных орбитах, то результаты некоторых оценок доз свидетельствуют о том, что величины индивидуального эквивалента дозы при полете варьируются от 1,9 мЗв до приблизительно 27 мЗв. Для более широкого спектра космической деятельности дозы в ходе полета могут достигать значений порядка 100 мЗв.

5.87. Космическими полетами занимаются лишь несколько государств. Подход к контролю облучения экипажей космических летательных аппаратов был разработан национальными и региональными космическими агентствами. Требования документа GSR Part 3 [2] в отношении контроля облучения в этих исключительных условиях являются, в силу необходимости, довольно общими и по существу отражают современную надлежащую практику в соответствующих государствах:

a) регулирующему органу или другому соответствующему компетентному органу следует в надлежащих случаях создавать механизм радиационной защиты, применяемый к лицам, осуществляющим деятельность в космосе;
b) следует прилагать все разумные усилия с целью оптимизации защиты путем ограничения доз, получаемых экипажами космических летательных аппаратов, не ограничивая при этом чрезмерно масштабы осуществляемой ими деятельности.

5.88. В системе защиты экипажей космических летательных аппаратов следует предусматривать установление соответствующих контрольных уровней (например, контрольных уровней для дозы в полете и карьерной дозы). В системе защиты следует также предусматривать выявление на этапе, предшествующем полету, способов сведения к минимуму доз с помощью таких средств, как экранирование, а также путем задания времени проведения и продолжительности определенных видов деятельности. Зональный мониторинг и индивидуальный мониторинг следует проводить, в зависимости от обстоятельств, в целях оценки доз и обеспечения предупреждения об изменении условий облучения. Важными исходными

данными для процесса оптимизации являются результаты мониторинга и оценки доз. Дополнительные руководящие материалы содержатся в [39–41].

6. ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ В ОСОБЫХ СЛУЧАЯХ

6.1. Раздел 6 содержит руководящие материалы по радиационной защите при профессиональном облучении для двух групп работников, для которых существуют конкретные вопросы менеджмента, связанные с контролем их облучения:

a) работниц во время и после беременности с последствиями облучения не только для себя, но и для эмбриона или плода или грудного младенца;
b) работников, которые регулярно выполняют свою работу в помещениях или на площадке другого работодателя и которые могут подвергаться облучению в результате использования излучения оператором площадки; и работников, которые могут брать на площадку свой собственный источник радиации, что имеет последствия для облучения как их самих, так и работников оператора площадки. Таких работников, называемых внештатными работниками, часто нанимают подрядчики.

РАБОТНИЦЫ В ПЕРИОД БЕРЕМЕННОСТИ И ПОСЛЕ НЕГО

6.2. Для целей радиационной защиты при профессиональном облучении нет оснований проводить какое-либо общее различие между работниками по признаку пола. Однако необходимо рассмотреть вопрос о дополнительных мерах защиты работниц в период беременности и после него, с тем чтобы защитить эмбрион или плод или грудного младенца.

Пути облучения эмбриона или плода или грудного младенца

6.3. Потенциальную озабоченность вызывают следующие пути облучения эмбриона или плода или грудного младенца:

a) In utero (в период внутриутробного развития):

i) внешнее облучение от внешних источников облучения организма работницы, которые облучают не только материнские ткани, но и эмбрион или плод;

ii) внутреннее облучение, обусловленное инкорпорированием радионуклидов в организм работницы (или их присутствием в полых органах матери, таких как мочевой пузырь или кишечник) с последующим переносом к плоду через плаценту; или облучение плода проникающим излучением радионуклидов, депонированных в материнских тканях (или присутствующих в полых органах матери);

b) грудной младенец:

i) внешнее облучение, обусловленное проникающим излучением радионуклидов в тканях матери или радионуклидов, присутствующих в полых органах матери, таких как мочевой пузырь или кишечник;

ii) внутреннее облучение в результате поступления радионуклидов в организм грудного младенца путем переноса из материнских тканей в грудное молоко и последующего перорального поступления во время грудного вскармливания.

Обязанности руководства

6.4. С учетом пункта 3.113 документа GSR Part 3 [2] руководство должно предоставлять работницам, которые имеют право входить в контролируемые зоны или зоны наблюдения или которые могут выполнять определенные обязанности в связи с аварийной ситуацией, соответствующую информацию о риске для эмбриона или плода или грудного младенца в период беременности и после него. Такая работница не может быть принуждена уведомлять своего работодателя, если она знает или подозревает, что она беременна или если она кормит грудью. Однако руководство обязано информировать работниц о важности скорейшего уведомления их работодателя, с тем чтобы можно было соответствующим образом изменить условия труда в отношении профессионального облучения с целью защиты эмбриона или плода или грудного младенца.

6.5. Как только работница, которая имеет право входить в контролируемые зоны или зоны наблюдения или которая может выполнять обязанности в аварийной ситуации, уведомляет своего работодателя о том, что она знает или подозревает, что она беременна или кормит грудью, работодатель обязан изменить условия ее труда в отношении профессионального облучения, с тем чтобы обеспечить эмбриону, плоду или младенцу такой

же широкий уровень защиты, как тот, который требуется для лиц из населения (см. пункт 3.114 документа GSR Part 3 [2]). Такое уведомление не должно служить основанием для отстранения этой работницы от работы (см. пункт 5.83), однако это повлечет за собой введение более жестких ограничений в отношении профессионального облучения, которому подвергается эта работница. Работодателю следует информировать эту работницу о решении применять более строгие ограничения.

6.6. Более строгие ограничения не обязательно должны препятствовать работнице работать с радиацией или радиоактивным материалом или входить в обозначенные радиационно опасные зоны или работать в них. Однако ограничения должны быть такими, чтобы обеспечивать, что в нормальных условиях эксплуатации для эмбриона или плода во время беременности и для младенца, находящегося на грудном вскармливании после этого, выполняются требования документа GSR Part 3 [2] в отношении ограничения доз для лиц из населения. Кроме того, адаптированные условия работы должны быть такими, чтобы избегать любого значительного потенциального облучения в результате аварий или других непредвиденных событий, которые могут приводить к высоким дозам внешнего облучения или внутреннего облучения.

6.7. При определении более жестких ограничений доз следует учитывать любые дозы, которые были получены эмбрионом или плодом в результате профессионального облучения работницы внешним излучением в период между зачатием и уведомлением о беременности. Следует также учитывать любые дозы, которые были или будут получены эмбрионом или плодом или грудным младенцем в результате любого поступления радионуклидов в организм работницы до уведомления о беременности, включая поступления до зачатия.

6.8. Работодателю следует рассмотреть вопрос о том, нуждается ли работница в дополнительной информации и подготовке в связи с любыми изменениями условий труда, с тем чтобы ограничить облучение эмбриона или плода или грудного младенца.

Мониторинг

6.9. В связи с более жесткими ограничениями дозы следует проводить мониторинг работниц в период беременности и после него. Дозы следует оценивать с учетом всех соответствующих путей внешнего облучения и внутреннего облучения.

6.10. После получения уведомления о беременности следует пересмотреть программу мониторинга, с тем чтобы можно было определить, что расчетная доза облучения эмбриона или плода или грудного младенца (включая дозу облучения работницы до зачатия), которая может быть обусловлена профессиональным облучением, не будет превышать 1 мЗв. Возможно, потребуется внести изменения в программу мониторинга внутреннего облучения, поскольку некоторые радионуклиды могут иметь значение скорее с точки зрения доз, получаемых плодом, чем доз, получаемых матерью. Биокинетика некоторых элементов во время беременности может меняться, хотя имеющаяся информация, как правило, не является достаточно подробной для того, чтобы можно было провести альтернативное моделирование, связывающее значения экскреции или значения удержания в органах с величинами поступления. Некоторые изменения в биокинетике, которые были рассмотрены МКРЗ [42], могут быть использованы при специальных оценках доз.

6.11. При наличии признаков того, что доза облучения эмбриона или плода или грудного младенца может приблизиться к 1 мЗв/год, следует провести индивидуальный мониторинг работницы и индивидуальную оценку ожидаемой дозы облучения эмбриона или плода или грудного младенца. Следует оперативно выпускать отчеты о дозах, с тем чтобы можно было незамедлительно принять меры в случае, если будет обнаружено, что доза облучения эмбриона или плода или грудного младенца может превышать 1 мЗв/год.

6.12. Для обеспечения более тщательного контроля за возможным непреднамеренным облучением может быть целесообразным более короткий период (т.е. более высокая частота) мониторинга. Однако эту частоту следует выбирать с учетом уровня регистрации пассивного дозиметра или других используемых методов. Для дозиметров с уровнем регистрации 0,1 мЗв период мониторинга менее одного месяца может оказаться недостаточным для адекватной оценки дозы, получаемой плодом в течение всего периода после уведомления о беременности. Активный дозиметр может служить цели поддержания готовности к любому возможному аварийному облучению. Во всех случаях зарегистрированная доза облучения беременной работницы должна представлять собой дозу, зафиксированную ее обычным дозиметром.

6.13. При оценке доз облучения эмбриона или плода следует учитывать калибровку дозиметров. В случае радиационных полей проникающего излучения дозиметры, откалиброванные по индивидуальному эквиваленту

дозы $H_p(10)$, дадут завышенную оценку дозы. Однако это может не относиться к полям излучения высокоэнергетических нейтронов или частиц в ускорительных установках, для которых требуются дозиметры, откалиброванные по дозам на различных глубинах под поверхностью.

6.14. Хотя использование дополнительного дозиметра на брюшной полости не требуется, он может обеспечивать уверенность в том, что внимание уделяется любому облучению во время беременности. Руководству следует рассмотреть вопрос об использовании соответствующего дозиметра для мониторинга дозы облучения плода. Если внешнее излучение однородно, то предпочтительное положение дозиметра на брюшной полости отсутствует; но если поле излучения неоднородно, дозиметр следует располагать на той части брюшной полости, которая может получить более значительное облучение.

6.15. В случае подозреваемого аварийного поступления следует проводить специальный мониторинг для обеспечения того, чтобы не был превышен предел дозы облучения эмбриона или плода или грудного младенца. Мониторинг может проводиться с использованием радиометрии всего тела, радиометрии отдельных органов (такой как радиометрия щитовидной железы или радиометрия легких) или in vitro анализа экскреций работницы.

Оценка дозы

6.16. Информация о дозе облучения эмбриона или плода при поступлении радионуклидов в организм матери опубликована МКРЗ [42]. Она включает основанные на биокинетических и дозиметрических моделях дозовые коэффициенты, которые учитывают перенос радионуклидов от беременной женщины через плаценту, и воздействие фотонов, обусловленное наличием радионуклидов в плаценте и тканях матери. Дозовые коэффициенты, выраженные в единицах зивертов на беккерель, представляют собой ожидаемую эффективную дозу облучения эмбриона или плода на единицу поступления активности в организм работницы. Также представлены дозовые коэффициенты для органов плода.

6.17. При остром поступлении в организм работницы в результате аварии или другого инцидента в период или до беременности дозовые коэффициенты МКРЗ могут использоваться для расчета ожидаемых доз облучения органов и эффективных доз облучения эмбриона или плода. В случае хронических поступлений дозовые коэффициенты

МКРЗ охватывают три сценария: (i) хроническое поступление во время беременности; (ii) хроническое поступление за год до беременности; и (iii) хроническое поступление за пять лет до беременности.

6.18. При оценке внешней дозы облучения плода следует учитывать только проникающее излучение. В случае однородных полей излучения для фотонов и бета-излучения доза, регистрируемая дозиметром работницы, будет представлять собой консервативную оценку дозы облучения плода, поскольку к моменту уведомления о беременности доза облучения на глубине плода, как правило, будет более низкой. В случае неоднородных полей необходима тщательная оценка результатов измерения дозиметром и соответствующей дозы облучения плода.

6.19. Информация о дозе облучения младенца, обусловленной поступлением в организм радионуклидов в молоке, включая дозовые коэффициенты, опубликована МКРЗ [43]. Учитываются поступления до и в период беременности, а также в период кормления грудью.

6.20. Оценка дозы, получаемой младенцем при внешнем облучении, обусловленном радионуклидами в тканях матери, основана на оценках взаимного расположения матери и младенца, а также периода времени, в течение которого мать держит младенца на руках или находится вблизи него. Затем для моделирования методом Монте-Карло тканей матери как источников облучения младенца используются математические модели матери и младенца.

ВНЕШТАТНЫЕ РАБОТНИКИ

6.21. Для целей настоящего руководства по безопасности внештатные работники — это подвергающиеся профессиональному облучению лица, которые работают в зонах наблюдения или контролируемых зонах на различных объектах и которые не были наняты руководством установки, где они работают [44]. Внештатные работники могут быть самозанятыми или могут быть наняты подрядчиком (или аналогичным юридическим лицом), оказывающим услуги на установках других работодателей. (Такая установка может являться или не являться зарегистрированным лицом или лицензиатом или может иным образом находиться под регулирующим контролем.)

6.22. Как руководство установки, так и подрядчик являются работодателями. Руководство установки осуществляет основной контроль за установкой, в то время как подрядчик предоставляет услуги по контракту. Работники подрядчика, работающие в зонах наблюдения или контролируемых зонах на установке, которая не управляется подрядчиком или не находится под его основным контролем, подпадают под определение внештатных работников. В более сложных ситуациях подрядчик может сам нанимать субподрядчика на работу, в результате чего работники как подрядчика, так и субподрядчика могут быть внештатными работниками. Если подрядчик является самозанятым лицом, то это лицо рассматривается как работодатель и работник и выполняет все соответствующие обязанности.

6.23. Внештатные работники могут сами работать с источниками излучения или потенциально подвергаться облучению от источников излучения, контролируемыми руководством установки, на которой они работают.

6.24. Внештатные работники могут быть учениками, которые проходят обучение проведению радиационно-опасных работ. Облучение учащихся не является профессиональным облучением, но учащиеся также могут считаться «внештатными учащимися» в этом смысле, когда их курсы обучения или их опыт работы (контролируемые их наставниками в организации подрядчика) требуют их присутствия в зонах наблюдения или контролируемых зонах, учрежденных на установке.

6.25. Примерами внештатных работников и видов выполняемых ими работ являются:

a) работники служб технического обслуживания в атомной энергетике — нанятые подрядчиком, предоставляющим услуги в режимах нормальной эксплуатации, останова или отключения для текущего ремонта;
b) персонал, занимающийся обеспечением качества, эксплуатационным контролем и неразрушающим контролем или испытаниями в атомной энергетике и других отраслях промышленности;
c) персонал служб технического обслуживания и уборщики в промышленности в целом, которые могут подвергаться облучению в рамках широкого круга применений;

d) подрядные организации, предоставляющие специализированные услуги — например, удаление окалины и осадка из труб и емкостей (для дезактивации оборудования), перевозка радиоактивных отходов или загрузка или замена радиоактивных источников на облучательных установках;
e) работники по контрактам на горнодобывающих предприятиях и предприятиях по переработке полезных ископаемых, которые могут подвергаться воздействию радиоактивных материалов природного происхождения;
f) промышленные радиографические компании, нанятые для работы на установке, эксплуатируемой не их собственным руководством;
g) работники, выполняющие по контракту скрининг в целях обеспечения безопасности с использованием рентгеновских аппаратов или радиоактивных источников;
h) контрактные работники, участвующие в выводе из эксплуатации установок различных типов, а также в дезактивации связанных с ними зданий и восстановлении внешних зон;
i) контрактные работники компаний, монтирующих и обслуживающих медицинское оборудование;
j) медицинский персонал, работающий в зонах наблюдения или контролируемых зонах в нескольких больницах или клиниках (стационарных или мобильных), не управляемых их работодателем.

Вопросы, связанные с использованием внештатных работников

6.26. Эффективное управление деятельностью внештатных работников имеет важнейшее значение для обеспечения их защиты и безопасности, однако может осложняться такими проблемами, как дублирование обязанностей, различия в местных рабочих процедурах и стандартах защиты, трудности связи и дистанционный надзор.

6.27. Вопросы, связанные с использованием внештатных работников, касаются главным образом управленческого контроля. Неопределенности в отношении распределения ответственности за механизмы защиты работников могут приводить к возникновению трудностей в плане контроля облучения отдельных внештатных работников во времени, например в течение календарного года. По мере перемещения внештатных работников с одной установки на другую у работников могут накапливаться дозы, приближающиеся к годовому пределу индивидуальной дозы или даже

превышающие его; это может быть именно так, даже несмотря на то, что ни одна из предполагаемых граничных доз или административных целевых показателей доз на различных установках не были превышены.

6.28. Диапазон работ, выполняемых внештатными работниками, затрудняет четкое распределение обязанностей без предварительного рассмотрения конкретных ситуаций. Они могут быть различными: от ситуаций, в которых руководство установки будет обязано по контракту предоставлять большую часть необходимых услуг по защите и безопасности внештатных работников, и до ситуаций, в которых большинство функций и обязанностей обычно ложится на подрядчика. В этом диапазоне могут возникать три типа сценариев облучения:

a) эксплуатация установки может вызывать облучение сотрудников подрядчика, которые сами не обладают источником излучения. В таких случаях руководством установки является зарегистрированное лицо или лицензиат, а подрядчик - это всего лишь работодатель;
b) сотрудники подрядчика привозят на установку свой собственный источник излучения и поэтому возникает возможность облучения работников на этой установке. В таких случаях подрядчик является зарегистрированным лицом или лицензиатом, а руководство установки — это всего лишь работодатель;
c) сочетание (a) и (b), при котором как эксплуатация установки, так и деятельность подрядчика на площадке могут вызывать облучение сотрудников другой стороны. В таких случаях как руководство установки, так и подрядчик являются зарегистрированными лицами или лицензиатами.

Сотрудничество между работодателями

6.29. Основную ответственность за обеспечение защиты и безопасности работников на установке несет руководство этой установки. При этом подрядчик, оказывающий услуги руководству установки, несет ответственность за защиту и безопасность своих сотрудников. Отсюда следует, что будут иметь место перекрывающиеся обязанности по управлению внештатными работниками и требуется сотрудничество между двумя работодателями (руководством установки и подрядчиком) (Требование 23 в документе GSR Part 3 [2]). Конкретное содержание этих совместных обязанностей будет зависеть от вида выполняемых работ, однако для этого потребуются консультации и сотрудничество в той мере, в какой это необходимо для соблюдения требований в отношении

обеспечения защиты и безопасности всех работников на установке. Это требование отражено в пункте 3.85 документа GSR Part 3 [2], который гласит:

> «Если работники заняты на работах, которые связаны или могут быть связаны с источником, не находящимся под контролем их работодателя, зарегистрированное лицо или лицензиат, которое или который несет ответственность за данный источник, и этот работодатель сотрудничают между собой в объеме, необходимом для обеспечения соблюдения обеими сторонами требований настоящих Норм».

6.30. Дополнительные требования к сотрудничеству между работодателями приведены в пунктах 3.86 и 3.87 документа GSR Part 3 [2], которые гласят:

> «3.86. Сотрудничество между работодателем и зарегистрированным лицом или лицензиатом в соответствующих случаях включает:
>
> a) разработку и применение конкретных мер по ограничению облучения и других средств, обеспечивающих, чтобы меры защиты и безопасности для работников, занятых на работах, которые связаны или могут быть связаны с источником, не находящимся под контролем их работодателя, были по меньшей мере не хуже мер, которые предусмотрены для персонала зарегистрированного лица или лицензиата;
> b) проведение конкретных оценок доз, получаемых работниками, согласно изложенному выше подпункту a);
> c) четкое распределение с документальным подтверждением ответственности работодателя, а также ответственности зарегистрированного лица или лицензиата за обеспечение защиты и безопасности.
>
> 3.87. В рамках сотрудничества между сторонами зарегистрированное лицо или лицензиат, которое или который несет ответственность за источник или за облучение, в надлежащих случаях:
>
> a) получает от работодателей, включая самостоятельно занятых лиц, данные о прежнем профессиональном облучении работников ... и любую другую требующуюся информацию;
> b) предоставляет надлежащую информацию работодателю, включая любую имеющуюся информацию относительно соблюдения требований настоящих Норм, которую запрашивает наниматель;

c) предоставляет работнику и работодателю соответствующие регистрационные записи облучения».

6.31. В тех случаях, когда необходимость сотрудничества приводит к согласию в отношении процедур, которые должны соблюдаться, этот факт в идеале следует документировать. Вполне вероятно, что такое согласие будет являться частью формального контрактного соглашения, особенно в крупных или сложных контрактных (и субподрядных) ситуациях (например, когда руководство установки конкретно определяет часть своей площадки, которая должна быть передана главному подрядчику для выполнения некоторых работ, таких как вывод из эксплуатации). С помощью этой документации следует обеспечивать, чтобы каждая сторона знала, за выполнение каких юридических требований к работодателю она несет конкретную ответственность. Подробные договоренности и определение обязанностей будут варьироваться в зависимости от характера работы и соответствующего опыта участвующих сторон.

6.32. Информационные листы и контрольные перечни являются полезным подспорьем для обмена информацией между работодателями и оценки адекватности механизмов обеспечения защиты и безопасности. Информационные листы и контрольные перечни следует использовать для обобщения требований в отношении защиты и безопасности, которые должны быть выполнены, и для перечисления различных вопросов, которые должны быть обсуждены и согласованы между руководством установки и подрядчиком до начала контрактных работ.

Источники, находящиеся под контролем установки

6.33. Во многих видах работ работники подрядчика, работа которых не связана напрямую с использованием источников излучения, должны входить в зону установки, где они могут подвергаться облучению, возникающему в результате нормальной эксплуатации установки. Примерами таких внештатных работников являются персонал служб технического обслуживания и уборщики. Во многих случаях подрядчик и его сотрудники будут иметь незначительный опыт работы в радиационно-опасных зонах или вообще не будут иметь такого опыта, а также будут иметь ограниченные знания о регулирующих требованиях по обеспечению защиты и безопасности.

6.34. В таких обстоятельствах руководство установки обязано обеспечивать для внештатных работников такой же уровень защиты и безопасности, как и для своих собственных работников. Следует обеспечивать, чтобы наличие необходимых механизмов для достижения этой цели было предварительным условием при найме внештатных работников. Следует рассмотреть вопрос об официальном закреплении этого положения путем ссылки в контрактном соглашении на соответствующие меры по обеспечению защиты и безопасности, которые указаны в разделе 3 и будут включать, в зависимости от обстоятельств:

a) оптимизацию защиты и безопасности (включая любые связанные с этим граничные дозы);
b) ограничение доз;
c) введение классифицированных зон;
d) использование индивидуальных средств защиты;
e) местные правила и процедуры;
f) мониторинг и оценку доз;
g) регистрацию доз;
h) информацию и подготовку кадров;
i) наблюдение за состоянием здоровья работников.

6.35. Если работа подрядчика включает нестандартные операции, необходима предварительная радиологическая оценка этих операций. При оценке следует учитывать различные варианты защиты, а степень детализации при оценке должна быть соизмерима с радиационными рисками. Ответственность за подготовку оценки следует возложить на руководство установки с учетом его подробных знаний о работе, но следует привлечь и подрядчика, возможно, при содействии квалифицированного эксперта. Поэтому следует обеспечивать, чтобы все соответствующие вопросы обеспечения защиты и безопасности рассматривались на раннем этапе.

6.36. У руководства установки будут иметься механизмы оценки доз для своих собственных сотрудников, а также следует принять соответствующие меры по оценке доз для сотрудников подрядчика. Это может потребовать от руководства установки предоставления подрядчику дозиметров, а затем оценки их показаний по завершении работ, или может потребовать от подрядчика организации собственной индивидуальной дозиметрии. Порядок, которого необходимо придерживаться, следует указывать в контрактном соглашении. Если работа выполняется в соответствии с мерами по организации дозиметрии, принятыми руководством установки,

то соответствующие записи о дозах следует предоставлять внештатным работникам и их работодателю (подрядчику). Во всех случаях каждому внештатному работнику следует соблюдать любые требования местных правил или процедур в отношении ношения индивидуального дозиметра в конкретной зоне.

6.37. По завершении работ и, возможно, на этапах в ходе выполнения контракта дозы, получаемые сотрудниками подрядчика, следует сравнивать с дозами, запрогнозированными при предварительной радиологической оценке.

6.38. При принятии решения о том, кто из его сотрудников подходит для работы по конкретному контракту, подрядчику потребуется следующая информация от руководства установки:

a) подробная информация о любых радиологических опасностях и связанных с ними мерах контроля, а также оценка максимальных доз облучения, которые могут быть получены сотрудниками подрядчика при выполнении работ по контракту;
b) подробная информация о любой дополнительной подготовке, которая потребуется и которая, следовательно, должна быть предоставлена либо подрядчиком, либо руководством установки;
c) информация о том, должны ли сотрудники подрядчика носить индивидуальные дозиметры, и если да, то каковы действующие процедуры;
d) подробные сведения о нерадиологических опасностях, таких как химические вещества, запыленность и тепловыделение;
e) предоставление, если это необходимо, индивидуальных средств защиты.

6.39. Прежде чем сотрудник подрядчика будет принят на установку для работы в контролируемой зоне или зоне наблюдения, руководству установки следует получить от подрядчика конкретную информацию, касающуюся этого сотрудника. Если эта информация будет получена незамедлительно, она позволит оперативно получить доступ на установку. Эта информация должна включать:

a) подробные сведения о соответствующей квалификации сотрудника (подготовке, опыте и аттестации);
b) подробные сведения об истории доз сотрудника;

c) любая соответствующая информация о пригодности сотрудника для выполнения работы.

6.40. Руководству установки будет также целесообразно провести оценку компетентности сотрудников подрядчика. Эти вопросы дополнительно обсуждены в пунктах 6.56–6.65.

6.41. В зависимости от характера работ и любых контрактных условий подрядчику следует рассмотреть вопрос о том, нужно ли ему консультироваться с одним или несколькими квалифицированными экспертами относительно выполнения работ, которые он должен проводить. Если подрядчик желает проконсультироваться с квалифицированным экспертом, он может запросить руководящие материалы у руководства установки или у независимого источника с целью получения предложений соответствующих экспертов. Ниже приводятся примеры тем, по которым могут потребоваться рекомендации квалифицированного эксперта:

a) рассмотрение инженерно-технических мер контроля, связанных с обеспечением защиты и безопасности;
b) разработка надлежащих местных правил и процедур;
c) соответствующие мероприятия по организации дозиметрии;
d) необходимость индивидуальных средств защиты;
e) использование оборудования для радиационного мониторинга;
f) ведение документации;
g) аварийные процедуры.

6.42. Руководству установки следует обсудить с подрядчиком меры по радиологическому надзору на раннем этапе и оно может обеспечить, чтобы имеющийся сотрудник, ответственный за радиационную защиту (см. пункт 3.66), выступал в качестве лица, ответственного за радиационную защиту подрядчика и его сотрудников. В качестве альтернативы может потребоваться, чтобы подрядчик назначил одного из своих собственных сотрудников в качестве сотрудника, ответственного за радиационную защиту, и ему следует при этом обеспечить надлежащую подготовку этого лица. Назначенный сотрудник, ответственный за радиационную защиту, должен быть приемлемым для руководства установки, и контрактное соглашение должно требовать, чтобы этот сотрудник, ответственный за радиационную защиту, работал в тесном контакте с назначенным членом руководящего состава установки (и получал от него руководящие указания). Лицам, ответственным за радиационную защиту на установке и у подрядчика, следует поддерживать необходимый уровень связи.

Источники, находящиеся под контролем подрядчика

6.43. Источник, находящийся под контролем подрядчика, может быть привезен работником подрядчика на установку. Даже несмотря на то, что источники излучения (например, ядерные контрольно-измерительные приборы) могут использоваться на установке в рамках ее нормальной эксплуатации, нередко бывает так, что зона, в которой работает подрядчик, находится за пределами любых классифицированных зон, связанных с такими источниками. В такой ситуации не существует потенциальной возможности того, что внештатный работник подвергнется облучению от источников, находящихся под контролем установки. Однако источник, привезенный внештатным работником, может вызвать облучение штатных сотрудников установки.

6.44. Чаще всего такая ситуация возникает, когда подрядчик на площадке проводит работы по промышленной радиографии. Поэтому руководящие материалы, приведенные в пунктах 6.45–6.50, конкретно касаются таких работ. Аналогичные принципы и меры будут применяться в отношении других видов деятельности, таких как операции по загрузке источников на облучательных установках. При использовании открытых источников следует принимать меры предосторожности во избежание поверхностного загрязнения и загрязнения воздуха (см. пункты 9.24–9.46).

6.45. Промышленная радиография применяется для проверки компонентов (например, труб, сварных швов и емкостей под давлением) с целью определения наличия трещин или других дефектов. В качестве источника излучения используется герметичный радиоактивный источник или рентгеновский аппарат. Оба типа источников излучения требуют строго контролируемых процедур защиты техников-рентгенологов, использующих их, и других лиц на площадке. Существенной частью этих процедур является обеспечение наличия на надлежащем расстоянии от источника барьера, предназначенного для предотвращения несанкционированного проникновения в контролируемую зону в пределах барьера (т.е. для оцепления контролируемой зоны). Этот вид работ может выполняться в ночное время или на высоте, и в этих случаях следует рассмотреть дополнительные защитные меры, такие как более интенсивное освещение и более строгий надзор. Сотрудничество между руководством установки и подрядчиком имеет важное значение для обеспечения надлежащей защиты и безопасности работников установки.

6.46. В тех случаях, когда руководство установки не имеет непосредственного внутреннего опыта работ, которые должны быть выполнены подрядчиком, ему следует ограничить свое участие главным образом сбором нетехнической информации. Руководству установки следует возлагать на подрядчика основную ответственность за сотрудничество по более техническим аспектам работ, но, тем не менее, оно должно быть в состоянии убедиться в том, что подрядчик предпринял надлежащие меры для достижения безопасных условий работы. При этом руководству установки может потребоваться помощь квалифицированного эксперта.

6.47. До начала работ руководству установки следует получить от подрядчика:

a) номер телефона, по которому можно связаться с подрядчиком в случае аварийной ситуации;
b) фамилию(фамилии) лица(лиц), ответственного(ых) за радиационную защиту, которое(ые) будет(будут) присутствовать во время выполнения работ;
c) данные о типе используемого генератора излучения или источника излучения;
d) копию местных правил и процедур подрядчика, которая должна содержать достаточную информацию о предлагаемых работах; если надлежащие местные правила отсутствуют, подрядчику не следует разрешать выполнять работы.

6.48. Руководству установки следует обеспечивать, чтобы подрядчик осуществлял следующие меры по обеспечению защиты и безопасности:

a) размещение барьеров с целью предотвращения доступа в контролируемые зоны, в которых мощности доз превышают заранее определенные уровни;
b) размещение достаточного количества предупреждающих уведомлений;
c) подача предупреждающих сигналов (не имеющих какого-либо иного местного значения или важности) до и во время облучения;
d) размещение пояснительных примечаний в местах доступа;
e) инспекции оборудования и радиационных мониторов до и после использования;
f) замена или ремонт оборудования, признанного неработоспособным до использования;

g) досмотр контролируемой зоны до начала работ и периодически впоследствии;
h) патрулирование барьера с целью предотвращения несанкционированного доступа;
i) использование подходящего, откалиброванного радиационного монитора при установке или проверке размещения барьера и подтверждении ожидаемой мощности дозы после облучения (это особенно важно, когда могут иметь место импульсные поля рентгеновского излучения);
j) предоставление надлежащих хранилищ;
k) разработка планов аварийных мероприятий;
l) использование соответствующих устройств индивидуального дозиметрического контроля.

6.49. Руководству установки следует обеспечивать, чтобы любому из его сотрудников, которых может затрагивать работа подрядчика, предоставлялась достаточная информация о предполагаемых работах. В их число следует включать лиц, обязанности которых могут обусловить их нахождение вблизи места проведения работ, сотрудников службы безопасности, руководство и лиц, которые могут быть задействованы в случае аварийной ситуации.

6.50. В ходе выполнения работ руководству установки следует организовывать периодические необъявленные проверки безопасности с целью убедиться в том, что работники подрядчика соблюдают согласованные безопасные методы работы. Такие проверки могут проводиться работниками установки или независимой третьей стороной. При проведении проверки с целью оценки уровня обеспечения защиты и безопасности руководство установки может воспользоваться контрольным перечнем вопросов, подлежащих проверке (см. пункт 6.32).

6.51. Источник, находящийся под контролем подрядчика, может быть привезен работником подрядчика на территорию установки, где при нормальной эксплуатации установки также существует потенциальная возможность облучения от источника, находящегося под контролем установки. Хотя руководящие материалы, приведенные в пунктах 6.33–6.50, остаются актуальными, следует также учитывать дополнительные руководящие материалы, приведенные в пунктах 6.52–6.55.

6.52. Промышленная радиография или другие работы могут включать использование источника, находящегося под контролем подрядчика, в зонах, где в результате эксплуатации установки имеется значительный уровень мощности амбиентной дозы. Прежде чем приступить к таким работам, следует обсудить и согласовать между подрядчиком и руководством установки выбор соответствующей мощности дозы для установки барьеров и знаков. Следует также рассмотреть вопрос о сроках выполнения предлагаемой работы.

6.53. Работы следует проводить не только в соответствии с местными правилами и процедурами подрядчика, но и в соответствии с местными правилами и процедурами для тех источников, которые связаны с установкой. Поэтому подрядчику, возможно, потребуется изменить свои местные правила и процедуры, с тем чтобы включить в них определенные аспекты местных правил и процедур установки и обеспечить отсутствие противоречивых требований. Это положение следует четко включать в контракт.

6.54. Может потребоваться специальная подготовка сотрудников подрядчика в связи с потенциальной возможностью облучения от источников, находящихся под контролем установки, даже если такие сотрудники уже могут быть обучены использованию своих собственных источников излучения. В таких обстоятельствах на многих установках требуется, чтобы работающие по контракту техники-рентгенологи их коллеги, ответственные за радиационную защиту, прошли специальную подготовку.

6.55. Следует рассмотреть возможное воздействие источника излучения подрядчика на любую контролирующую излучение контрольно-измерительную аппаратуру, смонтированную на установке (например, воздействие на мониторы гамма-излучения в зоне и системы обнаружения инцидентов с возникновением критичности и на риск подачи ложных сигналов тревоги). В случае выявления таких инцидентов следует предпринимать соответствующие корректирующие меры. Они могут включать использование менее мощных источников или коллимированных пучков излучения с целью сведения к минимуму мощности дозы или отключение на ограниченный период времени определенной контрольно-измерительной аппаратуры.

Компетенция внештатных работников

6.56. Руководству установок следует обеспечивать использование выполняющими работы на объекте подрядчиками персонала, обладающего компетенцией для выполнения этих работ. Соответственно, могут потребоваться официальная оценка и документирование компетентности персонала подрядчика. Такой подход будет целесообразным в тех случаях, когда существует потенциальная возможность облучения работников подрядчиков от источников, находящихся под контролем установки. Этот подход будет также целесообразным в тех случаях, когда подрядчики сами привозят источник на установку и когда существует вероятность того, что сотрудники установки подвергнутся облучению от этого источника.

6.57. Следует обеспечивать, чтобы процесс оценки включал официальные процедуры определения необходимых компетенций (посредством учета образования, опыта и программ начальной и непрерывной подготовки) и квалификационных требований для любого выполняемого подрядчиками задания, которое может иметь последствия для защиты и безопасности. В процессе оценки могут оказаться полезными разработанные руководства или процедуры менеджмента качества.

6.58. Уровень и детализация процесса оценки будут зависеть от типа установки и выполняемых работ. Некоторые внештатные работники будут работать по специальностям, имеющим системы квалификации или сертификации с целью демонстрации компетентности. Примерами таких профессий являются врачи-рентгенологи, медицинские физики, технологи в области радиационной медицины и техники-рентгенологи. Руководству установок, намеревающемуся нанимать внештатных работников таких профессий, следует быть осведомленным о сертификационных и квалификационных требованиях к этим работам и включать эти требования в процесс оценки. Также может оказаться целесообразным указать эти квалификационные данные в контрактных соглашениях. Другие профессии и навыки могут не иметь квалификационных требований. В таких случаях оценка компетентности может ограничиваться рассмотрением анкетных данных, сертификатов, записей о профессиональной подготовке, справочных материалов и отчетов об аналогичных работах, выполненных на других установках.

6.59. При определенных обстоятельствах руководство установки может пожелать оговорить требования к компетентности для конкретной площадки, которые должны быть выполнены до получения подрядчиком

разрешения на проведение работ на площадке. Эти требования могут включать компетенцию в области использования соответствующих средств защиты органов дыхания. В таких обстоятельствах руководству установки следует, при необходимости, обеспечивать надлежащую подготовку в отношении этих компетенций или же ему следует иметь возможность предоставления рекомендаций о том, где такая подготовка может быть получена. Удовлетворительное прохождение такой подготовки станет вкладом в процесс оценки компетентности.

6.60. Подрядчикам следует убеждаться в том, что их сотрудники обладают надлежащей квалификацией для выполнения работ, и им следует предоставлять руководству установки до начала работы на установке подробную информацию о квалификации каждого сотрудника. Внештатных работников не следует допускать к работе без необходимой подготовки и сертификации в области выполняемых работ и радиационной защиты. Оборудование и машины, которые будут ими эксплуатироваться, могут, например, иметь гамма-источники очень высокой интенсивности, способные вызвать высокое облучение в течение короткого промежутка времени, если они не будут эксплуатироваться должным образом.

6.61. В результате оценки компетентности персонала подрядчика будет сделан вывод о том, что сотрудники подрядчика обладают компетенцией для выполнения данных работ или что имеются недостатки в отношении квалификации или опыта. Если выявлены недостатки, то до того, как сотрудникам подрядчика будет разрешено работать на площадке, следует принимать компенсирующие меры. При определении наиболее подходящих компенсирующих мер следует учитывать основные характеристики каждой конкретной ситуации.

6.62. Что касается компенсирующих мер, связанных с обучением, то до того, как сотрудники подрядчика начнут работу на площадке, следует рассмотреть вопрос о проведении любого необходимого обучения и об установлении связи между оператором площадки и подрядчиком с целью устранения любых выявленных пробелов. Оператор площадки может иметь возможность обеспечить любое обучение, необходимое для конкретной площадки.

6.63. В качестве компенсирующих мер можно было бы также осуществить следующие дополнительные управленческие инициативы:

a) обеспечение непосредственного надзора со стороны оператора площадки;
b) замена определенного персонала подрядчика;
c) документирование дополнительного опыта, обучения или образования.

6.64. Подрядчику следует периодически проверять компетентность своих работников, уделяя особое внимание следующему:

a) любым изменениям в требуемой профессиональной квалификации;
b) любым изменениям в законодательстве;
c) урокам, которые следует извлечь из опыта, накопленного на данной установке и на других установках;
d) документации о дозах работников;
e) обеспечению постоянной актуальности и эффективности уровня полученной подготовки;
f) необходимости переподготовки;
g) любым изменениям профессиональной пригодности;
h) любым изменениям в установках, операциях или методах работы.

6.65. Следует также оценивать работу отдельного работника. Уроки, извлеченные из возникших проблем, и меры, принятые для устранения трудностей, могут приводить к определению дальнейшей профессиональной подготовки одного или нескольких работников.

Программа радиационной защиты

6.66. Сложности, связанные с обязанностями руководства и механизмами радиационной защиты внештатных работников, подчеркивают необходимость проведения работ в соответствии с эффективной программой радиационной защиты (см. пункты 3.49–3.158). В программе радиационной защиты следует, наряду с прочим, возлагать обязанности по обеспечению защиты и безопасности внештатных работников на руководство установки и на подрядчика в соответствии с условиями контрактного соглашения.

6.67. В большинстве ситуаций предварительная радиологическая оценка, на которой будет основываться программа радиационной защиты, должна быть результатом совместных усилий руководства установки и подрядчика, при этом ведущую роль должен играть более квалифицированный из двух работодателей. Следует использовать результаты предыдущих оценок. На установке, где источники излучения используются в рамках нормальной

эксплуатации, руководству следует проводить предварительную радиологическую оценку своих собственных операций с последующей более подробной оценкой безопасности. Аналогичным образом, в тех случаях, когда подрядчик имеет собственные источники излучения, ему следует проводить предварительную радиологическую оценку и оценку безопасности, которые подходят для большинства установок, на которых эти источники, вероятно, будут использоваться.

6.68. Руководство установки и подрядчик несут совместную ответственность за разработку программы радиационной защиты, однако, как и в случае предварительной радиологической оценки и оценки безопасности, можно ожидать, что уровень знаний и опыта этих двух сторон будет способствовать взаимно согласованному распределению обязанностей с целью обеспечения разработки эффективной программы радиационной защиты. Во многих случаях могут потребоваться ограниченные изменения существующей программы радиационной защиты на установке или у подрядчика, с тем чтобы отразить предлагаемые работы подрядчика на установке.

6.69. Использование существующей программы радиационной защиты в качестве основы для обеспечения радиационной защиты внештатных работников иллюстрируется следующими двумя примерами:

a) на атомной электростанции руководство уже будет обладать обширными знаниями о радиационных рисках, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием установки, уже проведет подробную оценку безопасности для своих собственных сотрудников (и, вероятно, для тех сотрудников подрядчиков, которых предполагается использовать для выполнения оцениваемых заданий) и уже будет иметь разработанную всеобъемлющую программу радиационной защиты. Поэтому в данном случае руководству установки было бы целесообразно: довести соответствующую информацию об оценке безопасности до сведения подрядчика; обсудить с подрядчиком связанные с работами обстоятельства и любые выявленные проблемы; и разработать упрощенную программу радиационной защиты, охватывающую работы подрядчика;
b) у работающей на химическом заводе компании, занимающейся промышленной радиографией, уже будет иметься своя собственная разработанная программа радиационной защиты для работы на площадке, однако ей необходимо будет поддерживать связь с лицами, ответственными за безопасность на данной установке, и предоставлять им соответствующую информацию из программы

радиационной защиты. Эта информация будет включать мероприятия по менеджменту и надзору, а также процедуры, которые будут использоваться для обеспечения радиационной защиты сотрудников на данной установке.

Регистрация профессионального облучения

6.70. Некоторые внештатные работники могут проработать на установке намного менее года, прежде чем перейти на следующую установку. Таким образом, в течение одного года они могут накапливать дозы на нескольких установках. На каждой установке накопленная доза может быть или не быть существенной; однако накопленная доза на нескольких установках за один год может привести к суммарной накопленной дозе, которая приближается к применимым пределам дозы. Поэтому дозы этих работников необходимо отслеживать в течение длительных периодов времени, а обязанности и механизмы для достижения этой цели следует четко определять и документально оформлять.

6.71. Соответствующие меры должны быть такими, чтобы обеспечивать для каждого внештатного работника наличие актуальной информации о полученных дозах и результатах наблюдения за состоянием здоровья. Она может иметься в форме данных, полученных из централизованной базы данных, содержащей регистрационные записи об облучении работников, или в виде отдельного документа по радиологическому мониторингу (иногда называемого «индивидуальным радиационным паспортом») или иного рода регистрационной записи индивидуальных доз. Прежде чем приступить к контрактным работам на установке, где используются источники излучения, следует предоставить руководству установки регистрационные записи о профессиональном облучении и наблюдении за состоянием здоровья работника, с тем чтобы можно было разработать соответствующий план обеспечения защиты и безопасности.

6.72. Журнал профессионального облучения работников следует обновлять в период их работы на площадке либо руководству установки, либо подрядчику, в зависимости от того, кто несет соответствующую ответственность. Во избежание задержек с обновлением регистрационных записей, расчетные дозы (основанные, например, на результатах мониторинга на рабочем месте) могут регистрироваться до получения результатов индивидуального мониторинга работника. Это дает полезное представление о дозе облучения работника для руководителя следующей установки, если работник тем временем был перемещен на другую

установку. Работодатель внештатного работника несет ответственность за обеспечение обновления данных в журнале профессионального облучения работника.

Обучение

6.73. На установке, на которой источники излучения используются в рамках нормальной эксплуатации, внештатным работникам, которые выполняют в определенной зоне работы по контракту, не имеющие последствий с точки зрения защиты и безопасности (например, очистку, покраску, общее техническое обслуживание или строительные работы в контролируемой зоне), потребуются лишь минимальные знания по радиационной защите, и будет необходимо предоставлять им лишь самую базовую информацию о любых соответствующих мерах предосторожности, которые должны соблюдаться во время нахождения в зоне наблюдения. И наоборот, внештатным работникам, которые должны выполнять в контролируемых зонах операции, требующие выполнения сложных заданий, возможно, потребуется пройти подготовку по таким темам, как процедуры доступа, меры предосторожности, которые необходимо принимать, использование средств индивидуальной защиты и процедурные требования. Внештатным работникам, привозящим на установки свои собственные источники, следует обладать надлежащей подготовкой по безопасному использованию этих источников. Работодатель внештатных работников несет ответственность за обеспечение проведения обучения. Возможно, потребуется проконсультироваться с руководством установки относительно уровня и содержания подготовки, необходимой для выполнения на рабочем месте заданий по контракту на установке.

6.74. В некоторых ситуациях — как правило, когда подрядчик имеет лишь ограниченный опыт работы с радиацией — руководство установки может предоставить подрядчику и его работникам необходимую информацию о защите и безопасности, включая информацию, касающуюся аварийных ситуаций на площадке. В зависимости от обстоятельств такая информация может принимать форму уведомлений, письменных инструкций или содержания официального обучения. В других ситуациях подрядчик может взять на себя ответственность за обучение, но руководству установки следует, тем не менее, предоставлять до начала работы информацию о рисках, имеющих отношение к работе, и о любой необходимой специальной подготовке. В крупном учреждении руководство установки может помочь обеспечить надлежащую подготовку (в той мере, в какой это имеет отношение к установке) либо от имени подрядчика, либо в рамках

отдельной контрактной договоренности. Эту подготовку следует проводить на уровне, аналогичном уровню подготовки, которую руководство установки предоставляет своим собственным сотрудникам.

6.75. В тех случаях, когда подрядчик берет на себя ответственность за подготовку, ему следует оценить потребности в подготовке своих сотрудников. В консультации с руководством установки и, при необходимости, квалифицированным экспертом ему следует разработать программу подготовки, обеспечивающую надлежащий уровень подготовки и информации для любых предстоящих работ на установке. При этом, в частности, следует рассмотреть:

a) характер работ, которые предполагается проводить в обозримом будущем;
b) возможность облучения, связанного с проведением этих работ;
c) объем уже проведенной подготовки и полученную квалификацию;
d) связанные с конкретными площадками требования на установках, которые будут посещаться (например, процедуры доступа, использование средств индивидуальной защиты и аварийные процедуры).

6.76. В зависимости от характера предстоящих работ, возможно, потребуется обеспечить несколько уровней профессиональной подготовки. Например, для большинства работников может потребоваться только базовая подготовка по вопросам радиационной защиты, однако для тех сотрудников, которые будут выполнять функции лиц, ответственных за радиационную защиту, потребуется более всеобъемлющая подготовка.

Рассмотрение защиты и безопасности

6.77. Механизмы и процедуры обеспечения радиационной защиты и безопасности внештатных работников, установленные руководством установки, следует периодически рассматривать с целью убедиться в том, что они по-прежнему соответствуют требованиям и актуальны для проводимых работ. Если одни и те же внештатные работники работают на площадке в течение длительного периода времени, их методы работы следует рассматривать и проверять через соответствующие промежутки времени с целью оценки уровня соблюдения механизмов и выявления любых недостатков в процедурах. Аналогичным образом, когда новые внештатные работники намерены приступить к работе, следует обсудить

с подрядчиком механизмы и процедуры и воспользоваться возможностью для того, чтобы рассмотреть вопрос о том, являются ли они по-прежнему обоснованными.

6.78. При проведении рассмотрения необходимо учитывать следующее:

a) изменения производственных условий;
b) изменения в сферах законодательства и регулирования;
c) любые изменения в методах работы;
d) степень соблюдения действующих механизмов;
e) практическая осуществимость действующих механизмов;
f) адекватность планов аварийных мероприятий;
g) эффективность ранее использовавшихся механизмов и нынешних механизмов поддержания доз на разумно достижимом низком уровне;
h) необходимость внесения изменений в радиологическую оценку, оценку безопасности планируемых работ и уровень взаимодействия с регулирующим органом;
i) уроки, которые следует извлечь, и опыт работы.

6.79. Подпункт (g) в пункте 6.78 особенно важен. Эффективная оптимизация доз, получаемых внештатными работниками, является главной целью механизмов и процедур. Поэтому при оценке адекватности этих механизмов руководству установки следует рассматривать регистрационные записи о профессиональном облучении внештатных работников во время их нахождения на площадке и убеждаться в том, что они соответствуют типу выполняемых работ. Такое рассмотрение следует проводить в консультации с другими задействованными работодателями и, возможно, в консультации с соответствующим квалифицированным экспертом.

6.80. По итогам рассмотрения, вероятно, будет принят ряд мер по исправлению, совершенствованию или укреплению механизмов и процедур. Эти меры следует принимать в кратчайшие практически возможные сроки и предпочтительно до того, как внештатные работники продолжат выполнять на установке задания, которые необходимо проанализировать. Результаты оценки адекватности этих механизмов следует доводить до сведения соответствующих работников и их работодателей с целью их учета и включения в любые пересмотренные контрактные соглашения и местные правила и процедуры.

6.81. Подрядчикам, у которых имеются источники, находящиеся под их контролем, также следует регулярно рассматривать свои внутренние механизмы и процедуры. Будучи зарегистрированным лицом или лицензиатом, подрядчик несет ответственность за ограничение доз, получаемых его работниками, и за оптимизацию радиационной защиты. Подрядчику следует предусматривать процедуры рассмотрения результатов дозиметрии на постоянной основе. Как уже говорилось, механизмы и процедуры продолжительной работы на одной установке следует периодически пересматривать в консультации с руководством установки. Подрядчику также следует рассматривать любые существующие договоренности и процедуры, которые соблюдаются при выполнении всех работ на площадке, например, программы наблюдения за состоянием здоровья работников, процедуры технического обслуживания оборудования и процедуры ведения учета места нахождения, описания, активности и формы каждого источника, за который он несет ответственность.

Вопросы, связанные с конкретными типами установок

Ядерные установки

6.82. Прежде чем внештатным работникам будет предоставлен доступ к ядерной установке, необходимо выполнить строгие требования, поскольку в некоторых зонах такие работники могут получать высокие дозы облучения. Эти требования могут включать соблюдение некоторых или всех следующих процедур:

a) подрядчику следует вносить в формуляр разрешения на допуск к работе следующую информацию: (i) индивидуальную информацию о работнике; (ii) ссылку на контракт; (iii) реквизиты работодателя; (iv) данные о профессиональных навыках работника и соответствующие сертификаты; и (v) сведения об ожидаемой продолжительности операции. После этого подрядчику следует направить этот формуляр руководству установки, которому следует затем добавить описание зон, в которые разрешен доступ, и сведения о сроке действия разрешения на доступ на установку, а также в зоны наблюдения и контролируемые зоны на ней. Для доступа в зоны с высокой (или потенциально высокой) мощностью дозы следует использовать разрешение особого рода. Процедура получения доступа на атомную электростанцию может занимать несколько дней;

b) по прибытии внештатного работника на атомную электростанцию следует провести проверку всей информации, указанной в пункте 6.82(a), а также: (i) пригодности работника для выполнения работ; и (ii) регистрационных записей дозы работника за текущий календарный год, за последние двенадцать месяцев и последние пять лет;
c) следует организовать специальную подготовку по конкретным условиям на установке и действиям, необходимым в случае аварийной ситуации;
d) следует провести проверку совместимости навыков внештатного работника с характером предстоящих работ;
e) внештатным работникам следует предоставлять возможность обосновать свой доступ в контролируемую зону путем выдачи им разрешения на производство радиационно-опасных работ, разработанного в соответствии с системой организации работ на установке (см. пункт 3.96);
f) следует установить целевую индивидуальную дозу для внештатного работника.

6.83. В отношении внештатных работников, нанятых по краткосрочным контрактам, следует принимать следующие специальные процедуры:

a) целевую индивидуальную дозу следует рассчитывать на пропорциональной временной основе;
b) следует ограничивать или запрещать доступ в зоны с высоким (или потенциально высоким) уровнем излучения.

6.84. При выполнении заданий, связанных с высокими или потенциально высокими мощностями дозы, следует организовывать для внештатных работников указанные ниже специальную подготовку и процедуры:

a) предварительное рассмотрение, включающее подробное описание предстоящих работ, технические данные, а также дозиметрические и экологические условия;
b) предварительную процедуру выполнения работ, а также оценку соответствующей дозы;
c) отработку на макете или в случаях, когда это разумно осуществимо, типовое моделирование фактического места работы или, при необходимости, инструктаж с использованием материалов, описывающих место проведения работ (например, фотографий или видеоматериалов);

d) данные о результатах этой подготовки, включая время облучения, трудности при выполнении задач, этапы, которые необходимо улучшить, конкретные инструменты, которые должны быть разработаны, и количество одновременно находящихся на рабочих местах людей;
e) прогнозирование, насколько это возможно, потенциальных поломок инструментов или оборудования и других эксплуатационных инцидентов. Это облегчает разработку корректирующих мер и обучение работников осуществлению подобных мер таким образом, чтобы дозы сохранялись на разумно достижимом низком уровне;
f) совершенствование рабочих процедур и расчетных доз и оптимизация защиты и безопасности;
g) заключительное обучение в соответствии с такими оптимизированными процедурами.

Установки для проведения облучения в медицинских целях

6.85. Использование радиоактивных источников, ускорителей и генераторов излучения в терапевтических целях и использование рентгеногенерирующего оборудования в диагностических и интервенционных целях являются общепринятой практикой, которая может приводить к получению работниками высоких доз облучения. Инженеры по оборудованию и ремонтники часто попадают в категорию внештатных работников. Кроме того, врачи-рентгенологи, медицинские физики, специалисты по радиационным технологиям в медицине и другие медицинские работники с конкретными обязанностями в отношении медицинского применения излучений обычно работают в нескольких больницах и клиниках. Хотя они будут работать в основном в одной больнице или группе больниц, они будут выступать в качестве подрядчиков в других. Этим работникам следует заранее пройти подготовку по радиационной защите в рамках первоначальной подготовки перед аттестацией, и в каждой больнице они будут работать с использованием весьма схожих процедур.

6.86. Важнейшим вопросом с точки зрения внештатных работников в медицинских учреждениях, использующих излучения, является соответствие требованиям договоренностей относительно дозиметрии. Основному работодателю следует обеспечивать своих работников дозиметрами и они, вероятно, будут носить эти дозиметры в каждом месте производства работ. Однако такая практика может создавать трудности в случае регистрации дозиметром высокой дозы облучения. В этой ситуации

может оказаться невозможным определить, откуда была получена высокая доза и, следовательно, какой работодатель несет ответственность за проведение какого-либо расследования или принятие корректирующих мер.

6.87. В случае наличия надлежащих договоренностей относительно дозиметрии предполагается, что работник будет носить отдельный дозиметр для каждого места производства работ, причем возможно, что дозиметр от основного работодателя будет носиться во всех местах для целей первичного учета. Эти договоренности относительно дозиметрии следует заключать после консультаций со всеми заинтересованными сторонами.

6.88. Помимо договоренностей относительно дозиметрии, внештатным работникам следует пройти специальную подготовку для ознакомления на всех установках, на которых они будут работать, с таким оборудованием, как ускорители и рентгеногенерирующее оборудование. Эта конкретная подготовка по оборудованию должна включать в себя подробные сведения об эксплуатации и аспектах, связанных с безопасностью.

6.89. В тех случаях, когда используются аппараты, генерирующие излучение, или открытые источники, следует обеспечивать соответствие требованиям мер по обеспечению защиты и безопасности. Следует иметь в наличии оборудование радиационного мониторинга, соответствующее характеристикам полей излучения. В качестве средства снижения дозы часто используются защитные экраны, устанавливаемые между источником и медицинским персоналом и полностью или частично защищающие тело оператора. При необходимости следует также предоставлять средства индивидуальной защиты, подходящие для данной ситуации (такие, как защитные фартуки и перчатки, маски для лица или глаз и воротники для щитовидной железы).

6.90. При использовании персоналом установки или подрядчика открытых источников приобретают актуальность и должны быть рассмотрены правила и процедуры контроля поверхностного загрязнения и загрязнения воздуха, а также потенциальная потребность в программах индивидуальных измерений или дополнительном мониторинге рабочих мест с целью оценки того, имело ли место поддающееся измерению поступление радионуклидов. При принятии решений будут полезны предварительная радиологическая оценка и обсуждения с участием всех вовлеченных сторон.

6.91. Следует также принимать определенные меры предосторожности, с тем чтобы избегать непреднамеренного и аварийного медицинского облучения работников (и пациентов), которое может произойти в результате проведения работ по техническому обслуживанию, выполняемых внештатными работниками:

a) иногда, когда внештатные работники проводят техническое обслуживание, вносятся изменения в настройки системы по умолчанию (например, режимы рентгеноскопии с пульсирующим пучком рентгеновского излучения). Такие изменения следует регистрировать таким образом, чтобы пользователи систем были осведомлены о них, а ответственного медицинского физика в учреждении следует проинформировать лично;
b) во избежание возможности несчастного случая в результате временного отключения защитной блокировки во время технического обслуживания системы внештатным работником следует предусматривать резервирующие меры с целью предотвращения клинического использования системы в таких обстоятельствах;
c) по окончании любых работ, выполненных внештатным работником и влияющих на радиационные аспекты или аспекты качества изображения в системе, следует подготавливать подробный отчет и представлять его руководителю службы, где выполнялись эти работы;
d) после проведения любого технического обслуживания системы внештатным работником систему следует оставлять в состоянии готовности к использованию с пациентами. Иногда после ремонта аппарата для проявки рентгенограмм в кассеты загружаются экспонированные пленки, и это может приводить к тому, что некоторые пациенты будут облучены дважды, когда система будет использоваться в следующий раз, поскольку первые изображения были непригодны для использования.

Рудники, на которых существует облучение от радона и/или радиоактивных материалов природного происхождения

6.92. Концентрации радона в подземных рудниках зависят от условий вентиляции и поэтому могут достигать в некоторых местах высоких уровней. С добычей урановой руды (а иногда и некоторых других полезных ископаемых) может быть сопряжено внешнее облучение и внутреннее облучение работников радиоактивными материалами природного происхождения. Обычной практикой в рудниках является наем подрядчиков для проведения как краткосрочных, так и долгосрочных работ. Вопрос

о том, кто лучше всего способен взять на себя ответственность за меры радиационной защиты (включая профессиональную подготовку, медицинский надзор и использование средств индивидуальной защиты) в отношении внештатных работников, во многом зависит от характера контрактных работ, который может варьироваться в широких пределах, как это иллюстрируется следующими двумя примерами:

a) на некоторых рудниках подрядчиков нанимают для выполнения обычных повседневных горных работ, которые могут проводиться в крупных масштабах и могут продолжаться в течение длительного времени. В таких ситуациях, возможно, лучше всего возложить ответственность за управление облучением внештатных работников и его контроль на руководство рудника. Руководство уже должно обладать необходимой компетенцией и инфраструктурой, и эта компетенция и инфраструктура почти наверняка будут более значительными, чем у подрядчика;

b) подрядчики могут быть наняты для выполнения специализированных, нестандартных заданий, не являющихся частью повседневной работы рудника, таких как монтаж и техническое обслуживание установок и оборудования на шахте, выемка рудных проходов[15] и углубление шахтных стволов. Выполнение таких заданий может иногда быть связано с получением более высоких уровней облучения, чем те, которые имеют место при обычной работе. Вполне возможно, что в таких обстоятельствах подрядчик может быть лучше способен взять на себя ответственность за радиационную защиту своих работников ввиду специализированного характера работы и потому, что подрядчик выполняет эту работу на регулярной основе и, вероятно, более знаком с конкретными радиационными опасностями. Преимущество подрядчика заключается также в том, что ему легче отслеживать дозу облучения его работников в течение длительных периодов времени. С другой стороны, опыт подрядчика в проведении таких специализированных работ, возможно, был накоплен главным образом в ситуациях, когда радиологическая опасность была незначительной, и в этом случае ответственность за радиационную защиту, возможно, лучше возложить на руководство рудника, даже несмотря на то,

[15] Рудный проход представляет собой вертикальный или наклонный желоб, создаваемый при проведении подземных горных работ для нисходящего перемещения руды.

что работы носят специализированный характер. В этом случае руководству рудника следует ознакомиться с радиационными опасностями, связанными с такими специализированными работам.

6.93. Полный спектр вариантов в отношении распределения оперативных обязанностей должен оставаться открытым, и, как общее правило, ответственность должна лежать на работодателе, обладающем наивысшим уровнем компетентности и инфраструктуры в области радиационной защиты при выполнении соответствующих заданий. Поскольку многие рабочие места в рудниках являются удаленными и относительно недоступными, надзор за проведением работ может быть затруднен. Следует обеспечивать тесное и устойчивое взаимодействие между руководством рудника и подрядчиком.

Установки по добыче и переработке полезных ископаемых

6.94. Установки по добыче и переработке полезных ископаемых обычно предполагают использование радиоактивных материалов и/или генераторов излучения. В измерительных и контрольных устройствах широко используются закрытые источники, зачастую очень высокой активности. При проверке целостности трубопроводов и емкостей под давлением повсеместно используется промышленное рентгеногенерирующее оборудование. Открытые радиоактивные материалы часто используются в качестве радиоизотопных индикаторов, например, в нефте- и газопроводах [26]. Кроме того, присутствие минералов и остатков переработки полезных ископаемых может приводить к облучению радиоактивными материалами природного происхождения [24–29].

6.95. На таких установках широко используются подрядчики, которые не всегда обладают необходимыми специальными знаниями в области защиты и безопасности, позволяющими им взять на себя ответственность за контроль облучения своих работников. В химической промышленности и нефтегазовой промышленности широко распространена практика использования подрядчиков для выполнения специализированных работ, таких как удаление накипи и осадка из внутренней части резервуаров или снос и удаление ненужной установки, и эти операции могут включать работу на частях установки, загрязненных радиоактивными материалами природного происхождения. В таких ситуациях внештатные работники зачастую работают на конкретной установке намного менее года, однако они могут подвергаться облучению, которое в случае его продолжения

приведет к тому, что годовые дозы приблизятся к соответствующим пределам дозы или превысят их. Профессиональное облучение таких работников следует тщательно контролировать.

6.96. Характер многих специализированных заданий, с выполнением которых связано облучение внештатных работников радиоактивными материалами природного происхождения с относительно высокими концентрациями активности (например, удаление обогащенной радием накипи с труб), таков, что могут существовать значительные возможности для оптимизации доз. Существенного снижения доз можно добиться путем внесения в работу относительно простых изменений (см., например, [26]). Руководство установки и руководство подрядчика должны быть готовы к возможности того, что выполнение требований по оптимизации может быть упущено из виду скорее при выполнении специализированных задач с участием внештатных работников, чем при обычной эксплуатации установки.

6.97. Во многих случаях знания подрядчика о защите и безопасности ограниченны. Работники подрядчика должны быть осведомлены о последствиях работ для радиационной защиты и о процедурах ограничения облучения. Руководству установки и подрядчику следует обсуждать аспекты радиационной защиты работ на этапе планирования. К числу охватываемых тем должны относиться следующие:

a) опасности, создаваемые закрытыми источниками (например, ядерными датчиками) и радиоактивными материалами природного происхождения (например, накипью, обогащенной радием) в различных частях установки;
b) наличие контролируемых зон или зон наблюдения;
c) процедуры, которые должны соблюдаться с целью оптимизации защиты таким образом, чтобы облучение сохранялось на разумно достижимом низком уровне;
d) использование надлежащих средств индивидуальной защиты;
e) надзор;
f) оценка доз и ведение регистрационных записей доз;
g) обращение с отходами;
h) подготовка кадров;
i) действия, которые необходимо предпринимать в случае неполадок или выхода из строя систем вентиляции, пылеулавливания или других соответствующих систем контроля.

6.98. Оператору площадки следует, в случае необходимости, оказывать подрядчику помощь в проведении предварительной радиологической оценки и в разработке местных правил и процедур. С учетом характера работ и мер предосторожности, которые должны быть приняты, работникам подрядчика следует пройти подготовку по опасностям облучения, путям облучения, процедурам, которые необходимо соблюдать с целью ограничения облучения, и обязанностям лица, ответственного за радиационную защиту. Оператору площадки следует, при необходимости, организовать это обучение от имени подрядчика.

6.99. Руководству установки следует также, при необходимости, обсудить с подрядчиком любые нерадиологические риски на установке или, в частности, на рабочей площадке, где будут находиться внештатные работники. Руководству следует обеспечивать разработку взаимосогласованных методов управления такими рисками в увязке с радиационными рисками.

6.100. Характер специализированных заданий, с выполнением которых связано облучение внештатных работников радиоактивными материалами природного происхождения с относительно высокими концентрациями активности, таков, что могут существовать значительные возможности для оптимизации доз. Существенного снижения прогнозируемых доз можно добиться путем внесения в план работы относительно простых изменений. В качестве примера можно привести использование инженерно-технических мер контроля для уменьшения накопления накипи, шлама и осадков или для облегчения работ по техническому обслуживанию, связанных с удалением накопленных загрязнителей. Может также оказаться, что при разумном выделении ресурсов изменения местных правил и процедур для этого вида работ приведут к уменьшению доз. Подрядчикам и руководству установки следует быть готовыми к возможности того, что выполнение требований по оптимизации может потребовать повышенного внимания со стороны руководства к выполнению специализированным заданий с участием внештатных работников.

7. МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

ОЦЕНКА ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Программа мониторинга

7.1. Дозы, получаемые работниками от внешнего облучения, следует оценивать и в большинстве случаев они могут быть легко оценены по результатам систематической программы индивидуального мониторинга. Дозы также могут оцениваться по результатам мониторинга рабочих мест. В документе GSR Part 3 [2] изложены требования в отношении использования индивидуального мониторинга и мониторинга рабочих мест для целей оценки доз (см. пункт 3.116).

Индивидуальный мониторинг

7.2. В тех случаях, когда необходимо осуществлять индивидуальный мониторинг работников, каждому работнику следует предоставлять интегрирующий персональный дозиметр.

7.3. Индивидуальную дозиметрию следует проводить службе дозиметрии, утвержденной регулирующим органом. Регулирующему органу следует требовать от такой службы предоставления дозиметров, способных измерять $H_p(10)$, $H_p(3)$ и/или $H_p(0{,}07)$, в зависимости от обстоятельств, с достаточной точностью для всех соответствующих видов излучения. Руководящие материалы по системе менеджмента для поставщиков услуг в области дозиметрии содержатся в разделе 8.

7.4. С целью контроля индивидуального облучения на ежедневной основе или во время выполнения конкретного задания следует рассмотреть вопрос о необходимости использования дополнительных прямопоказывающих дозиметров (т.е. активных дозиметров). Прямопоказывающие дозиметры могут обеспечивать оценки дозы отдельного лица с частотой, превышающей частоту, обеспечиваемую при типичной стандартной дозиметрии, и могут давать информацию о мощности дозы. Такой дозиметр может быть полезен для целей оптимизации.

7.5. Хотя активный дозиметр обычно используется только для целей контроля дозы, он также может быть использован с предварительного одобрения регулирующего органа в качестве замены дозиметра, назначенного регулирующим органом для целей ведения учета (дозиметра для регистрации облучения). В таких случаях следует применять такие же процедуры утверждения регулирующим органом. Активный дозиметр должен иметь конструкцию, позволяющую использовать его в качестве дозиметра для регистрации облучения. Он должен, например, обеспечивать измерение в надлежащем диапазоне энергии с требуемой чувствительностью, линейностью и точностью; он должен быть надежным; и следует предусматривать соответствующие меры по контролю качества и процедуры периодической калибровки. Следует учитывать, что активные дозиметры (особенно электронные дозиметры) зачастую плохо работают в импульсных полях излучения. Это должно быть важным соображением при, например, измерении дозы в хрусталике глаза, $H_p(3)$, в интервенционных процедурах с визуальным контролем при медицинском использовании излучения. Функциональные испытания электронных дозиметров импульсных полей ионизирующего излучения следует проводить в соответствии с [45].

7.6. В большинстве случаев достаточно одного дозиметра, носимого на торсе. Этот дозиметр следует размещать в таком месте, где ожидается наивысший уровень облучения на поверхности торса. В случае, когда излучение поступает главным образом спереди, или когда ожидается, что поступающее излучение будет вращательно-симметричным или изотропным, дозиметр следует носить на передней стороне торса, между плечами и талией. И наоборот, если излучение поступает главным образом со спины, дозиметр следует носить на задней стороне торса (см. пункт 7.121).

7.7. В неоднородном поле излучения работникам может быть полезно носить дополнительные дозиметры на других частях тела, с тем чтобы улучшить оценку полученной эффективной дозы. В некоторых ситуациях, например, при медицинском использовании излучения, когда можно использовать защитную одежду, такую как свинцовые фартуки, рекомендуется использовать один дозиметр под защитной одеждой и один на незащищенной части тела. Показания двух дозиметров затем могут быть объединены с помощью подходящих алгоритмов для оценки суммарной эффективной дозы. Существует ряд доступных алгоритмов, и точность зависит от многих факторов, таких как толщина носимого свинцового

фартука, использование рентгенозащитного воротника для щитовидной железы и параметры облучения. Дополнительную информацию об использовании таких алгоритмов можно найти в [46–48].

7.8. Если работник может получить эквивалентную дозу в конечностях, коже или хрусталике глаза, которая составляет значительную долю соответствующего предела дозы, указанного в пунктах 3.35 и 3.39, используемая индивидуальная дозиметрия должна обеспечивать получение информации, необходимой для оценки эквивалентной дозы в соответствующей ткани или органе. В ситуациях с неоднородными условиями облучения, при которых мониторинг всего тела не дает адекватной оценки дозы в коже, конечностях или хрусталике глаза, мониторинг этих тканей и органов следует проводить отдельно. Например:

a) мониторинг рук и пальцев следует рассматривать в отношении тех рабочих мест, на которых конечности особенно близки к излучателю или пучку излучения, например, в ситуациях, когда радиоактивные источники используются в исследованиях, ядерной медицине и демонтажных работах;
b) мониторинг конечностей, включая мониторинг стоп, следует рассматривать в интервенционной кардиологии или радиологии и на рабочих местах в ядерной медицине;
c) мониторинг кожи следует рассматривать на рабочих местах, где кожа находится вблизи излучателя или пучка излучения или может подвергнуться радиоактивному загрязнению, например, при обращении с открытыми источниками;
d) мониторинг хрусталика глаза следует рассматривать на тех рабочих местах, где глаза особенно близки к излучателю (который также может быть источником диффузного излучения) или к пучку излучения. К работникам, для которых облучение хрусталика глаза может иметь важное значение и для которых следует рассматривать мониторинг, относятся работники медицинского сектора, такие как персонал, работающий в непосредственной близости от пациентов при выполнении интервенционных процедур с визуальным контролем, персонал, осуществляющий определенную деятельность в ядерной медицине, персонал, участвующий в ручной брахитерапии, персонал, участвующий в проведении биопсии под контролем компьютерной томографии и инженеры, работающие на циклотронах. Другими примерами работников, которые могут получать значительные дозы в хрусталике глаза, являются работники ядерных установок, такие как

те, которые участвуют в производстве смешанного оксидного топлива, в лабораторных исследованиях с использованием перчаточных камер и в работах по выводу из эксплуатации.

7.9. При использовании дозиметров для конечностей их следует носить на тех местах, где они будут измерять дозу в тех участках тела, которые, как ожидается, получат наивысшую дозу. Часто место, где доза в коже или конечностях максимальна, заранее не известно, или на этих местах невозможно носить дозиметр. В таких случаях для оценки максимальной дозы следует использовать поправочный коэффициент [49].

7.10. Когда необходимо контролировать дозу в хрусталике глаза, в идеале следует измерять индивидуальный эквивалент дозы $H_p(3)$. Однако соответствующие дозиметры $H_p(3)$ еще не являются легкодоступными, и при определенных обстоятельствах измерение $H_p(0{,}07)$ или иногда $H_p(10)$ может обеспечивать достаточно точную оценку $H_p(3)$ [11]. Дополнительные подробные сведения содержатся в [50]. Необходимость отдельного дозиметра для хрусталика глаза и его расположение на теле зависят от типа, энергии, направления и однородности поля излучения, а также от использования экранирования:

a) в случае нейтронного излучения, когда обычно присутствуют однородные поля излучения, отдельная дозиметрия хрусталика глаза не требуется, поскольку мониторинг облучения нейтронами всего тела обычно дает консервативную оценку дозы в хрусталике глаза, независимо от энергии и направления распространения излучения (см. пункт 246 в [9], а также таблицу 1 в [51] в сравнении с таблицей A.41 в [9]);
b) для фотонного излучения отдельная дозиметрия хрусталика глаза обычно является единственным подходящим методом определения дозы в хрусталике глаза:
   i) если поле излучения неоднородно, дозиметр всегда следует располагать вблизи глаз, по возможности в контакте с кожей и обращенным к источнику излучения;
   ii) обычно приемлемо измерять $H_p(0{,}07)$, но не $H_p(10)$ [11, 52]; однако измерение $H_p(10)$ также может быть приемлемым, если средняя энергия фотонов превышает приблизительно 40 кэВ и если излучение падает главным образом спереди или человек перемещается в поле излучения [52];

iii) если используется защита глаз в виде свинцовых очков, дозиметр предпочтительно следует располагать за защитой глаз; если это практически невозможно, дозиметр следует носить над глазами или рядом с ними и, возможно, закрывать фильтром, имитирующим затухание, обеспечиваемое свинцовыми очками;

iv) если используется экранирование торса (например, свинцовый фартук), мониторинг вблизи глаз необходим, поскольку мониторинг за экранированием занижает дозу в хрусталике глаза;

c) для бета-излучения мониторинг необходим только в том случае, если его максимальная энергия превышает 700 кэВ, поскольку бета-излучение меньшей энергии не проникает в хрусталик глаза:

i) если используются защитные очки (например, из стекла), которые достаточно толсты для поглощения бета-излучения[16], следует учитывать только фотонное излучение, однако следует учитывать любые вклады тормозного излучения (как снаружи, так и позади защитного экрана), генерируемого бета-излучением высокой энергии;

ii) если не используются соответствующие защитные очки, то необходима отдельная дозиметрия хрусталика глаза, и $H_p(3)$ — это та величина, которую следует измерять;

iii) поскольку поля бета-излучения обычно довольно неоднородны, дозиметр следует располагать вблизи глаз.

7.11. Для некоторых категорий работников при оценке индивидуальной дозы, возможно, будет достаточно использовать инструментальные средства для расчета. Например, поля космического излучения в воздушных судах являются достаточно однородными и предсказуемыми. Были разработаны компьютерные коды для оценки доз космического излучения, получаемых экипажами воздушных судов, и была проведена их валидация путем измерений (см. пункт 5.80).

7.12. Период использования дозиметра (период мониторинга) следует устанавливать руководству на основе рекомендаций, при необходимости, квалифицированного эксперта или специалиста по радиационной защите и поставщика услуг в области дозиметрии. Следует учитывать вид выполняемых работ, ожидаемое облучение, связанное с выполнением этих работ, характеристики дозиметров (например, характеристики затухания), общий предел обнаружения дозиметрической системы и,

---

[16] Например, для поглощения бета-излучения ^{90}Y достаточно около 10 мм полиметилметакрилата.

если применимо, любые дополнительные требования регулирующего органа. Если облучение не является особенно низким или однородным во времени, то обычно следует использовать период мониторинга продолжительностью один месяц. Если характеристики дозиметра позволяют, то для уровней облучения, которые, как правило, приводят к дозам, значительно более низким, чем соответствующий предел дозы, могут быть приемлемы периоды мониторинга продолжительностью до трех месяцев. В тех случаях, когда мощность экспозиционной дозы является весьма неоднородной, может оказаться целесообразным установить период мониторинга продолжительностью от недели до месяца. Более короткие периоды мониторинга, такие как одна неделя или даже периоды, равные продолжительности конкретной процедуры, могут быть целесообразны при внедрении новых процедур, при оптимизации условий работы или при наличии высокой вероятности облучения. Если требуется ежедневный мониторинг, следует использовать прямосчитывающий дозиметр.

Мониторинг рабочего места

7.13. Следует тщательно рассмотреть вопрос о выборе мест для мониторинга рабочего места и о количестве используемых приборов. Места, выбранные для мониторинга рабочего места, должны быть типичными с точки зрения присутствия на них работников, определяемого на основе ожидаемой оперативной деятельности. Если характеристики поля излучения хорошо определены, оно однородно в пространстве и со временем существенно не меняется, следует рассмотреть вопрос о том, является ли достаточно оправданной установка лишь нескольких приборов для мониторинга рабочего места или даже одного такого прибора. И наоборот, если мощность дозы значительно изменяется во времени или в пространстве, следует использовать большее число приборов для мониторинга. Использование портативных приборов может оказаться полезным при условии ведения подтверждающей документации с указанием места и времени каждого измерения.

7.14. Периодичность текущего мониторинга рабочего места должна зависеть от коэффициента заполняемости и ожидаемых изменений радиационной обстановки:

а) в тех случаях, когда существенных изменений в защитном экранировании или процессах, проводимых на рабочем месте, ожидать не следует, текущий мониторинг следует использовать лишь изредка, для целей проверки;

b) в тех случаях, когда ожидаются изменения поля излучения на рабочем месте, но маловероятно, что они будут быстрыми или серьезными, следует проводить периодические проверки или проверки на случайной основе, главным образом в заранее установленных местах, что обычно обеспечивает достаточное и своевременное предупреждение об ухудшении условий;
c) в тех случаях, когда внезапное неожиданное увеличение облучения может приводить к получению работником значительной дозы облучения, следует предусматривать непрерывный мониторинг облучения;
d) в тех случаях, когда индивидуальные дозы оцениваются на основе результатов текущего мониторинга рабочего места, этот мониторинг рабочего места должен быть непрерывным и должен быть репрезентативным для всех рабочих зон на месте производства работ.

Выбор системы мониторинга

Индивидуальные дозиметры

7.15. Выбор индивидуального дозиметра должен основываться на условиях на месте производства работ, таких как вид излучения и его энергетическое распределение и распределение по направлениям, диапазон ожидаемых доз и мощностей дозы, а также условия окружающей среды.

7.16. В частности, следует использовать дозиметры следующих типов:

a) фотонные дозиметры, дающие информацию только об индивидуальном эквиваленте дозы $H_p(10)$;
b) дозиметры фотонов, генерируемых бета-излучением, дающие информацию об индивидуальных эквивалентах дозы $H_p(0{,}07)$ и $H_p(10)$;
c) дозиметры для конечностей, дающие информацию о $H_p(0{,}07)$ для фотонного излучения, генерируемого бета-излучением;
d) дозиметры для хрусталика глаза, дающие информацию о $H_p(3)$ или $H_p(0{,}07)$ для бета-фотонного излучения (а для нейтронов, если производится обращение с источниками нейтронов, $H_p(10)$ может обеспечивать приблизительную оценку $H_p(3)$); дозиметры, специально разработанные для измерения $H_p(3)$, еще не являются общедоступными (однако см. пункт 2.38);
e) нейтронные дозиметры, дающие информацию о $H_p(10)$.

7.17. В случае полей излучения, для которых следует учитывать только фотонное излучение, обычно достаточно измерять только $H_p(10)$. Поэтому в большинстве практических ситуаций достаточно простого дозиметра. В случае широкого спектра энергий фотонов следует рассматривать использование термолюминесцентных дозиметров, люминесцентных дозиметров с оптической стимуляцией, дозиметров на фотолюминесцентном стекле или фотопленочных дозиметров при условии, что они обладают надлежащими характеристиками по диапазону энергий и угловой зависимости. Кроме того, существует ряд активных дозиметров (или полуактивных дозиметров, таких как дозиметр «с непосредственным накоплением ионов»), которые могут надежно измерять $H_p(10)$.

7.18. Значение $H_p(10)$ может быть оценено с помощью одного детектора, энергетическая зависимость которого должна быть такой, чтобы выходной сигнал был приемлемо пропорционален поглощенной дозе в ткани (т.е. быть тканеэквивалентным) и который должен быть покрыт материалом, толщина которого соответствует толщине мягких тканей 10 мм. Такой дозиметр должен реагировать на обратное рассеянное излучение от организма. Если детектор не является в приемлемой степени тканеэквивалентным, следует использовать несколько детекторов и объединять результаты их измерений с использованием подходящего алгоритма.

7.19. Измерение $H_p(10)$ часто является достаточным для оценки облучения работника. Однако, если поле излучения содержит значительную долю слабопроникающего излучения (такого как бета-частицы или фотоны с энергией менее 15 кэВ), $H_p(0{,}07)$ может быть сопоставимым или значительно большим, чем $H_p(10)$. Для таких полей дозиметр должен быть способен измерять индивидуальный эквивалент дозы на глубине 0,07 мм.

7.20. Для измерения $H_p(0{,}07)$ может оказаться достаточным простой одноэлементный дозиметр. Для обеспечения лучшей точности измерения низкоэнергетического бета-излучения детектор должен быть тонким и отфильтрован по толщине тканезамещающего материала таким образом, чтобы можно было оценить дозу на номинальной глубине 7 мг/см^2 (или 0,07мм)[17]. Например, достаточно будет провести измерение

[17] При обсуждении измерения и воздействия бета-излучения «толщины» материала часто выражаются в единицах миллиграммов на квадратный сантиметр, чтобы обеспечить прямое сравнение между материалами различной плотности. Для тканеэквивалентного материала плотность составляет 1 г/см^2, поэтому 7 мг/см^2 соответствует глубине 0,07 мм.

с использованием тканеэквивалентного детектора толщиной 5 мг/см^2, соответствующей эффективной толщине 3 мг/см^2, под тканеэквивалентным фильтром толщиной приблизительно 4 мг/см^2.

7.21. При выборе и использовании дозиметров для измерения конечностей следует учитывать практические соображения в отношении лиц, которые их носят. Например, максимальная доза в коже руки часто приходится на кончик пальца, но некоторым группам работников может быть трудно носить дозиметры для конечностей на пальцах, особенно на кончиках пальцев. Кроме того, не всегда заранее известно, где будет получена максимальная доза в коже. Проблемы могут возникать из-за требований относительно стерилизации или ввиду необходимости носить дозиметры под перчатками. Также могут возникать проблемы радиоактивного загрязнения, связанные с дозиметром. В таких ситуациях могут существовать серьезные ограничения в отношении конструкции и размеров дозиметра. При отсутствии подходящего дозиметра следует найти прагматическое решение (например, использование дозиметра на основании пальца, а не на кончике пальца) и при необходимости применять поправочные коэффициенты.

7.22. Большинство типов нейтронных дозиметров не могут предоставлять с достаточной точностью и во всем интересующем диапазоне энергий информацию об индивидуальных эквивалентах дозы, обусловленных нейтронным излучением. Если требуется индивидуальный мониторинг облучения нейтронами, необходимы дополнительные усилия. Поскольку в нейтронных полях всегда присутствует гамма-излучение, фотонный дозиметр всегда следует носить вместе с нейтронным дозиметром. В некоторых нейтронных полях было обнаружено, что отношение индивидуального эквивалента дозы, обусловленного нейтронным излучением, к индивидуальному эквиваленту дозы, обусловленному гамма-излучением, варьируется на порядки величины. Таким образом, индивидуальные эквиваленты дозы, обусловленные нейтронным излучением, не могут быть получены с достаточной точностью на основе измерений индивидуального эквивалента дозы, обусловленного гамма-излучением, исходя из предположения об их постоянном соотношении для данного рабочего места.

7.23. Дозы облучения, обусловленного тепловыми, промежуточными и быстрыми нейтронами, могут быть оценены с использованием дозиметров различных типов, таких как альбедо-дозиметр, трековый дозиметр, пузырьковый детектор или электронный дозиметр. Однако каждый тип

дозиметра нейтронов имеет свои специфические ограничения с точки зрения диапазона энергии нейтронов, чувствительности, практической полезности и чувствительности к фотонам. Поэтому выбор нейтронной дозиметрической системы не прост и будет зависеть от многих практических аспектов.

7.24. Одним из основных ограничений существующих систем нейтронной дозиметрии является энергетическая зависимость. Ни один нейтронный дозиметр не может одновременно измерять тепловые, промежуточные и быстрые нейтроны с той же точностью, которую можно получить для измерения фотонного излучения с помощью фотонных дозиметров. Поэтому при значительных дозах нейтронов необходимо более детальное изучение нейтронного спектра на рабочем месте. С этой информацией следует применять для показаний дозиметра коэффициент поправки на локальную энергию. На этот коэффициент поправки на локальную энергию может существенно повлиять распределение нейтронного поля по направлениям.

7.25. Выбор дозиметра для использования в конкретном поле излучения может потребовать применения нормализующего множителя с целью сведения к минимуму неопределенностей при измерении $H_p(10)$ и оценке эффективной дозы.

7.26. Существуют ситуации, в которых интенсивность поля излучения, воздействующего на работника, может неожиданно и значительно возрасти (например, в десять раз). Для контроля доз в таких ситуациях следует использовать дополнительные дозиметры, которые могут давать раннюю информацию о краткосрочных изменениях поля излучения в рабочей среде. Примером дозиметра такого типа является активный сигнальный дозиметр, который подает звуковой или визуальный сигнал тревоги при превышении определенного уровня дозы или мощности дозы.

7.27. Для краткосрочных операций в высокоинтенсивных полях излучения следует разрабатывать специальные программы мониторинга, включающие использование активных сигнальных устройств. В сильно неоднородных полях излучения следует носить дополнительные дозиметры для тела и конечностей (например, на пальцах, лодыжках, коленях или голове). В настоящее время имеются активные дозиметры для мониторинга конечностей.

7.28. Дополнительная информация о системах персонального мониторинга для оценки внешнего облучения представлена в добавлении II.

Системы и приборы для мониторинга рабочего места

7.29. Прибор для мониторинга рабочего места должен соответствовать его предполагаемому использованию. Следует внимательно удостовериться в том, что прибор подходит для вида излучения, подлежащего измерению, и что на его результаты не оказывают серьезного влияния другие виды излучения, которые могут иметь место.

7.30. Прибор для мониторинга мощности дозы на рабочем месте должен, как правило, обладать следующими характеристиками:

a) прибор должен показывать мощность эквивалентной дозы, хотя иногда следует рассмотреть дополнительные функции, такие как расчет накопленной дозы или время, оставшееся для безопасного пребывания;
b) диапазон мощности дозы прибора должен быть достаточным для охвата диапазона мощности дозы, который можно обоснованно ожидать на практике;
c) когда уровень облучения монитора выходит за пределы его рабочего диапазона, должен показываться высокий уровень, выходящий за пределы диапазона.

7.31. В зонах, где возможность внезапного неожиданного повышения интенсивности облучения требует постоянного мониторинга рабочего места (см. пункт 7.14(c)), приборы для мониторинга на рабочем месте следует устанавливать стационарно и оснащать соответствующей звуковой и/или визуальной сигнализацией для предупреждения о недопустимых условиях. Показываемый отсчет может в надлежащих случаях быть направлен в диспетчерскую для инициирования оперативных действий.

7.32. Для смешанных полей бета-гамма излучения, в которых относительный вклад бета- и гамма-излучения в мощность эквивалентной дозы может существенно изменяться вследствие незначительных изменений в производимых операциях, следует рассмотреть вопрос о необходимости использования двух типов приборов. В качестве альтернативы может быть использован один прибор при условии, что он способен измерять как амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$, так и направленный эквивалент дозы $H'(0{,}07, \Omega)$.

7.33. Мониторинг рабочего места также может выполняться с помощью пассивных дозиметров, имеющих широкий динамический диапазон. Однако в целом такие дозиметры не идеально подходят для применения при оценке дозы, особенно в тех случаях, когда мощности дозы могут существенно меняться со временем, поскольку они не дают информации о временной зависимости поля излучения.

7.34. Спектрометры могут быть полезным дополнением к приборам для мониторинга рабочих мест, и они необходимы, когда информация о спектре излучения будет дополнительно поддерживать работу прибора для мониторинга рабочих мест.

7.35. Хотя мониторинг рабочего места можно использовать в соответствующих местах для оценки доз в хрусталике глаза, в настоящее время отсутствуют приборы для мониторинга рабочего места, позволяющие проводить измерения направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$; поэтому при выборе альтернативных приборов необходимо проявлять особую осторожность. В этой связи применимы те же соображения, что и при измерении индивидуального эквивалента дозы $H_p(3)$ (см. пункт 7.10).

7.36. Измерение полей космического излучения на борту пассажирских воздушных судов описано в [53–55]. В настоящее время такие измерения не проводятся на регулярной основе для целей оценки облучения, поскольку было показано, что дозы, получаемые экипажами воздушных судов, могут быть надежно рассчитаны с использованием компьютерных кодов и с использованием в качестве исходных данных маршрутов и высот полетов (см. пункты 5.80 и 7.11). Если такие измерения требуются на нерегулярной основе, следует использовать приборы для измерения амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ [38]. Необходимы приборы, чувствительные к нейтронам, а также к излучению с низкой линейной передачей энергии. Некоторые приборы, такие как тканеэквивалентные пропорциональные счетчики, кремниевые полупроводниковые спектрометры линейной передачи энергии и рекомбинационные ионизационные камеры, способны измерять компоненты дозы для излучения как с высокой, так и с низкой линейной передачей энергии. По этой причине в качестве эталонных приборов для измерений космического излучения были предложены такие приборы, в частности тканеэквивалентный пропорциональный счетчик. В альтернативном варианте для целей дозиметрии поле может быть разделено на компоненту для частиц с низкой линейной передачей энергии (≤5 кэВ/мкм) и компоненту для частиц с высокой линейной передачей энергии (>5–10 кэВ/мкм); или, в ином варианте, на две слегка различных

компоненты, ненейтронную компоненту и нейтронную компоненту, которая включает вклад в мощность эквивалента дозы протонов с высокой энергией. Поглощение энергии частицами с низкой линейной передачей энергии может быть определено с помощью ионизационных камер, сцинтилляционных счетчиков, детекторов на основе кремния, пассивных люминесцентных детекторов или ионных накопителей. Компонента с высокой линейной передачей энергии может быть измерена с помощью специальных приборов для нейтронной дозиметрии (с расширенным диапазоном энергии), пассивных трековых детекторов, пузырьковых детекторов (детекторов на основе перегретых капель) или фольги из делящегося вещества с трековыми детекторами.

7.37. Индивидуальные дозиметры, в принципе, не подходят для мониторинга рабочего места, поскольку измеряемые величины различны. Величина эквивалентной дозы при мониторинге рабочего места определяется в свободном воздухе, а коэффициент пересчета из воздушной кермы не зависит от угла падения излучения. Величина для индивидуального мониторинга определяется в фантоме, а коэффициент преобразования сильно зависит от угла падения излучения, особенно при низких энергиях. В тех случаях, когда имеются веские основания для использования индивидуального дозиметра при мониторинге рабочего места, например, путем его установки на стене в контролируемой зоне, такое использование должно, по крайней мере, сопровождаться тщательным рассмотрением связанной с этим дополнительной неопределенности. Для оценки этой неопределенности могут использоваться результаты типового испытания с точки зрения $H^*(10)$ (см. пункты 7.94 и 7.95).

7.38. Дополнительная информация о приборах для мониторинга на рабочем месте с целью оценки внешнего облучения представлена в добавлении III.

Спецификации оборудования для мониторинга

Индивидуальные дозиметры

7.39. Основные спецификации дозиметрических характеристик для индивидуальных дозиметров должны быть такими, чтобы они соответствовали целям индивидуального мониторинга. Информацию, касающуюся спецификаций дозиметрических характеристик, можно найти в различных публикациях, включая [9, 56–61].

7.40. Основная цель индивидуальной дозиметрии заключается в обеспечении надежного измерения операционных величин $H_p(10)$, $H_p(3)$ и $H_p(0{,}07)$ почти для всех практических ситуаций, независимо от типа, энергии и направления распространения излучения и с предписанной общей точностью. Другие характеристики дозиметров, которые следует учитывать с практической точки зрения, включают их размер, форму и вес, а также их идентификацию.

7.41. Точность, которую можно ожидать при проведении измерений индивидуальными дозиметрами на рабочем месте, обсуждается в пункте 251 документа [56], который гласит:

> «Комиссия отметила, что на *практике обычно можно без труда достигнуть точности около 10% при доверительном уровне 95% для измерения полей излучения в хороших лабораторных условиях (пункт 271, публикация 60* [15]*).* На рабочем месте, где энергия и ориентация поля излучения редко известны, погрешность измерения, выполненного с помощью индивидуального дозиметра, будет значительно большей. Неоднородность и неопределенность ориентации поля излучения приведут к ошибкам в использовании стандартных моделей. Общая погрешность при доверительном уровне 95% в оценке эффективной дозы вблизи соответствующего предела дозы вполне может описываться коэффициентом 1,5 в любом направлении для фотонов и может быть существенно больше для нейтронов неопределенной энергии и для электронов. Более значительная неопределенность также неизбежна при низких уровнях эффективной дозы для всех качеств излучения».

Строго говоря, это утверждение относится к оценке эффективной дозы и эквивалентной дозы, но для доз ниже соответствующего годового предела дозы оно также может быть применено к операционным величинам.

7.42. Заявление МКРЗ, процитированное в пункте 7.41 следует понимать как означающее, что для доз порядка годовых пределов дозы измеренные годовые дозы, получаемые индивидуумом — $H_p(10)$, $H_p(3)$ и $H_p(0{,}07)$, показываемые рядом базовых дозиметров, регулярно выдаваемых в течение года и носимых на поверхности тела, — не должны отличаться более чем на −33% или +50% (при доверительном уровне 95%) от индивидуальных эквивалентов дозы, которые будет показывать идеальный дозиметр, носимый в той же точке и в течение тех же периодов времени.

7.43. Для единичных измерений операционных величин МКРЕ [58] рекомендует следующее:

> «в большинстве случаев общая неопределенность одного стандартного отклонения в 30% должна быть приемлемой. …Погрешность приборов может существенно превышать этот предел при некоторых энергиях излучения и для определенных углов падения, но соответствовать ему, когда они возникают в поле излучения с широким спектром энергии и широким угловым распределением».

7.44. Что касается определения величины уровня регистрации (т.е. дозы, выше которой требуется регистрация доз), то МКРЗ указывает в пункте 232 документа [56], что:

> «В настоящее время Комиссия считает, что уровень регистрации для индивидуального мониторинга должен основываться на продолжительности периода мониторинга и годовой эффективной дозе, составляющей не менее 1 мЗв, или годовой эквивалентной дозе, составляющей около 10% от соответствующего предела дозы».

Дозы чуть ниже этого уровня регистрации не будут включены в оценки дозы работника, и это, следовательно, указывает на то, что абсолютная погрешность R (с точки зрения дозы) является приемлемой, где R определяется формулой:

$$R = L \cdot \frac{\text{период мониторинга (месяцы)}}{12} \tag{24}$$

Здесь L составляет 1 мЗв или 10% от соответствующего годового предела эквивалентной дозы, в зависимости от обстоятельств. Это устанавливает реалистичный критерий точности для измерения доз в диапазоне низких доз. Следовательно, минимальный уровень обнаружения должен быть равен по крайней мере уровню регистрации. Руководящие материалы по минимальным уровням обнаружения и другим характеристическим параметрам при измерении излучения приведены в [62].

7.45. Таким образом, рекомендации МКРЗ в [56] указывают на приемлемые уровни неопределенности при двух уровнях дозы:

а) в области вблизи соответствующего предела дозы считается приемлемым коэффициент 1,5 в любом направлении;

b) в области уровня регистрации подразумевается приемлемая неопределенность ±100%.

7.46. Такая формулировка приемлемых неопределенностей приводит к ступенчатой функции, и поэтому желательна процедура сглаживания. Для облегчения этой процедуры рекомендация о приемлемых неопределенностях в диапазоне промежуточных доз взята из более ранней публикации МКРЗ [63]. В этой публикации рекомендуется, чтобы коэффициент два в любом направлении был приемлемой неопределенностью для доз, составляющих около одной пятой от соответствующего предела дозы. Исходя из этого, допустимый интервал точности может быть сглажен как функция уровня дозы [64]. Верхний предел R_{UL} задается как:

$$R_{\mathrm{UL}} = 1.5\left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_1}\right) \tag{25}$$

где H_1 - обычная истинная доза, а H_0 - самая низкая доза, которую необходимо измерить (т.е. уровень регистрации, который равен R в уравнении (24)). Верхний предел R_{UL} задается как:

$$R_{\mathrm{LL}} = \begin{cases} 0 & \text{для } H_1 \le H_0 \\ \dfrac{1}{1.5}\left(1 - \dfrac{2H_0}{H_0 + H_1}\right) & \text{для } H_1 \ge H_0 \end{cases} \tag{26}$$

7.47. Для $H_{\mathrm{p}}(10)$ с периодом мониторинга 1 месяц H_0 составляет 0,08 мЗв (при использовании 1 мЗв в уравнении (24)). Для $H_{\mathrm{p}}(0{,}07)$ с периодом мониторинга 1 месяц H_0 составляет 4,2 мЗв (исходя из 10% годового предела 500 мЗв для конечностей или кожи). Для $H_{\mathrm{p}}(3)$ с периодом мониторинга 1 месяц H_0 составляет 0,17 мЗв (исходя из 10% годового предела 20 мЗв для хрусталика глаза). Разумеется, эти уровни регистрации зависят от периодов мониторинга. Интервалы точности для $H_{\mathrm{p}}(10)$ и $H_{\mathrm{p}}(0{,}07)$, наиболее широко используемых величин, графически показаны на рис. 4. Следует отметить, что любые изменения значения уровня регистрации будут влиять на форму кривой в форме духовой трубы в области низких доз.

7.48. Критерии эффективности, представленные в этих пунктах, следует использовать для демонстрации того, что рекомендации МКРЗ [56] в отношении общей точности были выполнены. Вместе с тем признается, что национальные требования могут обусловливать необходимость

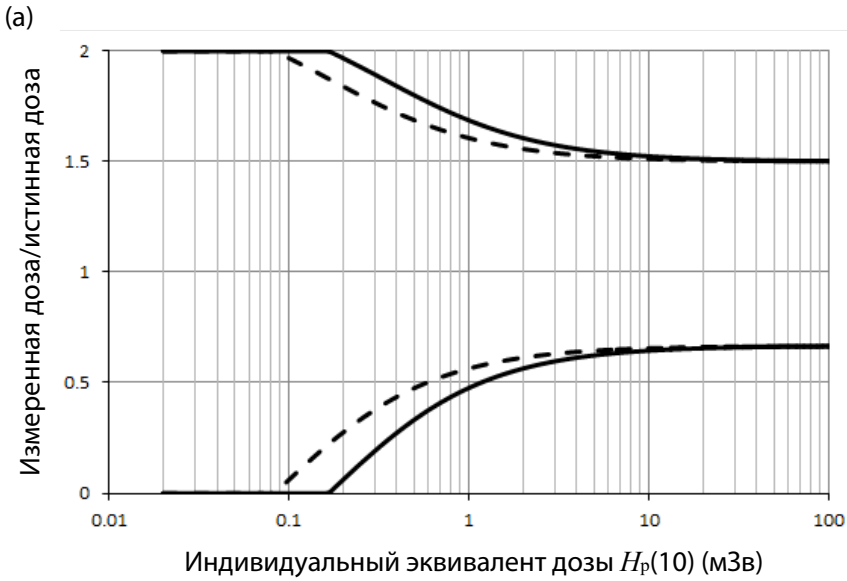
принятия других критериев, которые могут быть более строгими или иметь более высокую математическую строгость, для целей аккредитации и функциональных испытаний.

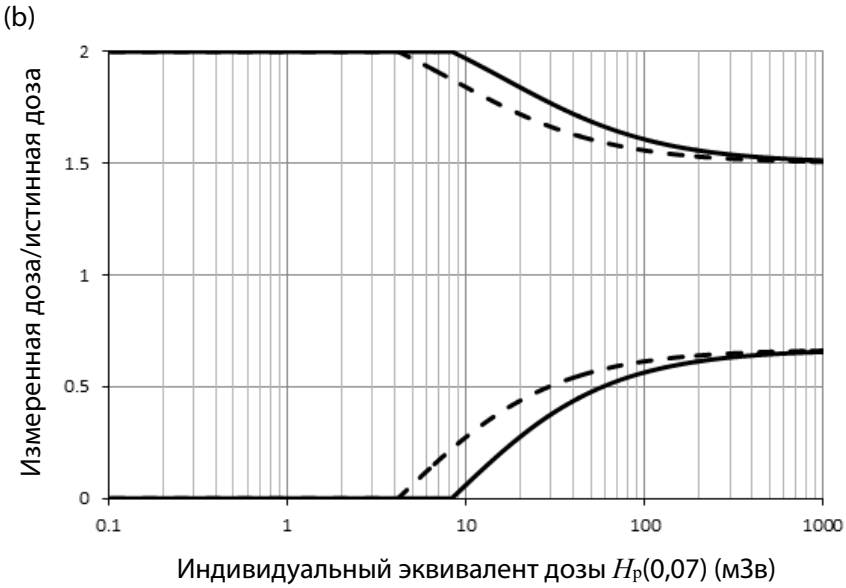
7.49. Для доз в конечностях при облучении, обусловленном электронам или позитронами низкой энергии, требуемая точность достижима для некоторых конструкций дозиметров, но могут возникнуть трудности, связанные главным образом с толщиной детектора и/или покрытия.

7.50. Учитывая характеристики отклика используемых в настоящее время индивидуальных нейтронных дозиметров и результаты взаимных сопоставлений, безусловно, возникают трудности в выполнении критериев точности измерения доз нейтронного излучения. Даже с критерием 50%, при любой современной конструкции дозиметра может оказаться невозможным соблюсти критерий во всем диапазоне энергий нейтронов, которые могут отмечаться на рабочем месте. Однако для тех энергий нейтронов, в отношении которых существуют наибольшие трудности, вклад в суммарную дозу, как правило, невелик. Поэтому на практике при одиночных измерениях в реальных полях на рабочем месте должна быть достижима суммарная стандартная неопределенность 50%. Использование поправочного коэффициента поля на конкретном рабочем месте должно позволить достичь общей неопределенности при оценке годовой эффективной дозы в пределах коэффициента 1,5.

7.51. Если внешнее поле имеет как фотонную, так и нейтронную компоненту, суммарная неопределенность выводится из неопределенностей для двух оценок или измерений. Если, как обычно бывает, фотонная компонента более значительна, может быть учтена более значительная неопределенность для нейтронной компоненты при соблюдении в то же время общего критерия для суммарной дозы. Как правило, необходимо также учитывать вклад от поступления радионуклидов в организм. Для этих вкладов суммарные неопределенности могут быть существенно больше 50%.

7.52. Используя знания энергетических и угловых спектров полей на рабочем месте, неопределенность оценки дозы можно уменьшить путем применения поправочных и/или нормализующих коэффициентов. Это может быть определено путем проведения калибровок на местах или с использованием информации о характеристиках поля на рабочем месте в сочетании с энергетическими и угловыми характеристиками дозиметра.





Примечание. Пунктирные линии — месячные периоды мониторинга; сплошные линии — периоды мониторинга 2 месяца.

РИС. 4. Допустимые верхний и нижний пределы отношения измеренной дозы к обычной истинной дозе в зависимости от дозы для глубины (a) 0,07 мм и (b) 10 мм.

7.53. Для детального определения распределений излучения по энергиям и по направлениям требуется привлечение специалистов и специализированного оборудования. При этом измерения могут оказаться времязатратными и дорогостоящими. В таких случаях может быть использован альтернативный способ. Показания обычного дозиметра можно сравнить с полученными на фантоме показаниями специализированных устройств, которые дают лучшее определение операционных величин, но, как правило, не подходят для обычного использования. На одном и том же фантоме можно использовать несколько дозиметров с целью имитации вращения работника.

7.54. Ответственность за определение поправочных коэффициентов для конкретных полей должна лежать на работодателе, однако оно должно проводиться в консультации с лицом, ответственным за радиационную защиту, или квалифицированным экспертом, или службой дозиметрии, в зависимости от обстоятельств, с использованием информации о характеристиках дозиметра, предоставляемой службой дозиметрии.

7.55. Помимо численных критериев характеристик индивидуальных дозиметров следует учитывать критерии, касающиеся их использования на практике и экономических факторов. Наряду с прочими, к числу таких критериев относятся, в частности, следующие:

a) низкая стоимость;
b) малый вес, удобные размер и форма, а также удобные и надежные крепежные зажимы;
c) надлежащая механическая прочность и пыленепроницаемость;
d) однозначная идентификация;
e) простота обращения;
f) надежные системы считывания;
g) надежный поставщик, который будет продолжать поставки дозиметров в течение длительного периода;
h) приспосабливаемость к различным применениям (например, измерение дозы в теле и дозы в конечностях);
i) возможность и простота калибровки;
j) пригодность для автоматической обработки донных.

7.56. При дозиметрии конечностей особое внимание следует уделять механической прочности дозиметров и их стойкости к воздействию температуры и влажности, поскольку эти дозиметры часто используются в аномальных рабочих условиях.

Приборы для мониторинга рабочего места

7.57. Приборы для мониторинга рабочего места, используемые при оценке дозы, следует калибровать по операционным величинам $H^*(10)$ и $H'(0{,}07, \Omega)$. Они должны работать в пределах предписанных критериев общей точности с учетом зависимости от энергии излучения, направления падающего излучения, температуры, радиочастотных помех и других оказывающих влияние параметров. Как и в случае индивидуальных дозиметров, следует учитывать зависимость их отклика, в частности, от энергии и направления.

7.58. В соответствии с рекомендациями МКРЕ (см. пункт 7.43) о приемлемом значении неопределенности для единичных измерений операционных величин при индивидуальном мониторинге, общая неопределенность одного стандартного отклонения в 30% была бы целесообразной и это значение следует использовать в отношении приборов для мониторинга рабочего места. Это значение следует применять для характеристик в условиях лабораторных испытаний (стандартные условия испытаний), и оно может быть недостижимо в нормальных условиях эксплуатации.

7.59. Помимо характеристик по энергии и угловой чувствительности, на точность и надежность измерений могут влиять несколько факторов. К факторам, которые следует оценивать, относятся:

a) способность выдерживать удары и вибрации;
b) независимость отклика от атмосферного давления;
c) пыленепроницаемость;
d) водостойкость;
e) независимость отклика от мощности дозы;
f) правильность отклика в импульсных полях (в соответствующих случаях);
g) нечувствительность к электрическим полям и магнитным полям;
h) стабильность при воздействии экстремальных температур и влажности;
i) нечувствительность к видам излучения, не подлежащим измерению;
j) время отклика;
k) стабильность отклика во времени (минимальный дрейф);
l) чувствительность и коэффициент вариации.

7.60. При необходимости следует учитывать и другие особенности приборов для мониторинга на рабочем месте, включая вес, стоимость, удобство обращения и считывания, а также необходимость надежного и непрерывного технического обслуживания и поддержки.

7.61. В некоторых видах промышленной деятельности, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения, таких как добыча полезных ископаемых и добыча нефти и газа, условия могут быть особенно тяжелыми. В таких условиях конструкция и исполнение приборов для мониторинга на рабочем месте должны быть достаточно надежными. Также может возникать риск, связанный с нахождением в огнеопасной атмосфере. Конструкция и исполнение приборов для мониторинга рабочего места, используемых в таких применениях, должны соответствовать требованиями в отношении внутренне присущей безопасности. Это ограничивает выбор подходящих приборов, поскольку большинство приборов не соответствуют таким требованиям безопасности.

Оценка неопределенностей

7.62. Оценка неопределенности измерений является основой для количественной оценки точности измерений. Международные руководящие материалы по метрологическим аспектам дозиметрии содержится в публикациях, подготовленных Объединенным комитетом по руководствам в области метрологии[18]. Двумя основополагающими справочными документами являются «Международный словарь по метрологии: Основные и общие понятия и соответствующие им термины (VIM)» [65] и «Оценка данных измерений: Руководство по выражению неопределенности измерения» [66]. Дополнительные руководящие материалы, касающиеся неопределенности измерения, можно найти в [60, 67–73].

7.63. При оценке неопределенности следует использовать все знания, касающиеся дозиметра и связанной с ним системы оценки (например, считывателя термолюминесцентного дозиметра, денситометра и системы

[18] В состав Объединенного комитета по руководствам в области метрологии входят представители Международного бюро мер и весов, МЭК, Международной федерации клинической химии и лабораторной медицины, Международной организации по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий, Международной организации по стандартизации, Международного союза чистой и прикладной химии, Международного союза чистой и прикладной физики и Международной организации юридической метрологии.

подсчета треков) или прибора для мониторинга рабочих мест, как на основе опыта, так и на основе типовых испытаний (см. пункты 7.72–7.81, 7.94 и 7.95), возможно, в сочетании с информацией от клиента или заказчика, такой как информация о местном облучении и условиях хранения.

7.64. При оценке неопределенности следует использовать математическую модель системы дозиметрии. Эта математическая модель может быть представлена как:

$$Y = f\left(X_1, X_2 ...\right) = f\left(X\right) \tag{27}$$

где Y — выходное значение или измеряемая величина, например $H_p(10)$, а X — массив, содержащий входные и влияющие величины измерительной системы.

Далее оценка неопределенности состоит из двух этапов: этапа формулирования и этапа расчета.

7.65. Этап формулирования состоит из:

a) определения выходной величины Y;
b) определения входных величин в массиве X. Это все величины, которые влияют на значения выходной величины, в данном случае характеристики поля излучения. К числу типичных входных величин относятся следующие:
   i) мощность дозы, энергия и угол падения;
   ii) характеристики измерительной системы (например, чувствительность как функция энергии и угла, затухание сигнала дозиметра и характеристики системы оценки дозиметра, такие как температура проявителя и чувствительность считывателя);
   iii) характеристики калибровочной системы;
   iv) доза облучения от природного фонового излучения, которую следует вычесть (см. пункты 7.128–7.132);
c) разработка модели, связывающей входные величины с выходной величиной. В большинстве случаев модель уже в значительной степени доступна в виде алгоритма, который обычно используется для расчета дозы по плотности пленки или по выходному уровню засветки при обнаружении трека с использованием многочисленных параметров, таких как показатели или коэффициенты калибровки и нормализации;

d) присвоение каждой из входных величин функции плотности вероятности. Эта задача решается с использованием всех имеющихся знаний о дозиметрической системе и условиях измерения.

7.66. При оценивании неопределенности «по типу А» присвоение функций плотности вероятности основано на статистическом анализе. Стандартная неопределенность для оценивания по типу А с соответствующим стандартным отклонением определяется на основе серии измерений. Примерами параметров с неопределенностями типа А являются:

a) измерения плотности пленки или светового выхода считывателя термолюминесцентного дозиметра;
b) сигнал системы считывания в отсутствие пленки;
c) чувствительность отдельных детекторов.

7.67. Для многих других входных величин следует применять оценивание «по типу В», основанную на научном суждении о неопределенности. Неопределенности типа В — это неопределенности, которые не могут быть уменьшены путем проведения повторных измерений. Источниками неопределенностей типа В обычно считаются:

a) характеристики поля, воздействию которого подвергались дозиметры;
b) энергетическая и угловая зависимость дозиметра;
c) нелинейность отклика;
d) затухание и зависимость от температуры и влажности окружающей среды;
e) эффекты, связанные с воздействием света;
f) эффекты, связанные с воздействием видов ионизирующего излучения, которые не предназначены для измерения дозиметром;
g) воздействие механического удара;
h) ошибки калибровки;
i) изменение местного уровня природного фонового излучения.

7.68. Этап расчета состоит в превращении функций плотности вероятности входных сигналов с помощью модели измерения $Y = f(X)$ в функцию плотности вероятности выходного сигнала. Исходя из этой функции плотности вероятности выходного сигнала, следует рассчитать следующие совокупные величины:

a) ожидаемое значение, являющееся центральным значением функции плотности вероятности, которое принимается в качестве оценки y дозы Y;
b) стандартное отклонение, которое принимается как суммарная неопределенность $u_c(y)$ дозы Y;
c) интервал охвата, содержащий Y с заданной вероятностью.

7.69. Если считается, что функция плотности вероятности дозы Y соответствует гауссовому (нормальному) распределению, то одно стандартное отклонение с каждой стороны среднего значения соответствует доверительным пределам около 68%. Поэтому зачастую необходимо умножить совокупную стандартную неопределенность на соответствующий коэффициент, называемый коэффициентом охвата k, с тем чтобы получить расширенную неопределенность (также известную как полная неопределенность). Типичные значения коэффициента охвата будут составлять два или три, что соответствует доверительным пределам приблизительно 95% или 99%, соответственно. Следует четко указывать численное значение, принятое для коэффициента охвата.

7.70. Для этапа расчета доступны по существу два метода:

a) система, основанная на законе распространения неопределенностей и теореме центрального предела [66];
b) метод Монте-Карло, который использует статистическую выборку функций плотности вероятности входных величин для оценки интеграла свертки функций плотности вероятности [69].

7.71. С точки зрения радиационной метрологии не имеет смысла предоставлять сведения о дозах более детально, чем это позволяет стандартная неопределенность. Так, например, в системах со стандартной неопределенностью при низких дозах менее 0,1 мЗв сообщения о дозах могут предоставляться с интервалами 0,01 мЗв. В системах с большей стандартной неопределенностью сообщения о дозах могут предоставляться с интервалами 0,1 мЗв.

Испытания систем индивидуальной дозиметрии

Типовые испытания

7.72. Типовые испытания дозиметрической системы в отношении внешнего облучения включают испытания эксплуатационных характеристик системы в целом в ряде условий облучения и хранения. В частности, следует дать количественную оценку тем источникам неопределенности, которые обсуждены в пунктах 7.64–7.67. Это связано в основном с изучением изменения отклика дозиметра при изменении энергии и направления падающего пучка излучения. Однако это также включает рассмотрение других дозиметрических характеристик, таких как линейность отклика, диапазон измеряемых доз, способность системы удовлетворительно работать в разумном диапазоне температурных условий и условий влажности, а также способность обеспечивать надлежащий отклик при высоких мощностях дозы и в импульсных полях излучения. Типовые испытания также включают испытания более общего характера, такие как способность системы удовлетворительно работать в разумном диапазоне электрических и магнитных полей, а также ее способность выдерживать механические удары и вибрацию. Испытания касаются не только самого дозиметра, но и всей системы, включая любое считывающее оборудование.

7.73. Результатом типовых испытаний должно быть подробное описание всех свойств данного типа дозиметра. Результаты типовых испытаний следует анализировать с точки зрения критериев эффективности (см. пункты 7.48–7.56), и они призваны продемонстрировать, могут ли эти критерии быть соблюдены на практике с учетом диапазона значений различных факторов на установке, на которой будут использоваться дозиметры. Пока тип дозиметра и считывающее оборудование не изменяются, типовые испытания остаются актуальными.

7.74. Предпочтительно, чтобы системы дозиметрии подвергались типовым испытаниям согласно соответствующим стандартам МЭК и/или Международной организации по стандартизации (ИСО) и/или эквивалентным национальным стандартам, и они должны пройти соответствующее испытание. Следует четко излагать детальную информацию относительно отрицательных результатов любой части испытаний и рассматривать их причины.

7.75. Следует обеспечивать, чтобы все поля излучения, используемые при проведении типовых испытаний, были хорошо охарактеризованы и прослеживаемы к национальным метрологическим стандартам. В ряде стандартов ИСО содержатся руководящие материалы по установлению эталонных полей излучения для фотонного, бета- и нейтронного излучения [74–83]. Для измерения уровней воздействия факторов окружающей среды, механических воздействий и электромагнитных полей может потребоваться дополнительное оборудование. Не все эти единицы оборудования требуются на площадке службы дозиметрии; достаточно, если они имеются в испытательной лаборатории.

7.76. Существует несколько стандартов для типовых испытаний. Для активных индивидуальных дозиметров в [84] рассматривается фотонное, бета- и нейтронное излучение. Для пассивных индивидуальных дозиметров в [85] рассматривается фотонное и бета-излучение. Поскольку эти два стандарта совместимы, результаты типовых испытаний сопоставимы независимо от того, является ли детектор активным или пассивным. Для пассивных индивидуальных нейтронных дозиметров можно использовать данные в [86].

7.77. Отклик по энергии излучения и углу падения является критической характеристикой индивидуального дозиметра. Дозиметры следует подвергать тестированию, с тем чтобы определить, насколько хорошо они соответствуют энергетическим характеристикам и характеристикам угловой чувствительности, требуемым для величины или величин, подлежащих измерению.

7.78. В результате типовых испытаний согласно соответствующему стандарту, указанному в пункте 7.76, определяются номинальные диапазоны использования для всех оказывающих влияние величин. Пригодность дозиметра для заданного рабочего места можно оценить путем сравнения этих оцененных диапазонов с диапазонами, необходимыми для этого рабочего места.

7.79. Поскольку операционная величина для индивидуального мониторинга связана с измерением индивидуального эквивалента дозы $H_p(d)$ в организме, типовые испытания дозиметров для этой операционной величины следует проводить на соответствующем фантоме с целью имитации обратного рассеяния от организма и ослабления им. Если дозиметр надлежащим образом работает на фантоме, можно предположить, что он будет надлежащим образом работать на теле.

7.80. Индивидуальные дозиметры для всего тела в целях типовых испытаний следует облучать на фантоме в виде квадратной пластины из тканезамещающего материала размером 30 см × 30 см и толщиной 15 см. В соответствии с [74–77], дозиметры для конечностей следует облучать на фантоме в форме толстого стержня в случае дозиметров на запястье или на фантоме в форме тонкого стержня в случае кольцевых дозиметров. Для доз в хрусталике глаза ($H_p(3)$) дизайн соответствующего фантома был предметом обсуждения. Когда дозиметры для величины $H_p(0{,}07)$ используются для определения дозы в хрусталике глаза:

a) они должны быть оптимизированы для такого использования на фантоме в форме пластины (т.е. их энергетическая и угловая зависимость должны быть подвергнуты типовым испытаниям на фантоме в форме пластины и должны быть откалиброваны на фантоме в форме пластины);
b) в качестве альтернативы следует удостовериться в том, что дозиметры правильно детектируют излучение, поступающее при обратном рассеянии от тела за ними (т.е. от головы). Как правило, это относится к кольцевым дозиметрам с задним слоем пластика толщиной около 1–3мм [87].

Показано, что в случае фотонов измерение величины $H_p(0{,}07)$ с помощью дозиметров, чувствительных к обратному рассеянию излучения и откалиброванных на любом фантоме ИСО, обеспечивает получение консервативного приближенного значения дозы в хрусталике глаза [11, 87, 88].

7.81. Коэффициенты преобразования, связывающие физические величины (флюенс и керму в воздухе) с операционными величинами ($H_p(10)$, $H_p(3)$ и $H_p(0{,}07)$), приведены в различных публикациях, в том числе в [76, 79, 80, 83, 85, 86, 89].

Функциональные испытания

7.82. Помимо типовых испытаний индивидуальной дозиметрической системы, при которых тщательно анализируется функционирование всей системы с целью проверки ее соответствия критериям точности, следует проводить через регулярные интервалы (обычно ежегодно) функциональные испытания, с тем чтобы продемонстрировать, что этот стандарт функционирования поддерживается.

7.83. Функциональные испытания, проводимые внешней идентифицируемой лабораторией, служат в качестве проверки надежности дозиметрической системы и согласованности метода ее применения. Утверждение службы дозиметрии регулирующим органом должно включать рассмотрение как результатов типовых испытаний, так и первоначальных результатов функциональных испытаний. Постоянное соблюдение процедур утверждения должно основываться на результатах внешних функциональных испытаний.

7.84. Внешние функциональные испытания требуют тщательного рассмотрения диапазона доз, видов и энергии излучения, подлежащего измерению, неопределенности оценок дозы и процесса измерения, включая прослеживаемость и калибровку. Полученные результаты должны соответствовать конкретным критериям эффективности со ссылкой, где это применимо, на стандарт.

7.85. Кроме того, функциональные испытания, проводимые внешними или внутренними службами, могут служить в качестве проверки согласованности процедур измерения и лабораторной практики (в рамках внутренней программы обеспечения качества, проводимой согласно соответствующему международному стандарту, такому как [90]).

7.86. Обычно используются три типа функциональных испытаний:

a) при испытаниях вслепую поставщик дозиметрических услуг не знает об испытаниях и не может использовать для испытаний выбранные дозиметры или специальные процедуры оценки. Одним из подходов является создание независимого «фиктивного» клиента и облучение дозиметров в контролируемых условиях независимо от поставщика услуг. Большинство поставщиков услуг используют фиктивного клиента при внутренних функциональных испытаниях с целью обеспечения качества;
b) при внезапных испытаниях поставщик дозиметрических услуг знает о предстоящих испытаниях, но не знает заранее фактической даты испытаний. Можно использовать выбранные дозиметры, но нельзя использовать специальные процедуры оценки;
c) при объявленных испытаниях поставщик дозиметрических услуг знает об испытаниях и может использовать выбранные дозиметры и специальные процедуры оценки.

7.87. Мероприятия по взаимному сравнению между поставщиками дозиметрических услуг могут рассматриваться в качестве объявленного функционального испытания. Как правило, результаты таких взаимных сравнений публикуются, но без указания, каким именно участникам они принадлежат. Участие в таких мероприятиях по взаимному сравнению часто является требованием для утверждения, а также частью системы менеджмента качества.

7.88. Дополнительные руководящие материалы по выполнению этих требований содержатся в [91].

Плановые испытания

7.89. Целью плановых испытаний является проверка точности и прецизионности дозиметрической системы для измерения доз при одной энергии, как правило, калибровочного источника (например, ^{137}Cs или ^{60}Co для фотонных дозиметров). Испытания этого типа также служат для нормализации общей чувствительности системы. Плановые испытания, как правило, следует проводить поставщику дозиметрических услуг и их следует повторять через регулярные промежутки времени, предпочтительно ежемесячно. И наоборот, испытания с целью обеспечения качества для мониторинга конкретных аспектов функционирования системы, как правило, проводятся каждый день, когда выполняется считывание данных.

7.90. Плановые испытания, которые включают калибровку, являются средством, с помощью которого проверяются чувствительность, прецизионность и точность, как правило, для одного вида излучения и одной энергии. Испытания, требуемые в программе обеспечения качества, могут включать плановые испытания.

7.91. Введение фиктивного клиента является одним из возможных плановых испытаний. Дозиметры от фиктивного клиента подвергаются воздействию известной дозы в течение каждого периода облучения и с ними обращаются таким же образом, как и с обычными дозиметрами. Последующее рассмотрение доз, измеренных с помощью этого фиктивного клиента, позволяет получить хорошее представление о функционировании обычных дозиметров.

7.92. Результаты плановых испытаний следует внимательно анализировать, например, с помощью контрольных карт, где указаны уровни предупреждения и уровни действий для инициирования необходимых действий со стороны поставщика дозиметрических услуг.

Сводные данные

7.93. В таблице 3 представлены сводные данные по рекомендуемым программам испытаний систем индивидуальной дозиметрии.

ТАБЛИЦА 3. СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРОГРАММАМ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

	Исполнитель испытания	Периодичность испытаний
Типовые испытания	Завод-изготовитель или уполномоченная организация, проводящая испытания	Однократно, как правило, до выхода на рынок для конечных пользователей
Функциональные испытания	Уполномоченная организация, проводящая испытания	Ежегодно
Плановые испытания	Поставщик дозиметрических услуг	Ежемесячно
Плановые испытания (испытания в рамках обеспечения качества)	Конечный пользователь или поставщик дозиметрических услуг	Ежедневно или в каждый день считывания данных, перед обработкой дозиметра

Испытания приборов для мониторинга рабочего места

Типовые испытания

7.94. Типовые испытания приборов для мониторинга на рабочем месте демонстрируют пригодность прибора для проведения надлежащих измерений на рабочем месте и должны включать такой же общий подход, как тот, который описан в пунктах 7.72–7.81 для систем индивидуальной дозиметрии. Процедуры измерения энергетического и углового отклика приборов для мониторинга на рабочем месте аналогичны процедурам,

используемым для индивидуальных дозиметров, за исключением того, что облучение при мониторинге на рабочем месте, как правило, будет в свободном воздухе (т.е. без фантома).

7.95. МЭК опубликовала стандарты для большинства типов оборудования для мониторинга рабочих мест. Эти стандарты не только содержат технические требования к функционированию, но и описывают методы типовых испытаний, которые необходимо проводить. Испытания предписываются для определения радиологических характеристик (например, линейности, энергетической зависимости и угловой чувствительности) и экологических, электрических и механических характеристик. Соответствующие стандарты МЭК и их применимость приведены в таблице 4.

Испытания перед использованием

7.96. Приборы для мониторинга на рабочем месте следует подвергать испытаниям перед их первым использованием, с тем чтобы убедиться в том, что они соответствуют данным типовых испытаний. Испытания должны охватывать диапазон мощностей дозы, который можно обоснованно ожидать. Следует четко определять и документировать диапазоны, в которых прибор не был испытан.

7.97. Испытания перед использованием следует проводить с целью выявления таких вероятных неисправностей, как неправильная калибровка или неправильная сборка детектора. Испытания перед использованием также должны обеспечивать исходный уровень для последующих плановых испытаний. Обычно можно выбрать ограниченную серию испытаний, которые могут обеспечить достаточную уверенность в рабочих характеристиках прибора. Подробные руководящие материалы содержатся в [98].

Периодические испытания

7.98. После ввода прибора для мониторинга рабочего места в эксплуатацию следует проводить периодические испытания, с тем чтобы выявлять любое ухудшение его работы. Периодические испытания следует проводить не реже одного раза в год и они должны включать подмножество испытаний, выполняемых при испытаниях перед использованием. Примерами эталонных видов излучения, которые могут быть использованы, являются:

a) для мониторов мощности дозы фотонов — гамма-излучение ^{137}Cs с энергией 0,662 МэВ;
b) для мониторов мощности дозы нейтронов — нейтроны, испускаемые ^{241}Am–Be;
c) для мониторов мощности дозы бета-излучения — гамма-излучение ^{137}Cs с энергией 0,662 МэВ плюс источник бета-излучения с соответствующей энергией;
d) для мониторов радиоактивного загрязнения бета-излучателями — бета-излучение с энергией, равной или меньшей, чем минимальная энергия излучения, которое будет регистрировать монитор;
e) для рабочих мест, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения, — соответствующий эталонный источник.

7.99. Упрощенные периодические испытания следует проводить чаще:

a) для обеспечения надлежащего функционирования большинство приборов для мониторинга на рабочем месте следует регулярно проверять с использованием подходящего калибровочного источника. Эти проверки следует проводить ежемесячно, еженедельно или даже ежедневно, в зависимости от типа прибора. Выбор источника и тестируемых диапазонов должен соответствовать типу проводимого мониторинга;
b) в рамках программы обеспечения качества следует регулярно проводить проверки батарей, установку на нуль и испытания с целью демонстрации надлежащего отклика, с тем чтобы убедиться в том, что оборудование продолжает функционировать удовлетворительно и не имеет явных повреждений.

7.100. После проведения испытания на прибор следует прикрепить наклейку. Эта наклейка должна содержать соответствующую информацию, включая сведения об организации, проводившей испытание, номере сертификата испытания и дате испытания или дате, когда должно быть проведено следующее испытание, в зависимости от обстоятельств.

7.101. В таблице 5 представлены сводные данные по рекомендуемым программам испытаний приборов для мониторинга рабочего места.

ТАБЛИЦА 4. СТАНДАРТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ КОМИССИИ ДЛЯ ПРИБОРОВ МОНИТОРИНГА ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Стандарт	Применимость
IEC 60532:2010 [92]	Применяется к стационарным дозиметрам, сигнализаторам и мониторам, которые используются для предотвращения незначительного радиоактивного выброса или смягчения его последствий или незначительного ухудшения характеристик топлива в пределах проектной основы атомной электростанции или ядерной установки, а также для предупреждения персонала или обеспечения его защиты во время или после событий, которые связаны с выбросом радионуклидов или приводят к выбросу радионуклидов на атомной электростанции или ядерной установке, или к риску облучения. В IEC 61226:2009 [93] это оборудование обычно классифицируется как относящееся к категориям A, B, C или «не классифицируется». Основными техническими изменениями по сравнению с предыдущим изданием являются обновления с учетом требований стандартов МЭК, опубликованных после 1996 года.
IEC 60846-1:2009 [94]	Определяет проектные требования и рабочие характеристики измерителей (мощности) эквивалента дозы, предназначенных для определения (мощности) амбиентного эквивалента дозы и/или (мощности) направленного эквивалента дозы, как определено в [58]. Применяется к измерителям (мощности) эквивалента дозы и/или мониторам для измерения (мощности) амбиентного эквивалента дозы и/или (мощности) направленного эквивалента дозы внешнего бета-излучения, рентгеновского излучения и гамма-излучения.
IEC 60846-2:2015 [95]	Применяется к портативным или переносным измерителям (мощности) эквивалента дозы и/или мониторам для измерения (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы внешнего бета-излучения, рентгеновского излучения и гамма-излучения в аварийных ситуациях. Применяется непосредственно к измерителям (мощности) эквивалента дозы, предназначенным для определения индивидуального эквивалента дозы или мощности эквивалента дозы внешнего бета-излучения и/или рентгеновского излучения и гамма-излучения с энергиями до 10 МэВ в аварийных ситуациях.
IEC 61005:2014 [96]	Определяет требования к рабочим характеристикам измерителей (мощности) амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения и предписывает методы испытаний для определения соответствия требованиям. Определяет общие характеристики, общие процедуры испытаний, радиационные характеристики, электрические, механические и экологические характеристики, характеристики защиты и безопасности, а также идентификационный сертификат.
IEC 61017:2016 [97]	Применяется к переносному, мобильному или стационарному оборудованию, предназначенному для измерения в окружающей среде мощности воздушной кермы в диапазоне от 30 нГр/ч до 10 мкГр/ч, обусловленной рентгеновским излучением или гамма-излучением с энергией от 50 кэВ до 1,5 МэВ. Определяет общие характеристики, общие процедуры испытаний, радиационные характеристики, электрические, механические и экологические характеристики, характеристики защиты и безопасности, а также идентификационный сертификат.

ТАБЛИЦА 5. СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРОГРАММАМ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОЧИХ МЕСТ

	Исполнитель испытания	Периодичность испытаний
Типовые испытания	Завод-изготовитель или уполномоченная организация, проводящая испытания	Однократно, как правило, до выхода на рынок для конечных пользователей
Испытания перед использованием	Производитель, конечный пользователь или уполномоченная организация, проводящая испытания	Однократно, перед вводом прибора в эксплуатацию
Периодические испытания	Конечный пользователь или уполномоченная организация, проводящая испытания/ калибровку	Ежегодно или чаще, в зависимости от стабильности прибора и его предполагаемого использования

Калибровка приборов

7.102. Калибровка — это операция, в ходе которой в заданных условиях и на первом этапе устанавливается связь между значениями величины (с неопределенностями измерения), предусматриваемыми стандартами измерения, и соответствующими показаниями (с соответствующими неопределенностями измерения), а на втором этапе эта информация используется для установления связи между ними с целью получения результата измерения на основе показаний.

7.103. Калибровку не следует путать с настройкой измерительной системы, с «самокалибровкой» или с проверкой.

7.104. Для всех методов измерения приборы следует регулярно калибровать, и эта калибровка должна быть прослеживаема к признанным национальным стандартам. Это может быть сделано либо с использованием эталонных источников, которые были откалиброваны ранее по первичным стандартам, либо с использованием эталонных приборов, которые были откалиброваны ранее по первичным стандартам национальной первичной лабораторией, либо в признанной эталонной лаборатории, имеющей соответствующие стандарты.

7.105. Калибровку системы индивидуальной дозиметрии (пассивной или активной) с использованием эталонов следует повторять через регулярные промежутки времени, например, раз в один или два года. Периодические проверки (плановые испытания см. в пунктах 7.89–7.92) дозиметрических характеристик дозиметрической системы следует проводить чаще. Для пассивных систем некоторые простые проверки системы считывания следует также проводить, например, с использованием облученных детекторов, каждый день, когда производится считывание.

7.106. Для определения эталонного калибровочного коэффициента поле излучения должно быть хорошо охарактеризовано. Для периодического определения эталонного калибровочного коэффициента дозиметрической системы обычно достаточно использовать радиоактивный источник, такой как ^{137}Cs или ^{60}Co для фотонного излучения, ^{90}Sr/^{90}Y для бета-излучения и ^{252}Cf для нейтронного излучения. Характеристики этих полей должны быть подтверждены национальным метрологическим институтом. Такие эталонные поля и процедуры калибровки описаны в [74–83]. Для нейтронного излучения также может быть полезно провести калибровку в моделируемых полях на рабочем месте в соответствии с [99, 100].

7.107. Эталонный калибровочный коэффициент может быть затем объединен с рядом поправочных коэффициентов, которые должны применяться в конкретных условиях использования.

7.108. Кроме того, каждый дозиметр должен иметь доступный для анализа индивидуальный нормализующий или калибровочный коэффициент. Для дозиметров многоразового использования следует периодически проверять индивидуальный нормализующий или калибровочный коэффициент и при необходимости корректировать его.

7.109. Для пассивных (твердотельных) дозиметров следует проводить периодические повторные внутренние калибровки с целью корректировки нормализующих или калибровочных коэффициентов с учетом изменений, обусловленных повторным использованием, или подтверждения того, что их рабочие характеристики не изменились. Рекомендуемая частота — через каждые десять использований или раз в два года, в зависимости от того, что наступает раньше. Может также потребоваться индивидуальный нормализующий коэффициент, возможность использования которого следует рассмотреть в случае активных дозиметров.

Утверждение поставщиков услуг по дозиметрии

7.110. Согласно пункту 3.73(c) документа GSR Part 3 [2], регулирующий орган несет ответственность за выдачу официального разрешения или утверждение поставщиков услуг по индивидуальному мониторингу и калибровке. Утвержденный поставщик дозиметрических услуг может быть охарактеризован как один из таких поставщиков услуг, который несет ответственность за калибровку, считывание или интерпретацию данных устройств индивидуального мониторинга и способность которого действовать в этом отношении признается регулирующим органом или другим соответствующим компетентным органом.

7.111. Цель утверждения заключается в признании и проверке того, что поставщик дозиметрических услуг является технически компетентным, способен генерировать технически обоснованные результаты и располагает надлежащими административными, техническими системами и системами менеджмента.

7.112. Для того, чтобы поставщик услуг был утвержден, он должен быть в состоянии обеспечивать приемлемую степень точности оценки доз, достигать высокого уровня надежности и поддерживать его, сообщать результаты регулярных оценок доз работодателю и/или регулирующему органу в течение разумного периода времени, а также оперативно сообщать результаты оценок доз, сделанных в случае аварии или другого инцидента или происшествия. Помимо соблюдения технических требований, утвержденный поставщик услуг должен соблюдать соответствующие требования системы менеджмента (см. раздел 8).

7.113. Процесс утверждения может включать в себя изложенные ниже аспекты, которые следует рассмотреть:

a) представление отчета, содержащего информацию о дозиметрической системе. Техническая документация обычно охватывает результаты типовых испытаний, процедуры дозиметрии и прослеживаемость калибровки, а также систему менеджмента, включая организационную структуру, персонал, оборудование и протоколы и процедуры контроля качества;
b) аккредитацию системы менеджмента согласно соответствующему международному стандарту, такому как [90];

c) сертификацию того, что дозиметрическая система сопоставима с требованиями соответствующего национального стандарта и основана на коэффициентах пересчета для рабочих величин в соответствии с международными рекомендациями и стандартами;
d) функциональное испытание с облучением неизвестными дозами в неизвестных ситуациях;
e) инспекцию и оценку лаборатории, проводимые на месте экспертами по дозиметрии, которые оценивают такие аспекты, как персонал (включая обучение), оборудование, технические средства, процедуры калибровки и дозиметрии, в соответствии с тем, что указано в документации по утверждению.

7.114. Внешние функциональные испытания в рамках утвержденных процедур следует проводить для демонстрации того, что основные функциональные характеристики стабильно сохраняются (см. пункты 7.83 и 7.84). Их результаты следует использовать для проверки данных типовых испытаний.

7.115. Программа функциональных испытаний для целей утверждения может быть подразделена на различные категории облучения для соответствия различным классам дозиметров (т.е. категории, основанные на видах излучения и диапазонах энергии, охватываемых дозиметрами). Каждое испытание может включать определенный диапазон различных энергий и углов падения излучения и соответствующее распределение диапазонов доз.

7.116. Функциональные испытания для целей утверждения следует проводить регулярно. Такие испытания могут организовываться регулирующим органом или другим соответствующим компетентным органом или могут предусматривать участие в международных внешних мероприятиях по взаимному сравнению.

Интерпретация измерений и оценка доз

Индивидуальный дозиметрический контроль

7.117. Для целей радиационной защиты измеренные операционные величины $H_p(10)$, $H_p(3)$ и $H_p(0{,}07)$ интерпретируются с точки зрения величин защиты: эффективной дозы, эквивалентной дозы в хрусталике глаза и эквивалентной дозы в коже и конечностях, соответственно.

7.118. В случае фотонов $H_p(10)$ в большинстве практических ситуаций даст разумную оценку эффективной дозы E, которая позволяет избежать как заниженной, так и чрезмерно завышенной оценки. В случае нейтронов $H_p(10)$ может давать заниженную оценку эффективной дозы для некоторых диапазонов энергии и геометрий поля. В таких случаях информация о распределении энергии и распределении полей на рабочем месте по направлениям необходима для применения подходящих поправок.

7.119. Тесное соответствие между E и $H_p(10)$ основано на предположении о равномерном облучении всего тела. Коэффициенты были рассчитаны для перехода от фундаментальных величин (флюенс частиц, воздушная керма и поглощенная тканью доза) к эффективной дозе в антропоморфных фантомах, представляющих взрослых людей, и к операционным величинам с использованием фантомов МКРЕ. Отношения операционных величин и величин защиты являются показателем качества оценки величин защиты для различных энергий и распределений по направлениям [89].

7.120. Для доз, близких к пределу дозы или превышающих его, или превышающих фиксированный уровень расследования, следует получить подтверждение того, что измерения операционных величин обеспечивают хорошую оценку величин защиты. Это следует делать, в частности, для доз нейтронов или неоднородного облучения. Для этого следует получить информацию об однородности поля, распределении поля по энергиям и направлениям, месте, на котором носится дозиметр, и характеристиках отклика дозиметра.

7.121. В тех случаях, когда работник перемещается по рабочему месту, обычно рассматриваются четыре вида разнонаправленного поля:

a) излучение, поступающее преимущественно из передней полусферы пространства (передне-задняя геометрия);
b) излучение, поступающее из задней полусферы пространства (задне-передняя геометрия);
c) излучение, поступающее симметрично со всех сторон перпендикулярно телу (вращательная геометрия);
d) излучение, поступающее со всех направлений, в том числе сверху и снизу (изотропная геометрия).

Можно предположить, что $H_p(10)$, измеренная персональным дозиметром, носимым на грудной клетке, является достаточно точной аппроксимацией эффективной дозы, по крайней мере, для передне-задней, вращательной

и изотропной геометрий. Для задне-передней геометрии (например, для водителя транспортного средства, перевозящего радиоактивный материал) дозиметр следует носить на задней стороне тела. Таким образом, один дозиметр, носимый на передней (или задней) стороне тела, как правило, обеспечивает удовлетворительную оценку эффективной дозы. Более подробная информация об интерпретации результатов дозиметра, полученных в различных геометрических условиях воздействия, приведена в [101].

7.122. Для определенных полей излучения операционные величины могут не являться хорошей аппроксимацией величин защиты ввиду энергетического спектра поля. Это относится, в частности, к нейтронам в диапазоне энергий 4–20 МэВ и более 50 МэВ. Такие факторы могут быть определены путем хорошего экспериментального определения характеристик поля на рабочем месте. Для этой цели также может быть весьма полезным моделирование с помощью метода Монте-Карло.

Мониторинг рабочего места

7.123. Во многих случаях мониторинг рабочего места следует использовать для определения характеристик рабочего места с целью выявления необходимости введения ограничений на передвижение работников в пределах этого рабочего места. В таких случаях консервативно предполагается, что работник находится на протяжении всего рабочего периода в той части рабочего места, где мощность дозы самая высокая. Однако в тех случаях, когда мониторинг рабочего места используется для целей оценки дозы, следует получать и использовать реалистичные оценки периодов пребывания на нем. На рабочих местах, где мощности дозы могут существенно меняться со временем, следует регистрировать пребывание на рабочем месте, с тем чтобы периоды пребывания можно было применять в отношении соответствующей мощности дозы в целях оценки облучения. Дополнительная информация о мониторинге рабочего места приведена в [56].

7.124. При использовании надлежащим образом спроектированных и точно откалиброванных приборов величина, измеренная на рабочем месте, наряду с соответствующими данными о пребывании может служить основой для адекватной оценки эффективной дозы, получаемой работником, или эквивалентной дозы в тканях и органах работника. Операционные величины дозы $H^*(10)$ и $H'(0{,}07, \Omega)$, определенные для мониторинга рабочего места, дадут надлежащую оценку эффективной дозы и дозы в коже. Как

поясняется в пункте 7.37, приборы для измерения величин, определенных в свободном воздухе (например, кермы), как правило, не имеют правильной энергетической характеристики для измерения $H^*(10)$.

7.125. Следует учитывать, что величина $H^*(10)$ может дать значительно завышенную оценку значения $H_p(10)$, измеренного с помощью дозиметра на теле человека, и, следовательно, может также дать завышенную оценку значения эффективной дозы, особенно если поле является изотропным. Это связано с тем, что приборы для измерения $H^*(10)$ имеют изотропную характеристику, тогда как величины $H_p(10)$ и E зависят от угла падения.

7.126. Для ситуаций, в которых конечности или незащищенная кожа тела могут подвергаться локальному облучению, для получения надлежащей оценки эквивалентной дозы следует использовать направленный эквивалент дозы $H'(0{,}07, \Omega)$. Величину $H'(0{,}07, \Omega)$ также следует использовать для надлежащей оценки эквивалентной дозы в хрусталике глаза при облучении фотонным излучением (см. пункт 7.10). Для разнонаправленных полей прибор следует вращать в поле излучения и использовать максимальное значение дозы, показываемое прибором, с тем чтобы избежать любой заниженной оценки дозы в коже или дозе в хрусталике глаза. Оператору следует понимать возможность существования точечных источников или узких пучков, которые могут приводить к искаженным показаниям.

7.127. Приборы для мониторинга рабочего места калибруются в полях излучения, которые равномерно облучают объем детектора, причем в качестве эталонной точки используется центр объема. Однако многие рабочие поля облучают детектор неравномерно (например, рабочие поля вблизи точечных источников или узких пучков). Этим ситуациям следует уделять особое внимание. Следует рассмотреть вопрос о необходимости введения поправочного коэффициента, который может быть применен к показаниям для получения скорректированной мощности дозы. Значения этих коэффициентов могут превышать цифру сто [102]. Одним из методов является использование матрицы точечных источников для моделирования интересующей геометрии источников [103].

Вычитание фона

7.128. Уровень при индикации дозиметрической системой нулевой дозы содержит фон системы считывания плюс внутренний фон детектора. Внутренний фон детекторов может быть определен для каждого детектора индивидуально или для групп детекторов. В последнем случае вклад

неопределенности в единичный результат будет более значительным. При групповом определении внутреннего фона следует уделять внимание процедуре выборки.

7.129. Показание дозиметра после вычитания нулевого показания (соответствующего нулевому отсчету) и после применения поправочных коэффициентов и калибровочных коэффициентов даст общую дозу, также известную как измеренное значение. Общая доза, как правило, будет включать вклад природного фонового излучения в дополнение к любой дозе от профессионального облучения работника.

7.130. Методы вычитания природного фонового излучения заключаются в использовании либо среднего значения (обычно среднего по стране), либо значений для конкретного заказчика или места нахождения. Применительно к дозиметрам, выпускаемым для месячного периода ношения, использование среднего фонового значения, хотя и увеличивает общую неопределенность, во многих случаях все же позволит выполнить требования к точности. Для более длительных периодов ношения (например, до трех или четырех месяцев, что уместно в тех случаях, когда облучение предсказуемо низкое), следует использовать более конкретные значения природного фонового излучения (т.е. в зависимости от местоположения заказчика) или контрольные дозиметры (см. пункт 7.131).

7.131. В местах, где природное фоновое излучение значительно больше или меньше среднего по стране, следует учитывать мощность дозы, обусловленную местным природным фоновым излучением. Изменение уровня местного фонового излучения может быть учтено с помощью контрольных дозиметров, которые поставляются службой дозиметрии заказчику и хранятся в месте, где хранятся дозиметры работников, когда они не используются. В некоторых случаях следует вычитать транзитные дозы. Определение мощности дозы, обусловленной местным природным фоновым излучением, также может быть выполнено с помощью метода, основанного на анализе результатов для выданных дозиметров. Такие методы основаны на предположении, что большинство выданных дозиметров облучаются только природным фоновым излучением.

7.132. Для активных индивидуальных дозиметров следует учитывать дополнительные соображения, поскольку они могут накапливать дозы облучения от природного фонового излучения только тогда, когда они используются, а не непрерывно. Для активных индивидуальных дозиметров, выдаваемых на сменной основе, следует разработать методы

вычитания правильного количества дозы, относящегося к облучению природным фоновым излучением, особенно при использовании активных индивидуальных дозиметров, которые, как утверждается, имеют низкие пределы обнаружения. В качестве альтернативы, вкладом в облучение естественного фонового излучения можно пренебречь.

ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Программа мониторинга

7.133. Оценка доз, получаемых работниками от облучения, обусловленного поступлением радионуклидов в организм, может основываться на результатах индивидуального мониторинга, включающего один или несколько из следующих видов измерений:

a) последовательные измерения радионуклидов во всем организме или в конкретных органах, таких как щитовидная железа или легкое;
b) измерения радионуклидов в биологических пробах, таких как экскреции или выдыхаемый воздух;
c) измерение концентраций активности в пробах воздуха, отбираемых с использованием индивидуальных приборов для отбора проб воздуха, носимых работником и представляющих воздух, выдыхаемый этим работником.

7.134. Для некоторых радионуклидов индивидуальный мониторинг, основанный на измерениях активности в организме или в биологических пробах, может быть невозможен в силу видов испускаемого излучения и чувствительности обнаружения методов мониторинга.

7.135. В некоторых ситуациях следует рассмотреть вопрос о том, является ли необходимым или предпочтительным, чтобы оценка доз, получаемых отдельными работниками, основывалась на результатах мониторинга рабочих мест (см. пункт 3.118).

7.136. Для работников, занятых в промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, внутреннее облучение в результате вдыхания радионуклидов в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th, содержащихся в частицах пыли, часто является

доминирующим путем поступления в организм ввиду изначального присутствия пыли при осуществлении многих таких видов деятельности. На таких рабочих местах:

a) в качестве наилучшего способа оценки доз и предоставления информации, необходимой для оптимизации, следует использовать отбор проб воздуха, а не отбор биологических проб или радиометрию всего тела;
b) особое внимание следует уделять определению характеристик взвешенной в воздухе пыли с точки зрения ее распределения по размерам, концентрации ее активности (которая может отличаться от концентрации в больших количествах материала) и класса(классов) поглощения соответствующих радионуклидов в легких.

Дополнительные сведения содержатся в [103].

7.137. Выбор метода измерения должен определяться такими факторами, как:

a) излучение, испускаемое радионуклидами;
b) биокинетическое поведение загрязняющего вещества;
c) степень удержания загрязняющего вещества в организме с учетом как биологического удаления, так и радиоактивного распада;
d) необходимая частота измерений;
e) чувствительность, доступность и удобство соответствующих технических средств измерений.

7.138. В идеале установку для индивидуального мониторинга следует располагать в здании, удаленном от других лабораторий или операций, приводящих к эмиссии радионуклидов или проникающему излучению, которые могут создавать помехи для измерений. Зона мониторинга для прямых измерений, содержащая экранированные детекторы и соответствующее электронное оборудование, обычно занимает первый этаж или подвал с учетом технических требований к нагрузке на пол. Следует также предусматривать комнаты ожидания для лиц, поступающих для измерения, душевые, туалеты и помещения для переодевания, а также отдельные помещения для сбора или обработки проб экскреции.

7.139. Лаборатория для анализа проб экскреции должна быть сооружена таким же образом, как и любая другая радиохимическая лаборатория. Ее также не следует использовать для анализа других высокоактивных

технологических проб, таких как теплоноситель реактора, во избежание какого-либо перекрестного загрязнения. При планировании помещений для обработки или хранения проб экскреции следует принимать во внимание меры предосторожности при обращении с потенциально инфекционным материалом.

7.140. Дополнительную информацию о разработке и осуществлении программ мониторинга внутреннего облучения работников можно найти в [103–106].

Текущий мониторинг

7.141. Текущий мониторинг внутреннего облучения следует проводить по фиксированному графику для выбранных работников. Мониторинг внутреннего облучения имеет определенные ограничения, которые следует учитывать при разработке надлежащей программы мониторинга:

a) мониторинг не позволяет напрямую измерять ожидаемую эффективную дозу, полученную индивидуумом. Например, биокинетические модели необходимы: для соотнесения уровней активности в пробе экскреции с уровнями активности в организме на момент взятия пробы; для соотнесения содержания в организме на момент взятия пробы с первоначальным поступлением; и для расчета ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной оцененным поступлением. Дополнительная информация об используемых биокинетических моделях представлена в добавлении IV;
b) на результаты измерений могут оказывать влияние помехи, создаваемые другими радионуклидами, присутствующими в организме, в том числе радионуклидами природного происхождения. Может возникнуть необходимость установить содержание в организме радионуклидов природного происхождения и искусственного происхождения, полученных в результате предыдущих поступлений, особенно в тех случаях, когда такие поступления, не связанные с профессиональной деятельностью, оказываются необычно высокими. Радиофармацевтические препараты, вводимые в диагностических или терапевтических целях, могут затруднять измерения биопроб в течение некоторого времени после их введения, в зависимости от свойств вводимого агента и радионуклидов, присутствующих на рабочем месте. Следует предлагать работникам сообщать своим

руководителям о любом применении радиофармацевтических препаратов, с тем чтобы можно было определить, можно ли проводить надлежащий мониторинг внутреннего облучения;

c) результаты программы индивидуального мониторинга по оценке хронического поступления могут зависеть от времени проведения мониторинга. Для некоторых радионуклидов со значительным компонентом раннего выведения может существовать значительная разница между измерениями, выполненными до и после перерыва на выходные дни. Такие случаи следует рассматривать индивидуально [13, 16, 107]. Для радионуклидов с длительным периодом полураспада их количество, присутствующее в организме, и их выведенное количество будут зависеть от числа лет, в течение которых происходило поступление в организм работника, и будут увеличиваться по мере роста их числа. Как правило, активность, обусловленную поступлениями за предыдущие годы, следует рассматривать как часть радиационного фона за текущий год;

d) аналитические методы, используемые для индивидуального мониторинга, иногда не обладают достаточной чувствительностью для обнаружения интересующих уровней активности. Информация о пределах обнаружения, достижимых для отдельных радионуклидов, приведена в [13]. Более конкретная информация о пределах обнаружения для ингаляционного поступления ^{232}Th и его дочерних продуктов при различных методах измерения приведена в таблицах 7, 8, 94 и 95 документа [25].

7.142. В ситуациях, когда пробы воздуха используются в качестве основы для оценки доз, получаемых работниками от облучения в результате вдыхания аэрозольных радионуклидов, концентрация активности в воздухе может определяться с помощью стационарных пробоотборников воздуха или индивидуальных пробоотборников воздуха. Доза оценивается по концентрации активности в воздухе с использованием общих или специфических для площадки предположений о форме материала (размере частиц и химической форме) и частоте дыхания и периоде облучения работника. Стационарные пробоотборники воздуха для мониторинга взвешенной в воздухе пыли создают относительно высокие скорости потока, как правило, около 20 л/мин, и устанавливаются в заранее определенных фиксированных позициях на рабочем месте. С другой стороны, индивидуальные пробоотборники воздуха создают относительно низкую скорость потока, обычно около 2 л/мин, и их носят на лацкане; ранец, содержащий насос и батарею, носят на ремне, и он соединен с пробоотборной головкой гибкой трубкой. Следует обеспечивать, чтобы

пробоотборная головка располагалась таким образом, чтобы отбираемый воздух в достаточной степени представлял собой вдыхаемый воздух. Индивидуальные пробоотборники воздуха не всегда достаточно прочны или удобны для ношения их в тяжелых условиях работы.

7.143. Индивидуальные пробоотборники воздуха в сочетании с другими прямыми и косвенными методами все чаще используются вместо стационарных пробоотборников воздуха, поскольку они обеспечивают более надежный мониторинг [104, 105]. Воздух, отбираемый стационарным пробоотборником воздуха, может быть не в полной мере отражать характер воздуха, вдыхаемого работником, в результате чего дозы облучения от вдыхания пыли значительно занижаются, иногда на несколько порядков, и особенно на тех рабочих местах, где существенным фактором является повторное взвешивание частиц пыли в результате проводимых работ. С другой стороны, использование стационарных пробоотборников воздуха может приводить к значительному завышению дозы, если работник не находится в запыленной зоне непрерывно. Поэтому, когда это практически осуществимо, индивидуальные пробоотборники воздуха следует использовать вместо стационарных пробоотборников воздуха во всех случаях, когда следует ожидать краткосрочных пространственных и временных изменений концентраций активности в воздухе и когда концентрации дочерних продуктов радона, вероятно, будут наиболее высокими.

7.144. На некоторых рабочих местах, особенно на рабочих местах, связанных с операциями по горной добыче и по переработке полезных ископаемых, могут возникать трудности с применением индивидуального отбора проб воздуха для каждого подвергающегося облучению работника на постоянной основе. В таких случаях стратегии мониторинга обычно предусматривают распределение работников по категориям работ, которые отражают общий характер и масштабы трудовой деятельности. Однако во многих случаях облучение не является одинаковым в рамках категории работ, поскольку работник может в течение рабочей смены в разное время оказываться в различных условиях облучения. Еще одно осложнение возникает при учете ношения средств защиты органов дыхания.

7.145. Мониторинг поверхностного радиоактивного загрязнения может быть использован для выявления потенциальной возможности поступления радионуклидов и необходимости более детального мониторинга рабочих мест. Однако измерения поверхностного радиоактивного загрязнения не

создают надлежащей основы для оценки внутренней дозы ввиду больших неопределенностей, связанных с такими параметрами, как коэффициенты повторного взвешивания частиц.

7.146. С целью определения соответствующей периодичности и вида индивидуального мониторинга следует охарактеризовать условия облучения на рабочем месте. Следует знать используемые радионуклиды и, по возможности, их химическую и физическую форму. Следует также рассмотреть возможность изменения этих форм в аварийных условиях (например, выброс гексафторида урана в атмосферу, приводящий к образованию фтористого водорода и фторида урана). Химическая форма и физическая форма (например, размер частиц) материала определяют его поведение в дыхательных путях и последующее биокинетическое поведение в организме. Они, в свою очередь, определяют пути и скорости экскреции и, следовательно, типы проб экскреции, которые могут потребоваться для отбора, и частоту их отбора.

7.147. Если используется мониторинг биопроб, то метод и частота измерения должны позволять обнаруживать поступление, которое приводит к заданной доле предела дозы. Поэтому следует удостоверяться в том, что поступление этого уровня, вероятно, будет обнаружено. Поступление не будет обнаружено, если в результате радиоактивного распада и биологического выведения содержание в организме или ежедневная экскреция радионуклида снизится до уровня ниже предела обнаружения для используемого метода. Доля $m(t)$ поступления, остающаяся в организме в случае прямого измерения или выводимая из организма в случае косвенного измерения, зависит от его эффективного периода полувыведения и от биокинетического поведения радионуклида, и она является функцией периода времени t с момента поступления. Таким образом, поступление I и результирующая ожидаемая эффективная доза $E(50)$ будут пропущены, если произведение $I \cdot m(t)$ будет меньше предела обнаружения. Как правило, частота мониторинга должна быть такой, чтобы можно было обнаружить поступление, соответствующее более чем 5% годового предела дозы.

7.148. Таким образом, требуемая частота мониторинга сильно зависит от чувствительности метода измерения. Методы измерения должны быть как можно более чувствительными. Затраты при использовании наиболее чувствительных методов и максимально короткого интервала отбора проб должны быть сбалансированы с радиационным ущербом, связанным с

дозами, которые могут быть занижены или которые могут быть пропущены, если будут использоваться менее чувствительные методы или менее частые измерения.

7.149. Дополнительным соображением при установлении графика отбора биопроб является неопределенность в оценке поступления ввиду неизвестного времени поступления в течение периода мониторинга. В [13] рекомендуется, чтобы периоды мониторинга, как правило, выбирались таким образом, чтобы при предположении, что поступление имело место в середине периода мониторинга, любая недооценка поступления не была более чем трехкратной.

7.150. Максимальные значения рекомендуемых интервалов мониторинга для различных радионуклидов и различных методов измерения приведены в [108, 109].

7.151. Был также предложен графический подход к определению интервалов мониторинга, который учитывает неопределенности в параметрах конкретного материала (например, поглощение и распределение частиц по размерам), а также неопределенности во времени поступления [110]. Информация о пределе обнаружения для конкретного метода измерения используется для определения интервала мониторинга, соответствующего интересующему уровню дозы.

7.152. В некоторых случаях одно или несколько положений, упомянутых в пунктах 7.147–7.151, не могут быть выполнены из-за недостаточной чувствительности метода анализа, недопустимо длительного времени подсчета при прямых измерениях или недопустимо коротких интервалов отбора проб при отборе проб экскреции, особенно в случае отбора проб кала с целью мониторинга вдыхания нерастворимых (легочная абсорбция типа S) частиц. В таких случаях оценка дозы должна основываться на альтернативных видах измерений, таких как индивидуальный отбор проб воздуха или мониторинг рабочего места.

Мониторинг, связанный с выполнением заданий

7.153. Мониторинг, связанный с выполнением заданий, по определению не является текущим (т.е. он не планируется на регулярной основе). Такой мониторинг проводится с целью получения информации о конкретной операции и, в случае необходимости, обеспечения основы для принятия решений относительно проведения операции. Это особенно полезно, когда

краткосрочные процедуры осуществляются в условиях, которые оказались бы неудовлетворительными для долгосрочного использования. Мониторинг, связанный с выполнением заданий, следует проводить таким же образом, как и текущий мониторинг, если обстоятельства операции не требуют иного; например, если соответствующие радионуклиды являются иными или если вероятность или возможная величина внутреннего облучения оказывается значительно более высокой.

Специальный мониторинг

7.154. Специальный мониторинг может потребоваться в результате известного или предполагаемого облучения или необычного инцидента, такого как утрата локализации радиоактивного материала, о чем свидетельствует проба воздуха или поверхностного загрязнения, или после аварии. Необходимость проведения специального мониторинга чаще всего обусловлена результатом текущего измерения биопроб, который превышает допустимый уровень расследования, но также может быть результатом измерения на случайной пробе, такой как выходящий из носа воздух или мазок из носа, или салфетка с поверхностным загрязнением.

7.155. В аварийных ситуациях приоритет отдается оказанию медицинской помощи и лечению любого пострадавшего при аварии. Как только состояние здоровья пострадавшего стабилизируется, следует предпринять следующие шаги:

a) следует удалить внешнее загрязнение и необходимо убедиться, что работники приняли душ и вымыли волосы перед проведением прямых измерений биопроб;
b) следует как можно быстрее установить содержание радионуклидов во всем организме;
c) необходимо обеспечить отбор проб всех экскреций;
d) необходимо произвести отбор других биологических проб, такие как мазки из носа и полости рта (это может быть сделать во время процедур лечения или дезактивации);
e) следует провести отбор проб загрязняющего вещества для дальнейшего анализа радионуклидного состава и физических и химических свойств отдельных радионуклидов.

Эти шаги способствуют более надежной оценке ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, которая вместе с возможной дозой, полученной от внешнего облучения, имеет первостепенное значение в случаях предполагаемого высокого облучения.

7.156. С точки зрения методов измерения специальный мониторинг, вызванный инцидентом, обычно не проводится иначе, чем текущее измерение, хотя следует рассмотреть вопрос о том, может ли потребоваться повышение чувствительности или более быстрое время обработки. Лаборатории следует сообщить, что анализ проб или прямое измерение имеют приоритет перед текущими измерениями, и может быть изменена частота последующего мониторинга. Лабораторию также следует проинформировать о том, что уровень активности проб может быть выше обычного. Кроме того, метод измерения может быть адаптирован к ситуации специального мониторинга и могут быть приняты любые необходимые меры предосторожности в целях предотвращения загрязнения других проб. Например, если скорости счета настолько высоки, что связанные с мертвым временем потери препятствуют надлежащему сбору данных, следует изменить геометрию измерения, а радиометрию всего тела следует проводить на большем расстоянии от детектора, после чего следует выполнить повторную калибровку системы. Аналогичные меры следует предпринимать в радиохимической лаборатории при анализе проб экскреции (особенно фекалий) с высоким содержанием радионуклидов.

Методы измерения

7.157. Поступление радионуклидов может быть определено либо прямыми, либо косвенными методами измерения. Прямые измерения гамма-излучения или рентгеновских фотонов (включая тормозное излучение), излучаемых внутренне осажденными радионуклидами, часто называют измерениями активности тела, мониторингом всего тела или радиометрией всего тела. Косвенные измерения представляют собой измерения активности в пробах, которые могут быть либо биологическими (например, экскреции), либо физическими (например, воздушные фильтры).

7.158. Каждый вид измерения имеет преимущества и недостатки, и выбор одного, а не другого должен в значительной степени зависеть от характера излучения, подлежащего измерению.

7.159. Прямые методы полезны только для тех радионуклидов, которые испускают фотоны достаточной энергии и в достаточном количестве, позволяющем им покинуть организм и быть измеренными внешним детектором. В эту категорию попадают многие продукты деления и продукты активации. Инкорпорированные радионуклиды, не испускающие фотоны высоких энергий (например, ^{3}H, ^{14}C, $^{90}Sr/^{90}Y$, ^{239}Pu), обычно могут быть измерены только косвенными методами. Тем не менее, некоторые бета-излучатели, особенно те, излучение которых имеет высокую энергию, такие как ^{32}P или $^{90}Sr/^{90}Y$, иногда могут быть измерены «непосредственно» с помощью генерируемого ими тормозного излучения. Такие измерения тормозного излучения ввиду их относительно низкой чувствительности, как правило, не должны использоваться для текущего мониторинга.

7.160. Рекомендации по принципам измерения и используемым приборам приведены в [111] и кратко изложены в добавлении V.

7.161. Прямые измерения в тех случаях, когда они возможны, дают преимущество быстрой и удобной оценки общей активности в организме или в определенной части тела во время измерения. Поэтому прямое измерение содержания в организме или содержания в органах является предпочтительным для оценки дозы, если оно обеспечивает достаточную чувствительность, например, измерение ^{137}Cs и ^{131}I. Тем не менее, измерения активности всего тела и измерения для отдельных органов характеризуются повышенными неопределенностями в калибровке, особенно для низкоэнергетических фотонных излучателей. Проведение прямых измерений может потребовать отстранения работника от любой работы, связанной с облучением, на период, в течение которого измеряются характеристики удержания. Прямые измерения обычно требуют специальных, хорошо экранированных (и, следовательно, дорогостоящих) установок и оборудования.

7.162. Прямые измерения полезны при качественном, а также количественном определении радионуклидов в смеси, которая могла поступить в организм ингаляционным, пероральным путем или путем инъекции. Кроме того, прямые измерения могут помочь в определении режима поступления в организм путем определения распределения активности в нем. Поступление ингаляционным путем нерастворимых (легочная абсорбция типа S) аэрозолей, содержащих гамма-излучающие радионуклиды, может быть легко и точно обнаружено методом измерения радиоактивности легких, например, измерением U_3O_8; такое поступление, вероятно, не будет обнаружено с помощью метода анализа биопроб.

Другим примером является радиоактивный йод, когда система измерения радиоактивности щитовидной железы позволяет количественно оценить поглощение радиойода щитовидной железой. Последовательные измерения в тех случаях, когда они возможны, могут выявлять перераспределение активности и могут давать информацию о суммарном удержании и биокинетическом поведении радионуклидов в организме.

7.163. Косвенные измерения, как правило, в меньшей степени затрудняют выполнение рабочих заданий, но они требуют доступа к радиохимической аналитической лаборатории. Такая лаборатория может также использоваться для измерения проб окружающей среды, однако измерения высоких уровней (например, измерения воднохимического режима ядерного реактора) следует проводить в раздельных лабораториях. Измерения, выполняемые на пробах экскреции, используются для определения скорости выведения радионуклидов из организма по конкретному пути. Для определения содержания радионуклидов в организме и их поступления в него по результатам таких измерений необходимо использовать биокинетическую модель. Благодаря способности радиохимических анализов обнаруживать низкие уровни активности, измерения, выполняемые на пробах экскреции, обычно являются высокочувствительным способом оценки активности в организме.

Пределы обнаружения и пороги принятия решений

7.164. Методы измерения имеют определенные пределы обнаружения, обусловленные уровнем природного фонового излучения, статистическими колебаниями скорости счета и факторами, связанными с подготовкой и анализом проб. Концепции предела обнаружения и порога принятия решений и их применение для измерения активности in vivo и in vitro изложены в [62, 112, 113].

7.165. Измеренное общее число отсчетов N_G представляет собой сумму числа отсчетов фонового излучения N_B (природного фонового излучения и радионуклидов, отличных от исследуемого) и числа отсчетов нетто N_N, обусловленных контролируемым радионуклидом:

$$N_G = N_B + N_N \tag{28}$$

Активность в пробе или в организме рассчитывается путем деления числа отсчетов нетто на соответствующий коэффициент эффективности ε.

7.166. Предел обнаружения для данных радионуклида и процедуры измерения может быть оценен до проведения измерения пробы. Он показывает минимальную активность в пробе (для косвенных методов) или в организме (для прямых методов), которая может быть обнаружена с заданной вероятностью β ложноотрицательного результата. Предел обнаружения позволяет принять предварительное решение о том, подходит ли метод измерения для данной программы мониторинга.

7.167. После проведения измерения измеренную чистую скорость счета следует сравнивать с порогом принятия решения. Порог принятия решения определяется таким образом, что если скорость счета превышает порог принятия решения, то можно сказать, что проба или тело содержит контролируемый радионуклид с заданной вероятностью α ложноположительного результата. Если измеренная скорость счета меньше порога принятия решения, нельзя сделать вывод о том, что радионуклид отсутствует; однако активность в пробе или в организме, если она присутствует, меньше предела обнаружения.

7.168. Для случаев, когда N_{B} является достаточно большим (более чем около 30) для того, чтобы распределение Пуассона можно было аппроксимировать нормальным распределением, порог принятия решения и предел обнаружения (выраженный в виде скорости счета) можно рассчитывать следующим образом:

$$\mathrm{DT} = k_{1-\alpha}\sqrt{\lambda_{\mathrm{B}}\left(\frac{1}{T_{\mathrm{B}}}+\frac{1}{T_{\mathrm{S}}}\right)} \tag{29}$$

$$\mathrm{DL} = \left(k_{1-\alpha}+k_{1-\beta}\right)\sqrt{\lambda_{\mathrm{B}}\left(\frac{1}{T_{\mathrm{B}}}+\frac{1}{T_{\mathrm{S}}}\right)} \tag{30}$$

где

$k_{1-\alpha}$ и $k_{1-\beta}$ — это соответственно процентили $1-\alpha$ и $1-\beta$ нормального распределения (вероятности α и β обычно принимают равными 5%, и в этом случае $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1{,}645$);

Λ_{B} — скорость фонового счета, которая может быть определена путем фоновых измерений при отсутствии активности в пробе;

а T_B и T_S — соответственно продолжительность фонового измерения и измерения пробы.

7.169. Репрезентативные значения пределов обнаружения для различных радионуклидов и методов измерений приведены в [109]. В [113] приведены примеры применения расчета предела обнаружения, порога принятия решения и других величин для определенного числа методов анализа биопроб.

7.170. Теоретическое обоснование определения порога принятия решения и предела обнаружения основано на применении теоремы Байеса; это отличается от теоретического обоснования определения минимальной обнаруживаемой активности или минимального обнаруживаемого количества [114]. Однако для методов мониторинга внутреннего радиоактивного загрязнения значения минимального обнаруживаемого количества и предела обнаружения в большинстве случаев равны при условии, что неопределенность, связанная с эффективностью счета, ничтожно мала.

7.171. Дополнительные разъяснения и применение этих концепций для прямых и косвенных методов приведены в [19, 112, 113].

Калибровка

Прямые методы

7.172. Счетчики радиоактивности всего тела и счетчики радиоактивности органов следует калибровать с помощью фантома, который имитирует человеческое тело или орган и который содержит известное количество требуемых радионуклидов либо в растворе, либо в герметичных источниках внутри фантома, либо в виде постоянного источника в твердой тканезамещающей матрице.

7.173. Наиболее удобный фантом всего тела общего назначения состоит из сборки пластиковых контейнеров, заполненных стандартизированными радиоактивными водными растворами. Эта концепция была распространена на разработку фантомов на основе группы полиэтиленовых цилиндров круглого или эллиптического сечения. Соответствующие пропорции каждой секции фантома, представляющего тело взрослого человека, приведены в [115]. Фантомы, представляющие различные возрастные группы, описаны в [116].

7.174. Были разработаны фантомы, которые не заполнены водными растворами радионуклидов и поэтому в меньшей степени подвержены разливу или загрязнению. Некоторые фантомы заполнены органическими гелями, содержащими радионуклиды [116]. В альтернативном варианте многочисленные отдельные точечные источники могут быть вставлены в полиэтиленовые бруски, из которых могут быть легко построены фантомы различной высоты и веса тела, как показано в [117]. Правильно подготовленные фантомы также имеются для щитовидной железы, легких, а также для костных радионуклидов, колена или черепа [115]. В нескольких публикациях представлены различные виды и применения фантомов, заменителей тканей и конструкций фантомов (см. [118–123]).

7.175. Методы калибровки с использованием фантомов являются относительными методами. Некоторые абсолютные методы не требуют наличия радиоактивного эталона для проведения калибровки, но для подтверждения калибровки всегда следует использовать образцовый эталон. Для таких калибровок используются математические фантомы, разработанные для расчетов эффективности обнаружения методом Монте-Карло (см. [124–127]). Преимущество таких фантомов заключается в том, что могут быть смоделированы различные распределения радионуклидов в организме, а также различные размеры, формы и геометрические соотношения между внутренними органами. Однако для обеспечения точности калибровки следует проводить тщательное сравнение рассчитанной эффективности с измеренными значениями. Это следует делать, в частности, при измерении фотонов с низкой энергией или при неоднородном распределении радионуклидов в организме.

Косвенные методы

7.176. Методы калибровки зависят от используемых приборов. Следует получать стандартные растворы радионуклидов, изотопные индикаторные радионуклиды или стабильные изотопы определяемых элементов (например, стронция).

7.177. При измерении гамма-излучающих радионуклидов счет поступающего от пробы гамма-излучения следует сравнивать со счетом гамма-излучения, поступающего от эталона, содержащего известное количество конкретного радионуклида, и проводить измерение в такой же геометрии счета. При использовании гамма-спектрометрии кривые зависимости эффективности от энергии для различных геометрий следует

строить на основе эталонов измерений в этих геометриях. При подготовке кривых эффективности следует учитывать относительные выходы различного гамма-излучения различных радионуклидных эталонов.

7.178. Для бета-излучателей, анализируемых методом жидкостного сцинтилляционного счета, следует использовать внутренние и внешние эталоны. Следует обеспечивать одинаковые условия гашения для эталонов и проб.

7.179. Многие радиохимические методы основаны на процедурах разделения, для которых степень извлечения может быть весьма различной и в определенной степени зависит от матрицы анализируемых проб. Следует использовать методы, позволяющие определять выход процедур химического разделения или экстракции. Для этой цели в пробу следует как можно раньше добавить известное количество индикаторного радионуклида (например, ^{243}Am для ^{241}Am), с тем чтобы обеспечить возможность прямого измерения химической регенерации.

7.180. Описания различных методов калибровки для непрямого счета приведены в [128].

Критерии эффективности

7.181. Полное описание критериев эффективности для прямых и косвенных методов приведено в [62].

7.182. Относительная систематическая ошибка представляет собой меру того, насколько близка оцениваемая активность к фактической активности. Этот критерий следует верифицировать с использованием фантомов или тестовых проб, содержащих известное значение активности A_{ai}. Индивидуальная относительная систематическая ошибка B_{ri} для i-го измерения в серии относительно правильного значения измеряемой величины определяется как:

$$B_{ri} = \frac{A_i - A_{ai}}{A_{ai}} \qquad (31)$$

где A_i — значение i-го измерения в тестируемой серии.

7.183. Относительная систематическая ошибка $B_{\text{г}}$ для этой серии измерений задается средним значением индивидуальных относительных систематических ошибок $B_{\text{г}i}$:

$$B_{\text{г}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{B_{\text{г}i}}{n} \tag{32}$$

где n — количество тестовых измерений ($n > 5$).

7.184. Повторяемость $S_{B_{\text{г}}}$ метода измерения определяется как относительная дисперсия значений $B_{\text{г}i}$ от их среднего значения $B_{\text{г}}$:

$$S_{B_{\text{г}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(B_{\text{г}i} - B_{\text{г}}\right)^2}{n-1}} \tag{33}$$

7.185. $B_{\text{г}}$ должна быть в пределах от −0,25 до +0,50 для значений $A_{\text{a}i}$, которые в пять-десять раз превышают предел обнаружения. Значение $S_{B_{\text{г}}}$ должно быть меньше или равно 0,4. При значении $S_{B_{\text{г}}}$ более 0,4 следует предпринимать соответствующие корректирующие меры.

Неопределенности в дозиметрических измерениях

7.186. Как указано в пунктах 7.62–7.71, общие руководящие материалы по оценке неопределенности приведены в [65, 66]. Дополнительные руководящие материалы в соответствии с [66] можно найти в [60, 67-73].

7.187. Результат оценки неопределенности должен быть реалистичным для применения. Объем усилий, затрачиваемых на оценку неопределенности, следует соизмерять с ее целью с точки зрения радиационной защиты.

7.188. В программах мониторинга поступления радионуклидов оценка неопределенностей в измерениях позволяет следующее:

a) принятие объективных решений о том, совместим ли результат с предыдущими поступлениями или его следует рассматривать как новое поступление;
b) выявление данных, связанных с выпадающими результатами;

c) статистический анализ результатов процедур подбора эмпирической кривой, используемых для оценки поступления из более чем одной точки данных.

7.189. В случае измерения активности в организме или в биологической пробе можно предположить, что неопределенности типа A (см. пункт 7.66) возникают только из статистики счета, которая может быть описана распределением Пуассона, в то время как неопределенности типа B (см. пункт 7.67) возникают из всех других источников неопределенности.

7.190. В [109] предполагается, что общая неопределенность измерения может быть выражена в виде логарифмически нормального распределения. Геометрическое стандартное отклонение распределения задается термином коэффициент рассеяния (SF). Полная неопределенность оценивается как:

$$\mathrm{SF} = \exp\sqrt{\sum_i \ln\left(\mathrm{SF}_i\right)^2} \tag{34}$$

где суммирование выполняется по всем неопределенностям типа A и типа B. Согласно [129], это предположение считается действительным, когда неопределенности типа A относительно малы, то есть:

$$\frac{\ln\left(\mathrm{SF_B}\right)}{\ln\left(\mathrm{SF_A}\right)} > 3 \tag{35}$$

где $\mathrm{SF_A}$ и $\mathrm{SF_B}$ — коэффициенты рассеяния для неопределенностей типа A и типа B.

7.191. Документ [110] включает компиляцию типичных значений различных компонент неопределенности для различных прямых и косвенных методов мониторинга.

7.192. Примеры неопределенностей типа B для измерений in vivo включают:

a) ошибки геометрии счета;
b) расположение индивидуума относительно детектора и перемещение индивидуума во время счета;
c) определение толщины стенки грудной клетки;
d) различия между фантомом и измеряемым индивидуумом или органом, включая:

e) геометрические характеристики;
f) плотность;
g) распределение радионуклида в организме и органе;
h) линейный коэффициент ослабления;
i) помехи от отложений радиоактивных материалов в соседних областях тела;
j) разрешение спектроскопии и перекрытие пиков;
k) стабильность электроники;
l) помехи от других радионуклидов;
m) изменение уровня фонового излучения;
n) активность эталонного радионуклида, используемого для калибровки;
o) поверхностное внешнее радиоактивное загрязнение индивидуума;
p) помехи, создаваемые природными радиоактивными элементами, присутствующими в организме;
q) неопределенности калибровочного источника.

7.193. Примеры неопределенностей типа B для измерений in vitro включают:

a) количественное определение объема или массы пробы;
b) ошибки в разведении и дозировании;
c) испарение растворов при хранении;
d) стабильность и активность эталонов, используемых для калибровки;
e) сходство химического выхода между индикатором и представляющим интерес радиоэлементом;
f) поправки на холостой раствор;
g) фоновый вклад в экскрецию радионуклидов и ее флуктуации;
h) стабильность электроники;
i) разрешение спектроскопии и перекрытие пиков;
j) загрязнение пробы и примеси;
k) позиционирование источника для счета;
l) отклонение плотности и формы от калибровочной модели;
m) допущения об однородности при калибровке;
n) для жидкостного сцинтилляционного счета разница в гашении между пробой и калибровочным эталоном.

7.194. Если отбор проб производится в течение периодов менее 24 ч, их следует нормализовать до значения, эквивалентного 24 ч (см. пункт V.22). Эта нормализация вводит дополнительные источники неопределенности типа B — неопределенность периода отбора проб и неопределенность, связанную с биологической (меж- и внутрисубъектной) вариабельностью.

Интерпретация измерений и оценка доз

7.195. Поступление радионуклидов и связанную с ним ожидаемую эффективную дозу следует оценивать по результатам измерений в рамках мониторинга согласно схеме, представленной на рис. 2 и пунктах 2.48–2.53. В случае текущего мониторинга следует предполагать, что поступление имело место в середине периода мониторинга.

7.196. В некоторых случаях измеренное значение M следует обработать перед тем, как поделить его на долю $m(t)$ с целью получить поступление. Например, пробы мочи, отбор которых проводился в течение периода менее 24 ч, следует нормализовать до значения, эквивалентного периоду 24 ч.

7.197. Согласно [108, 110], поступление и дозу не следует оценивать, если измеренное значение M ниже критического значения M_c, определенного в [108] как значение результата измерения, ниже которого следует считать ненужным явно оценивать поступление или дозу, поскольку годовая доза может рассматриваться как незначительная, даже если это поступление должно было повторяться для всех периодов мониторинга в отчетном году.

7.198. В [108, 109] указано, что значение годовой ожидаемой дозы, при котором оценка считается нецелесообразной, составляет 0,1 мЗв. Поэтому для N периодов мониторинга в год критическое значение M_{c_j} (в беккерелях), связанное с поступлением радионуклида j за любой период мониторинга задается как:

$$M_{c_j} = \frac{0.000\,1}{N \cdot e(\mathrm{g})_j} m(t_0)_j \qquad (36)$$

где $e(g)_j$ — ожидаемая эффективная доза на единицу поступления (дозовый коэффициент) для перорального или ингаляционного поступления радионуклида j, в зависимости от обстоятельств (в зивертах на беккерель), а $m(t_0)$ — доля поступления, остающаяся в организме или в пробе экскреции после периода времени t_0, прошедшего между временем поступления и временем отбора пробы. Предполагается, что поступление обычно происходит в середине периода отбора проб, и в этом случае для t_0 применяется уравнение (23).

7.199. Измеренное значение (если оно превышает пороговое значение принятия решения) следует регистрировать с целью документирования того факта, что измерение было проведено, и для предоставления информации в обоснование любой возможной будущей повторной оценки дозы.

7.200. Величины M_c для значения незначительной дозы 0,1 мЗв, для различных радионуклидов и для типичных настроек программы мониторинга приведены в [108, 110]. Расчет этих величин M_c был основан на параметрах, определенных в [15], и на функциях анализа биопроб (функциях удержания и функциях выведения) и дозовых коэффициентах, указанных в [13, 130].

7.201. Для многих радионуклидов значения удерживаемых долей или выведенных долей $m(t)$ и дозовых коэффициентов $e(g)$ приведены для различных типов легочной абсорбции или для различных значений абсорбции в кишечнике. Наиболее подходящий выбор значения для заданной ситуации должен основываться на знании физико-химических характеристик материалов, присутствующих на рабочем месте. В таблицах III.2B и III.2C документа GSR Part 3 [2] приведены коэффициенты переноса для кишечника и типы легочной абсорбции, соответственно, для различных химических форм соответствующих элементов. В некоторых случаях может иметься мало информации о характеристиках поступления, и в этом случае следует использовать наиболее ограничительное значение (т.е. значение, указывающее самую высокую дозу).

7.202. Значения удерживаемых или выведенных долей $m(t)$ и коэффициентов ожидаемой эффективной дозы $e(g)$, приведенных в [13, 14], соответственно, относятся к конкретным путям поступления и не должны использоваться непосредственно для оценки доз при инъекции в кровь, при переносе в кровь в местах ранения или при абсорбции через кожу.

7.203. Измерения концентрации активности в воздухе можно сравнивать непосредственно со значениями допустимой концентрации в воздухе в качестве исходных данных для оценки условий на рабочем месте. Однако интерпретация измерений концентрации активности в воздухе для целей оценки дозы может быть затруднена, поскольку они соответствуют концентрации радионуклидов в воздухе в месте расположения пробоотборника, который необязательно может находиться в зоне дыхания работника. Однако индивидуальный пробоотборник воздуха, размещенный на лацкане одежды работника или на защитном головном уборе, может отбирать пробу, представляющую концентрацию активности

в воздухе, который работник вдыхал, за исключением случаев, когда эта проба содержит только несколько частиц. Для оценки поступления могут использоваться измерения концентрации активности воздуха в сочетании с измеренным временем облучения и допущениями о частоте дыхания. Это наилучший метод определения поступления радионуклидов из цепочки распада ^{238}U и цепочки распада ^{232}Th в организмы работников, занятых в промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения (см. пункт 7.136). Этот метод также может быть использован для определения поступления других радионуклидов, таких как ^{14}C (в виде частиц), ^{239}Pu и ^{235}U, для которых прямые методы и другие косвенные методы оценки активности в организме недостаточно чувствительны.

7.204. Контроль облучения, обусловленного дочерними продуктами ^{222}Rn в ситуациях существующего облучения, обычно не требует расчета эффективной дозы. Контрольные уровни облучения, обусловленного дочерними продуктами ^{222}Rn, выражаются в виде средневзвешенной по времени концентрации газообразного ^{222}Rn (в беккерелях на кубический метр). Однако коэффициент для расчета эффективной дозы, возникающей в результате данного облучения, обусловленного дочерними продуктами ^{222}Rn, необходим в тех особых ситуациях, в которых профессиональное облучение, обусловленное дочерними продуктами^{222}Rn, подпадает под требования для ситуаций планируемого облучения (см. пункт 3.161). Это объясняется тем, что в таких ситуациях необходимо обеспечивать, чтобы пределы эффективной дозы не превышались. Кроме того, преобразование профессионального облучения, обусловленного дочерними продуктами ^{222}Rn, в эффективную дозу позволяет сравнивать это облучение с профессиональным облучением от других источников, таких как облучение внешним гамма-излучением и облучение от вдыхания радионуклидов, содержащихся в пыли.

7.205. Ожидаемая эффективная доза обычно определяется по облучению, обусловленному дочерними продуктами ^{222}Rn, а не на основе поступления, с использованием выражения:

$$E_{\mathrm{inh}} = H_{\mathrm{RnP}} P_{\mathrm{RnP}} \tag{37}$$

где

E_{inh} — ожидаемая эффективная доза (мЗв) при ингаляционном поступлении дочерних продуктов ^{222}Rn;

H_{RnP} — ожидаемая эффективная доза на единицу облучения от скрытой энергии альфа-излучения (мЗв на мДж·ч·м$^{-3}$);

и P_{RnP} — облучение от скрытой энергии альфа-излучения (мДж·ч·м$^{-3}$).

7.206. Были сделаны и продолжают составляться различные оценки H_{RnP} — ожидаемой эффективной дозы на единицу облучения, обусловленного дочерними продуктами ^{222}Rn. Оценки, полученные в результате эпидемиологических исследований шахтеров, как правило, дают более низкие значения, чем оценки, полученные с использованием дозиметрического подхода. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации рекомендует дозу на единицу равновесного эквивалентного облучения, равную 9 нЗв на Бк·ч·м$^{-3}$ [23], которая, будучи выраженной в виде дозы на единицу облучения от скрытой энергии альфа-излучения, равна значению 1,6 мЗв на мДж·ч·м$^{-3}$. МКРЗ рекомендует использовать дозовые коэффициенты, основанные на биокинетических и дозиметрических моделях [131].

7.207. Аналогичная ситуация наблюдается в отношении поступления ^{220}Rn и его дочерних продуктов. Считается, что равновесное эквивалентное облучение в результате вдыхания дочерних продуктов ^{220}Rn, составляющее 1 Бк·ч·м$^{-3}$, приводит к ожидаемой эффективной дозе 40 нЗв [132]. Исходя из этого значения, ожидаемая эффективная доза на единицу облучения от скрытой энергии альфа-излучения составляет около 0,5 мЗв на мДж·ч·м$^{-3}$. Для годового периода облучения, составляющего 2000 часов, можно сделать вывод о том, что:

a) средневзвешенная по времени концентрация активности ^{212}Pb, составляющая 1 Бк/м^3 в воздухе, соответствует ожидаемой годовой эффективной дозе около 0,08 мЗв;
b) средневзвешенная по времени концентрация скрытой энергии альфа-излучения 1 мкДж/м^3 соответствует ожидаемой годовой эффективной дозе около 1 мЗв.

Использование данных для конкретных рабочих мест, конкретных материалов и конкретных лиц

7.208. Значения эталонных параметров моделей, используемых для расчета функций удержания, экскреционных функций и дозовых коэффициентов, основаны на «условном лице» или «условном человеке», определенном МКРЗ [16]. Для определенных физических форм и химических форм радионуклидов были разработаны модели и их параметры. В некоторых

обстоятельствах, вероятно, физические формы или химические формы радионуклидов, используемых на данном рабочем месте, не будут соответствовать эталонным значениям параметров, используемым для биокинетических моделей. В таких обстоятельствах анализ размера частиц и растворимости проб радиоактивных частиц в воздухе может помочь в разработке более надежных оценок дозы.

7.209. Даже если все предположения в эталонных биокинетических моделях подходят для данного рабочего места, все равно будут существовать различия между индивидуумами в скорости экскреции и других биокинетических параметрах для одного и того же поступления радионуклида. В этих обстоятельствах следует рассмотреть вопрос о разработке моделей для конкретных материалов и конкретных лиц.

7.210. Кроме того, для оценки дозы после аварийного облучения требуется более конкретная информация о времени и структуре поступления, о физико-химической форме радионуклидов и о характеристиках индивидуума (например, массе тела). Далее, в аварийных ситуациях могут оказаться актуальными пути облучения, отличные от тех, для которых были рассчитаны значения $m(t)$ и $e(g)$ (например, абсорбция радионуклидов через неповрежденную кожу или через рану). Биокинетические модели для этих путей облучения описаны в добавлении IV.

7.211. Если поступление небольшое, эталонные модели, вероятно, будут подходить для оценки полученных доз. Однако, если оценка поступления соответствует значительной части предела дозы, следует с целью более точной оценки ожидаемой эффективной дозы рассмотреть вопрос о разработке параметров для биокинетической модели, специфичных для рассматриваемых материалов или индивидуумов.

7.212. Согласно [108], эту конкретную оценку следует проводить, если доза, оцененная с помощью стандартной оценки, превышает уровень расследования, определенный в [106].

7.213. В соответствии с дифференцированным подходом, принятым в [109], в тех случаях, когда доза, оцененная с помощью эталонных моделей (стандартная оценка), превышает 1 мЗв, предлагается использовать информацию, специфическую для конкретного рабочего места. Также предлагается учитывать информацию, специфическую для конкретного индивидуума, когда доза, оцененная с помощью эталонных моделей (стандартная оценка), превышает 6 мЗв. Такие

специфические биокинетические модели могут быть разработаны на основе последовательных прямых и косвенных измерений облученных работников.

7.214. На осаждение частиц вдыхаемой пыли в дыхательных путях влияет размер частиц. Обычным примером условий, в которых существует потребность в информации, специфической для материала, является ситуация, когда распределение частиц по размерам в воздухе значительно отличается от того, которое предполагается в эталонных моделях (т.е. медианный по активности аэродинамический диаметр (АМАД)[19] 5 мкм и геометрическое стандартное отклонение 2,5 [133]). Например, в промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, значение АМАД для пыли, взвешенной в воздухе, как правило, находится в диапазоне 1–20 мкм. Дозовые коэффициенты для АМАД, равного 1 мкм (в дополнение к коэффициентам для значения АМАД 5 мкм) указаны в [14]. Для значений АМАД, отличных от 1 мкм и 5 мкм, фракции вдыхаемых радиоактивных частиц, осажденных в различных областях дыхательных путей, следует определять по модели дыхательных путей МКРЗ и рассчитывать соответствующий дозовый коэффициент.

7.215. В тех случаях, когда информация о распределении частиц по размерам необходима для правильной интерпретации поступления радионуклидов и последующей оценки дозы, распределение частиц по размерам в воздухе следует определять с помощью, например, каскадного импактора. Как минимум, измерения проб воздуха должны включать измерение концентрации вдыхаемой фракции взвешенных в воздухе частиц.

7.216. Может также потребоваться более конкретная информация о типах абсорбции материала в биологических жидкостях после ингаляционного или перорального поступления, в зависимости от обстоятельств (одну такую оценку см. в [110]).

---

[19] АМАД представляет собой аэродинамический диаметр, при котором 50% активности в определенном аэрозоле связано с частицами, меньшими, чем АМАД, и, таким образом, оставшиеся 50% активности связаны с частицами, большими, чем АМАД. В дозиметрии внутреннего облучения АМАД используется для упрощения в качестве единственного «среднего» значения аэродинамического диаметра, представляющего аэрозоль в целом. Он используется для частиц размером, как правило, более 0,5 мкм, для которых осаждение зависит главным образом от инерционного удара и образования осадка.

7.217. В промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, работник может подвергаться внутреннему облучению в результате вдыхания частиц взвешенной в воздухе пыли, содержащих радионуклиды в цепочке распада ^{238}U и цепочке распада ^{232}Th. Такие радионуклиды обычно содержатся в матрице нерадиоактивных элементов и их соединений, и в этом случае эти матрицы определяют растворимость частиц. Поэтому для содержащихся радионуклидов целесообразно выбрать один тип легочной абсорбции, соответствующий растворимости минеральной матрицы [103]. Многие виды радиоактивных материалов промышленного происхождения, включая металлические руды, минеральные пески и накипь, обогащенную радием, устойчивы к воздействию всех форм химической атаки, за исключением наиболее активных. Поэтому для радионуклидов, содержащихся в частицах пыли, связанных с таким материалом, следует принимать легочную абсорбцию типа S.

7.218. Поскольку ретроспективное определение характеристик частиц после облучения может быть сопряжено с трудностями, при разработке программ мониторинга для работников следует рассмотреть вопрос о заблаговременном получении информации, касающейся конкретного материала. Анализ полученных с рабочего места проб загрязнения воздуха и поверхностей также может помочь в интерпретации измерений биопроб; например, путем измерения отношения ^{241}Am к $^{239+240}Pu$, когда прямое измерение ^{241}Am в легких используется для оценки поступления плутония или растворимости вдыхаемых частиц [134, 135].

7.219. На некоторых рабочих местах поступления определяются на основе измерений массовых концентраций пыли в воздухе[20]. В таких случаях расчет поступления требует знания концентрации активности (активности на единицу массы) взвешенных в воздухе частиц пыли. Иногда состав взвешенных в воздухе частиц пыли и, следовательно, их активность на единицу массы можно считать составом технологического материала. В альтернативном варианте частицы пыли, возможно, потребуется подвергнуть химическому анализу для определения их состава, или может потребоваться определить концентрацию активности частиц пыли (активность на единицу массы) непосредственно с помощью радиометрического анализа.

---

[20] В промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения, массовые концентрации пыли в воздухе часто контролируют для целей промышленной гигиены.

7.220. Вариабельность между индивидуумами и даже вариабельность скорости суточной экскреции для одного и того же индивидуума часто будет более значимой, чем различия между эталонной биокинетической моделью и моделью, разработанной специально для данного индивидуума. Для того, чтобы уменьшить эту вариабельность, периоды отбора проб экскреции должны быть достаточно продолжительными (например, 24 ч для мочи и 72 ч для фекалий).

7.221. В обычных обстоятельствах использование параметров моделирования, специфических для конкретного человека (например, скоростей переноса системной биокинетической модели), должно быть редким. При введении модификаций в биокинетику или другие анатомические характеристики модели значения параметров МКРЗ для расчета эквивалентной дозы в ткани или органе или ожидаемой эффективной дозы не могут быть использованы, поскольку они основаны на условном человеке или условном работнике (как определено в [16]).

7.222. Особое внимание следует уделять интерпретации измерений биопроб после использования интервенционных методов блокирования поглощения радионуклидов или повышения их экскреции, таких как введение диуретиков, слабительных или блокирующих или хелатирующих агентов, а также после удаления загрязнений или хирургического вмешательства в месте раны. Эти методы оказывают влияние на биокинетическое поведение инкорпорированных радионуклидов и изменяют его, тем самым сводя на нет использование стандартизированного подхода к моделированию для оценки поступления и дозы на основе измерений биопроб.

7.223. В таких случаях следует использовать альтернативные подходы, такие как отбраковка данных об экскреции для проб экскреции, отбор которых проводился в течение периода, в отношении которого можно предположить, что на интенсивность экскреции повлияло лечение, или модификация стандартных моделей с целью учета эффекта лечения. Примеры анализов, проведенных после введения хелатирующего агента Ca-DTPA (кальциевая соль диэтилентриаминпентауксусной кислоты) в случаях аварийного поступления актинидов, приведены в [136–144]. Измерения методом анализа биопроб для целей оценки дозы выполняются через определенный период времени, после обработки Ca-DTPA, до тех пор, пока экскреция радионуклида в пробах мочи не стабилизируется.

Неопределенности в оценках доз

7.224. Модели, которые были разработаны МКРЗ для описания поведения радионуклидов в организме и, следовательно, для оценки поступления, обеспечивают самые современные методы оценки дозы. Однако надежность оценок доз зависит от точности моделей и любых ограничений их применения в конкретных обстоятельствах.

7.225. В частности, важное значение для надежной оценки дозы имеет знание времени поступления радионуклидов в организм и того, было ли поступление острым или хроническим. Согласно [145, 146]:

a) предположение о том, что поступление имело место в середине периода мониторинга, может иметь тенденцию к переоценке истинного поступления;
b) предположение о постоянном хроническом поступлении в течение всего периода мониторинга дает объективную оценку истинного поступления при условии, что измерение и функция выведения точно известны или, по крайней мере, являются непредвзятыми.

7.226. Другим источником неопределенности в процессе оценки дозы является знание пути поступления в организм и физико-химических характеристик радионуклидов, попавших в организм. Для вдыхаемых радионуклидов размер частиц особенно важен с точки зрения влияния на осаждение в дыхательной системе, в то время как для при пероральном поступлении на ожидаемую эффективную дозу может существенно влиять коэффициент абсорбции кишечника f_1. При текущем мониторинге, когда облучение находится в пределах значений, соответствующих предельным дозам, параметры по умолчанию, изложенные в документе GSR Part 3 [2], могут быть достаточными для оценки поступления. Для облучения, приближающегося к предельным дозам или превышающего их, может потребоваться более конкретная информация о физической и химической форме поступления и о характеристиках конкретного лица, которую следует получать с целью повышения точности прогнозов моделирования.

7.227. Модели, используемые для оценки дозы, имеют следующие источники неопределенности:

a) структура биокинетической модели;
b) биокинетические данные человека, использованные при разработке модели;

c) экстраполяция биокинетических данных от животных к людям (межвидовая экстраполяция);
d) экстраполяция биокинетических данных от одного химического элемента к химическому аналогу на основе предположения о близком физиологическом сходстве (межэлементная экстраполяция);
e) вариабельность данных в группе населения;
f) следующие физические и анатомические параметры компьютерных моделей, используемых для оценки дозы, полученной в целевой области от излучения, испускаемого инкорпорированным радионуклидом:
   i) энергия и интенсивность испускаемого излучения;
   ii) коэффициенты взаимодействия испускаемого излучения в тканях;
   iii) элементный состав тканей тела;
   iv) объем, форма и плотность органов-мишеней в организме;
   v) пространственная связь органов в организме.

ОЦЕНКА ОБЛУЧЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

7.228. Высокие уровни облучения подвергшихся аварийному облучению работников могут быть связаны с ядерными или радиологическими аварийными ситуациями, такими как аварийная ситуация на атомной электростанции, авария с возникновением критичности [147], аварийная ситуация на промышленной облучательной установке или аварийная ситуация, связанная с утерянным или похищенным источником. Оценка такого облучения может начинаться с использования данных индивидуальных дозиметров и дозиметров на рабочем месте, но могут также использоваться другие, более сложные и узкоспециализированные ретроспективные методы дозиметрии, такие как хромосомный аберрационный анализ, электронно-спиновый резонанс, моделирование аварий и компьютерное моделирование, как обсуждено в [32] (см. также пункты 7.239–7.243).

7.229. В ситуациях, когда индивидуальные дозы для аварийных работников могут значительно превышать дозы, ожидаемые при нормальных условиях работы, и могут приближаться к пороговым значениям для серьезных детерминированных эффектов, указанным как уровни острой дозы в таблице IV.1 документа GSR Part 3 [2] и таблице II.1 документа GSR Part 7 [30], особое внимание следует уделять возможностям дозиметров и применению измерений и методов расчета, необходимых для оценки ОБЭ-взвешенных доз в органах [32] (см. пункт 2.33).

Внешнее облучение

7.230. Выбор индивидуального дозиметра зависит от вида излучения и от информации, необходимой для определения ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы AD_T в ткани или органе T. Могут использоваться следующие типы дозиметров:

a) фотонные дозиметры и нейтронные дозиметры, дающие информацию об индивидуальном эквиваленте дозы $H_p(10)$ для оценки AD_T в тканях и органах, таких как красный костный мозг и легкие;
b) дозиметры для хрусталика глаза, дающие информацию о $H_p(3)$ для фотонного излучения, генерируемого бета-излучением. Поскольку такие дозиметры для хрусталика глаза еще не являются широкодоступными, в качестве отправной точки при оценке дозы в хрусталике глаза в случаях аварийного облучения может оказаться необходимым использовать $H_p(10)$, хотя в авариях при промышленной радиографии это, вероятно, занижает дозу в хрусталике глаза;
c) дозиметры для конечностей, дающие информацию о дозе облучения кожи на глубине 0,4 мм для фотонного излучения, генерируемого бета-излучением, (и для нейтронов, если ожидается критичность) с целью оценки AD_T в дерме для ладони и подошвы стопы.

7.231. Ввиду разницы между ОБЭ нейтронов при развитии тяжелых детерминированных эффектов (значение 3) и радиационным весовым коэффициентом w_R для нейтронов (значение около 12 для большинства нейтронных спектров), следует проявлять особую осторожность при использовании индивидуального мониторинга облучения нейтронами с целью оценки AD_T в определенных тканях и органах, как описано в [32].

7.232. Для дозиметрии конечностей в аварийных ситуациях, особенно для рук, должен оказаться достаточным простой одноэлементный дозиметр. Для обеспечения лучшей точности измерения низкоэнергетического бета-излучения детектор должен быть тонким и отфильтрован по толщине тканезамещающего материала таким образом, чтобы можно было оценить дозу на номинальной глубине 40 мг/см^2 (или 0,4 мм) (см. пункт 7.230(c)). Однако, если такие дозиметры не являются легкодоступными, могут быть использованы подходящие альтернативные способы с использованием дозиметров $H_p(0{,}07)$ или $H_p(10)$.

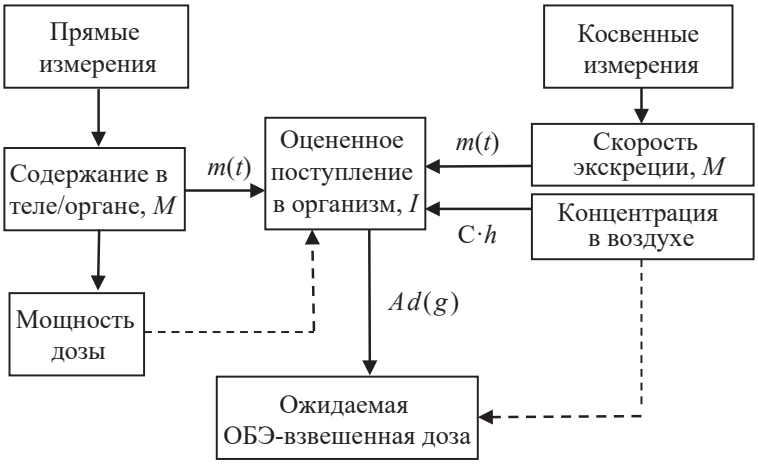
7.233. Во избежание необходимости в специальном дополнительном аварийном дозиметре обычный индивидуальный дозиметр должен быть способен выдавать информацию о $H_p(10)$ от фотонов до уровня не менее 10 Гр [148]. Следует признать, что некоторые дозиметры, такие как пленочные дозиметры, могут быть не в состоянии обеспечивать это при любых энергиях.

7.234. Ношение сигнальных (аварийных) дозиметров (или измерителей мощности дозы) может быть эффективным для предотвращения серьезного облучения и может помочь в значительном снижении дозы, получаемой в случае аварий. Сигнальные дозиметры не должны быть очень точными, но должны быть очень надежными, особенно в полях с высокой мощностью дозы.

7.235. Информация о дозиметрии в случае аварий с возникновением критичности, связанных с делящимися материалами, приведена в [148].

Внутреннее облучение

7.236. Концептуальная основа оценки доз внутреннего облучения в аварийных ситуациях проиллюстрирована на рис. 5.



Примечание. Возможные альтернативные подходы к расчету показаны пунктирными линиями.

РИС. 5. Общая схема оценки доз внутреннего облучения на основе данных мониторинга в аварийных ситуациях.

7.237. Для получения значения ожидаемой ОБЭ-взвешенной дозы поступление умножают на соответствующий дозовый коэффициент (ОБЭ-взвешенная доза на единицу поступления) для перорального ($Ad(g_{\mathrm{T},j,\mathrm{ing}})$ или ингаляционного ($Ad(g)_{\mathrm{T},j,\mathrm{inh}}$) поступления радионуклида j, в зависимости от обстоятельств. В качестве показателя вероятности развития тяжелых детерминированных эффектов следует использовать ожидаемую ОБЭ-взвешенную дозу за период 30 дней после острого поступления. Ожидаемая доза может быть серьезно занижена, если дозовый коэффициент $Ad(g)_{\mathrm{T},j}$ применяется непосредственно к измеренному значению M_j, а не к предполагаемому поступлению. Рекомендуемые значения интенсивности ретенции и интенсивности экскреции $m(t)_j$ для использования в отношении определенных радионуклидов после острого поступления при ингаляционном и при пероральном поступлении у работников приведены в дополнении XII документа [32]. В случае инкорпорирования смеси радионуклидов поступления оцениваются отдельно для каждого радионуклида и умножаются на соответствующие дозовые коэффициенты. Можно кратко изложить данные о ОБЭ-взвешенных дозах в ткани или органе в результате приема различных радионуклидов. Значения коэффициента ожидаемой RBE-взвешенной дозы за период 30 дней после острого поступления при ингаляционном и пероральном поступлении у работников приведены в таблицах 18 и 19 документа [149].

7.238. В случае сочетания аварийного внутреннего облучения и внешнего облучения оценка риска развития тяжелых детерминированных эффектов должна основываться на истории облучения подвергшихся аварийному облучению работников, как указано в [149].

7.239. Дополнительную информацию об аварийном внутреннем или внешнем облучении можно получить спустя длительное время после аварии путем применения ретроспективных методов дозиметрии к биологическим пробам, взятым у подвергшихся облучению лиц, к личным вещам подвергшихся облучению лиц или к другим предметам, которые присутствовали на месте аварии. Обзор и описание таких методов приведены в [33, 150, 151] и кратко изложены в приложении к настоящему руководству по безопасности.

7.240. Выбор метода ретроспективной дозиметрии зависит, наряду с прочим, от типа воздействовавшего излучателя и времени, прошедшего с момента аварии, с учетом стабильности измеряемого сигнала во времени. Методику преждевременной конденсации хромосомных фрагментов,

анализы гамма-H2AX и оценку изменений количества клеток крови или сывороточных белков следует использовать только в течение нескольких часов после облучения.

7.241. Измерения люминесценции в полимерах, волосах и ногтях эффективны только в течение нескольких дней после облучения ввиду значительной скорости затухания сигнала. Несколько более медленное затухание сигнала наблюдается у таких промышленных материалов, как стекло, электронные компоненты (например, в мобильных телефонах) и чипы памяти (например, чипы, встроенные в платежные карты и кредитные карты), что позволяет использовать их для восстановления дозы в течение нескольких недель после облучения.

7.242. Анализы дицентрических хромосом, микроядер, транслокаций или мутаций в клетках могут быть успешно использованы через несколько недель или даже лет после облучения, наряду с измерением методом электронного парамагнитного резонанса в зубной эмали, измерением активированного кальция или измерением сигналов люминесценции в кварце, извлеченном из кирпича или других подвергшихся обжигу строительных материалов. Методы биодозиметрии могут не подходить для случаев облучения низкими дозами менее 50–100 мЗв.

7.243. Для ретроспективной оценки индивидуальных доз используются различные численные методы. Большинство из них основаны на кодах для моделирования переноса излучения методом Монте-Карло, которые моделируют процессы переноса излучения и осаждения при облучении тканей, начиная с известной (измеренной) или оценочной информации о радиоактивном источнике и его положении или распределении в окружающей среде.

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КОЖИ

7.244. Радиоактивное загрязнение кожи приводит к внешнему облучению, а иногда даже к внутреннему облучению, в зависимости от соответствующих радионуклидов, присутствующих химических форм и концентраций активности.

Основные цели

7.245. Основные цели мониторинга и оценки облучения и радиоактивного загрязнения кожи можно резюмировать следующим образом:

a) определить соблюдение пределов доз и, следовательно, обеспечить предотвращение возникновения детерминированных эффектов;
b) в случае переоблучения инициировать и/или поддерживать любые соответствующие медицинские обследования и вмешательства.

Общие соображения

Сильнопроникающее излучение

7.246. Для с*ильнопроникающего* излучения ограничение эффективной дозы обычно обеспечивает достаточную защиту кожи от стохастических эффектов. За исключением ситуаций, связанных с горячими частицами (см. пункт 7.247), дальнейшее рассмотрение мониторинга кожи не требуется.

7.247. Могут возникать ситуации, в которых возможно облучение от горячих частиц. Это может приводить к пространственно неравномерному облучению от дискретных источников излучения размерами до 1 мм. Хотя соблюдение пределов доз является главной целью, МКРЗ отмечает, что возникновение острой язвы является конкретной конечной точкой, которую необходимо предотвращать [152]. Это означает, что доставляемую в течение нескольких часов на участке кожи 1 см^2 среднюю дозу, измеренную на глубине 10–15 мг/см^2 (0,10-0,15 мм), следует ограничивать значением 1 Зв. Обнаружение горячих частиц в поле окружающего излучения на рабочем месте может быть затруднено из-за весьма локализованного характера излучения частиц. Акцент следует делать на выявлении и контроле тех операций, которые могут приводить к появлению таких горячих частиц.

Слабопроникающее излучение

7.248. Для излучения с низкой проникающей способностью эквивалентная доза в коже ограничена уровнем 500 мЗв в год, усредненным по 1см^2 наиболее интенсивно облученного участка (Приложение III документа GSR Part 3 [2]). Номинальная глубина измерения составляет 7 мг/см^2 (0,07 мм).

Мониторинг радиоактивного загрязнения кожи

7.249. Радиоактивное загрязнение кожи никогда не бывает однородным и происходит преимущественно на определенных частях тела, особенно на руках. Для целей текущего контроля достаточно рассматривать радиоактивное загрязнение как усредненное по площадям около 100 см^2. Поэтому текущий мониторинг радиоактивного загрязнения кожи следует интерпретировать на основе средней эквивалентной дозы на площади 100 см^2. В большинстве ситуаций мониторинга радиоактивного загрязнения кожи показания сравниваются с допустимым пределом, и когда это практически возможно, загрязнение уменьшают. Допустимый предел должен представлять собой уровень (обычно выраженный в единицах беккерелей на квадратный сантиметр), который считается способным вызывать облучение, равное соответствующему пределу дозы. Допустимый предел обычно устанавливается с учетом всех потенциальных путей облучения (а не только облучения кожи). Если эти вторичные пределы не превышаются, обычно не предпринимается никаких попыток оценивать эквивалентные дозы. Однако иногда радиоактивное загрязнение сохраняется или изначально оказывается весьма высоким, и возникает необходимость в некоторой оценке эквивалентной дозы. В таких случаях дозу следует усреднять по площади 1 см^2, которая включает радиоактивное загрязнение. Эти оценки зачастую крайне неточны, особенно если излучение загрязняющего вещества может поглощаться под поверхностным слоем кожи. Неопределенности двух порядков — не редкость. Поэтому такие оценки считаются качественными процедурами и рассматриваются отдельно от обычного мониторинга внешнего излучения. Однако в тех случаях, когда производится оценка эквивалентной дозы, превышающей одну десятую от соответствующего предела эквивалентной дозы, ее следует включать в документацию личного учета работника. Часть радиоактивного загрязнения также может быть перенесена в организм, вызывая внутреннее облучение.

7.250. Калибровка мониторов поверхностного радиоактивного загрязнения обсуждается в [153–155]. Типовые испытания мониторов радиоактивного загрязнения обсуждаются в [156, 157].

РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ЗАПИСИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

7.251. Пункт 3.105 документа GSR Part 3 [2] гласит:

«Регистрационные записи профессионального облучения включают:

a) информацию об общем характере работы, при выполнении которой работник подвергался профессиональному облучению;
b) информацию об оценках доз, уровнях облучения и о поступлениях (радионуклидов), достигших соответствующих уровней регистрации, установленных регулирующим органом, или превышающих эти уровни, и данные, на основе которых были проведены оценки доз;
c) информацию о сроках работы у каждого работодателя и о дозах, уровнях облучении и поступлениях, полученных в каждом месте найма, если работник подвергается или подвергался облучению, работая более чем у одного работодателя;
d) регистрационные записи о любых оценках доз, уровнях облучения и поступлениях, полученных вследствие осуществления мероприятий в случае аварийной ситуации или в результате аварий или других инцидентов, которые фиксируются отдельно от записей, касающихся оценок доз, уровней облучения и поступлений при нормальных условиях работы, и которые содержат ссылки на отчеты о любых соответствующих расследованиях».

7.252. Помимо использования для демонстрации соблюдения законодательных требований, ведение регистрационных записей может использоваться достижения для ряда дополнительных целей, таких как:

a) демонстрация эффективности процесса оптимизации;
b) предоставление данных для компиляции распределений доз;
c) оценка тенденций облучения и, таким образом, предоставление информации, необходимой для оценки программы радиационной защиты;
d) разработка эффективных процедур и программ мониторинга;
e) предоставление данных об облучении, полученных из новых медицинских процедур и программ;
f) предоставление данных для эпидемиологических и научных исследований;
g) предоставление информации, которая может потребоваться в связи с судебными разбирательствами или требованиями работников о компенсации, которые могут возникнуть спустя годы после фактического или заявленного облучения.

Ведение регистрационных записей индивидуального мониторинга

7.253. Регистрационную запись индивидуального профессионального облучения следует привязывать исключительно к соответствующему работнику.

7.254. В регистрационных записях доз следует сохранять согласованность данных о полях, с тем чтобы обеспечить возможность восстановления результатов в любое более позднее время. Регистрационные записи о дозах должны обеспечивать координацию с другими необходимыми записями (например, они должны обеспечивать увязку с данными мониторинга рабочего места).

7.255. Для каждого периода мониторинга запись должна включать:

a) уникальную идентификацию физического лица и предприятия;
b) информацию о дозах за предыдущие периоды мониторинга (т.е. за годовой период и за соответствующий пятилетний период);
c) результаты оценок доз внешнего облучения и метод оценки, включая, в зависимости от обстоятельств:
   i) индивидуальный эквивалент дозы облучения сильнопроникающим излучением, $H_p(10)$;
   ii) индивидуальный эквивалент дозы облучения слабопроникающим излучением, $H_p(0{,}07)$;
   iii) другие значения дозы, такие как $H_p(0{,}07)$, полученные от дозиметров для конечностей, $H_p(3)$ для хрусталика глаза, значения дозы при использовании нескольких дозиметров (например, в случае двойной дозиметрии с использованием свинцового фартука) и расчетные значения дозы, рассчитанные путем моделирования (например, для доз, полученных экипажем воздушного судна в результате воздействия космического излучения);
d) результаты оценок доз внутреннего облучения и метод оценки, включая:
   i) ожидаемую эффективную дозу $E(50)$;
   ii) значения измеряемой величины (например, значение ретенции или суточное значение экскреции) и подробные сведения о моделях, используемых для оценки, включая результаты радиометрии всего тела, радиометрии грудной клетки и/или радиометрии щитовидной железы и оцененную ожидаемую эффективную дозу;

iii) в надлежащих случаях (например, в случае переоблучения), ожидаемую эквивалентную дозу в наиболее сильно облученных тканях, $H_T(50)$;

e) номинальную дозу, заменяющую отсутствующие значения, артефакты или суррогаты, например, в случае утери или повреждения дозиметров или проб (см. пункт 7.258).

7.256. При оценке показаний индивидуальных дозиметров практически невозможно провести различие между фотонным излучением и бета-излучением. Поэтому нецелесообразно пытаться по отдельности идентифицировать (и фиксировать) компоненты $H_p(0{,}07)$, обусловленные облучением от бета-излучения и облучением от гамма-излучения. Однако, поскольку различные виды излучения с высокой линейной передачей энергии имеют разные коэффициенты качества, дозы от нейтронов следует регистрировать отдельно. Следует помнить, что для определения общего индивидуального эквивалента дозы необходимо объединить дозы облучения фотонами, облучения нейтронами и бета-облучения.

7.257. Уровень регистрации в контексте индивидуального мониторинга должен представлять собой официально определенный уровень эффективной дозы (или эквивалентной дозы) или поступление, при превышении которого результат программы мониторинга имеет достаточную значимость для того, чтобы потребовалось включение измеренного значения или расчетного значения в регистрационную запись дозы. Другие результаты могут быть охвачены общим заявлением в регистрационной записи о том, что ни один незарегистрированный результат не превышает уровня регистрации. Тот факт, что было проведено измерение, следует регистрировать даже в этих случаях. Лучшим способом сделать это может быть включение в регистрационные записи нулевого результата. Если это делается, следует четко указать, что «нулевая запись» относится к дозе ниже уровня регистрации.

7.258. В некоторых обстоятельствах для периода, когда в отношении лица, работающего в радиационно-опасных условиях, осуществлялся (или должен был осуществляться) мониторинг, может не иметься оценки дозы. Это может иметь место в случаях, когда дозиметр был поврежден, утерян или экспонирован, или когда он зарегистрировал дозу, которая при расследовании была признана недействительной. В таких случаях система регистрационных записей должна предусматривать введение записи о номинальной дозе, рассчитанной или оцененной регулирующим органом или уполномоченным лицом. Номинальные дозы следует помечать как

таковые в регистрационной записи дозы, с тем чтобы их можно было отличить от доз, оцененных по результатам измерений дозы, проведенных утвержденной службой мониторинга. Если данные об оцененной дозе или расчетной дозе не предоставляются, зарегистрированное значение следует оставить пустым, с тем чтобы оно отличалось от записи дозы ниже уровня регистрации (зарегистрированной как нулевая доза).

7.259. Для лиц, которым необходимо использовать дозиметры для конечностей (включая их использование в качестве дозиметров хрусталика глаза), следует вести отдельный учет облучения каждой конечности (или облучения хрусталика глаза) за период ношения дозиметра для конечностей.

7.260. Типичные регистрационные записи, создаваемые в рамках программы мониторинга внутреннего облучения, включают как непосредственно актуальные данные, так и подтверждающую документацию. Эти записи должны обеспечивать прослеживаемость данных измерений и оценки дозы. Непосредственно актуальная информация включает:

a) данные о пробах, такие как дата и время отбора и доказательства непрерывности документального учета;
b) исходные данные от измерительных приборов, методы, используемые для измерения (прямые или косвенные методы) и скорости счета в конкретных диапазонах энергии;
c) измерения фоновых уровней и эталоны и калибровочные данные для счетчиков;
d) рассчитанные результаты, такие как содержание активности в организме или суточная интенсивность экскреции, и их статистический анализ;
e) расчетные оценки поступления и биокинетические модели, на основе которых они были получены;
f) расчетные ожидаемые эффективные дозы и используемые коэффициенты пересчета дозы.

7.261. Записи индивидуальных доз должны включать любые оцененные эквивалентные дозы или поступления в организм. Следует включать подробную информацию о любом участии в аномальных событиях, даже если невозможно было произвести оценку облучения. Следует сохранять записи, касающиеся целей, методов мониторинга и моделей, используемых для анализа и интерпретации данных. Такие записи могут потребоваться

для будущей интерпретации записей доз. Следует обеспечивать прослеживаемость данных измерений и оценки дозы для будущей интерпретации записей доз.

7.262. В случае аварий или потенциального поступления, которое может приближаться к нормативному пределу или превышать его, промежуточные результаты следует заносить в регистрационные записи облучения, с тем чтобы можно было принять соответствующие административные меры и другие меры. Результаты должны включать итоги измерения, подразумеваемое значение поступления на основе соответствующей биокинетической модели и подразумеваемую ожидаемую эффективную дозу на основе соответствующего дозового коэффициента. При необходимости могут быть вынесены рекомендации по последующему мониторингу и ограничениям на рабочем месте. Следует четко указывать источник представляемой информации, а также пункт связи для получения любой дополнительной информации.

7.263. Следует сообщать о неопределенностях измеренных значений и рассчитанных значений. В качестве альтернативы дозиметрическая служба может подготовить брошюру или доклад, в котором изложена конкретная информация, касающаяся процедуры измерения и ее характеристик (ограничений), включая неопределенности.

7.264. В отношении конфиденциальности, доступности и целостности регистрационных записей доз:

a) следует ограничивать доступ к помещениям, файлам, архивам, компьютерам и серверам, на которых обрабатывается и хранится личная информация;
b) распространение информации, особенно с помощью электронных информационных сетей, следует осуществлять безопасным образом;
c) следует предусматривать процедуры резервного копирования регистрационных записей доз и обеспечивать эквивалентную безопасность для резервных копий;
d) аналогичные меры безопасности следует принимать при использовании активных индивидуальных дозиметров и связанного с ними программного обеспечения;
e) следует предусматривать уничтожение документации или других носителей, содержащих конфиденциальную информацию, которая более не нуждается в хранении;

f) зарегистрированные данные следует защищать от несанкционированного или непреднамеренного изменения, с тем чтобы сохранять целостность данных.

7.265. Следует рассмотреть вопрос о создании национального реестра доз в качестве центрального пункта для сбора и сохранения регистрационных записей доз. Хранение информации в национальном реестре доз следует организовывать таким образом, чтобы работники во время и по истечении периода их трудовой деятельности имели доступ к информации о дозах, полученных ими во время профессионального облучения. Долгосрочное хранение такой информации в национальном реестре доз также служит следующим целям:

a) оно предотвращает утрату данных об индивидуальных дозах в том случае, если лицо, осуществляющее регистрацию, или лицензиат прекращают свою деятельность в соответствующем государстве;
b) оно позволяет проводить периодический анализ всех собранных данных об облучении с целью определения на национальном уровне характеристик ситуации в отношении профессионального облучения.

Ведение регистрационных записей по мониторингу рабочих мест

7.266. Следует регистрировать информацию, которая:

a) демонстрирует соблюдение регулирующих положений;
b) указывает на существенные изменения рабочей среды;
c) включает подробные данные о радиационных обследованиях (например, дату, время, место проведения, уровни радиации, используемые приборы, лицо, проводившее обследование, и другие замечания);
d) включает полученные сообщения о рабочем месте, на котором могут не соблюдаться установленные нормы;
e) содержит подробные сведения о любых соответствующих принятых мерах.

7.267. Следует вести регистрационные записи, документирующие определение и расположение контролируемых зон и зон наблюдения. Следует также вести учет радиационных обследований, включая дату, время и место проведения, измеренные уровни радиации и любые замечания, касающиеся проведенных измерений. В регистрационных записях следует указывать используемые приборы и лицо, выполняющее обследование.

Даже если данные мониторинга рабочего места не используются для оценки дозы, данные следует хранить для будущей проверки условий на рабочем месте.

7.268. Надлежащая регистрационная запись о калибровке дозиметрического оборудования должна включать указание следующего:

a) наименование оборудования;
b) точность калибровки оборудования в его рабочем диапазоне и по виду излучения, для контроля которого оно предназначено;
c) дата проведения испытания;
d) использованные калибровочные эталоны;
e) частота калибровки;
f) фамилия и подпись уполномоченного лица, под руководством которого проводилось испытание.

Периоды хранения документации

7.269. Пункт 3.104 документа GSR Part 3 [2] гласит:

> «Регистрационные записи профессионального облучения каждого работника сохраняются в течение всего периода трудовой деятельности работника и по окончании этой деятельности по меньшей мере до даты, когда бывшему работнику исполнится или должно было бы исполниться 75 лет, и не менее чем в течение 30 лет после прекращения трудовой деятельности, в которой работник подвергался профессиональному облучению».

7.270. Что касается регистрационных записей об индивидуальном облучении, то период хранения следует рассматривать как относящийся не только к хранению записей о профессиональном облучении работника, но и к хранению записей о калибровке оборудования индивидуального мониторинга, используемого для определения такого профессионального облучения.

7.271. Регулирующему органу следует решать, какие части регистрационных записей профессионального облучения следует сохранять руководству для целей регулирования, и ему следует указывать периоды хранения для каждой из этих частей регистрационных записей.

7.272. Рекомендуется, как правило, пятилетний срок хранения регистрационных записей мониторинга рабочих мест и записей калибровки приборов мониторинга рабочих мест. Однако многие регистрационные записи мониторинга рабочих мест, например, полные подробные сведения о конкретном радиационном обследовании, носят временный характер и актуальны только в течение установленного периода рассмотрения, и, возможно, нет необходимости хранить такие записи в течение длительных периодов времени. Другие записи могут относиться к решениям о технических условиях для рабочего места, и эти записи могут быть актуальными на протяжении всего периода существования рабочего места. Например, регистрационные записи, документирующие создание обозначенных зон, вероятно, следует хранить все время, пока существуют эти обозначенные зоны.

7.273. Периоды хранения, указанные в пунктах 7.269 и 7.272, отражают рекомендуемые минимальные требования, которые должны быть установлены регулирующим органом в отношении хранения регистрационных записей. Руководство может принять решение о сохранении более подробных относящихся к конкретным операциям регистрационных записей, которые могут, например, использоваться при будущей оптимизации защиты. Такие операции могут включать мероприятия по техническому обслуживанию или ремонту.

8. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ ПОСТАВЩИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛУГ

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

8.1. Любых поставщиков технических услуг по обеспечению защиты и безопасности следует аттестовать в соответствии с определенными процедурами. Услуги, предоставляемые поставщиками технических услуг, могут быть разделены на две категории:

a) консультационные услуги и услуги по техническому обслуживанию, включая:
   i) консультации по радиационной безопасности;
   ii) расчеты экранирования;
   iii) моделирование для оценки дозы, локализации и вентиляции;

iv) ремонтно-эксплуатационные услуги, охватывающие как внутренние операции, так и услуги, предоставляемые по контракту с внешней организацией;
v) услуги по дезактивации, например, оборудования и труб;

b) услуги по калибровке, испытаниям и анализу, включая:
i) услуги по мониторингу, включая индивидуальный мониторинг, мониторинг рабочих мест и мониторинг окружающей среды;
ii) калибровку и услуги по поверке калибровки приборов мониторинга и источников излучения.

8.2. Систему менеджмента поставщиков услуг в области радиационной защиты и безопасности следует классифицировать в соответствии с масштабами их деятельности. Поставщику услуг следует документировать свою систему менеджмента, в тем числе политику, процессы и процедуры, а также инструкции. Систему менеджмента следует документировать в той мере, в какой это необходимо для обеспечения качества предоставляемых услуг.

8.3. Система менеджмента поставщика услуг должна охватывать работы, выполняемые на постоянных установках, на площадках, удаленных от постоянных установок, или на связанных с ними временных или мобильных установках.

8.4. Защита и безопасность должны иметь первостепенное значение для всех поставщиков услуг, которые используют излучение в своей деятельности. Система менеджмента поставщика услуг, использующего излучение, должна соответствовать требованиям и рекомендациям всех соответствующих норм безопасности МАГАТЭ [5, 6].

8.5. В тех случаях, когда поставщик услуг является частью более крупной организации, организационные механизмы должны быть такими, чтобы департаменты, которые могут иметь конфликтующие интересы, такие как производственный отдел, отдел коммерческого маркетинга или финансовый отдел, не оказывали негативного влияния на способность поставщиков услуг выполнять требования их системы менеджмента.

8.6. Поставщик услуг, если он желает быть признанным в качестве сторонней организации, должен иметь возможность продемонстрировать, что он является беспристрастным и что он и его персонал свободны от любого ненадлежащего коммерческого, финансового или иного давления, которое может поставить под угрозу их технические суждения. Сторонняя

организация не должна заниматься какой-либо деятельностью, которая может поставить под угрозу доверие к ее независимости в плане оценки и добросовестности в отношении ее услуг.

8.7. Как и во многих государствах, такую демонстрацию соблюдения требований следует осуществлять посредством аудита, проводимого третьей стороной, или аккредитации в соответствии с международно признанными стандартами менеджмента, такими как [90]. Поставщик услуг должен нести ответственность за осуществление своей деятельности таким образом, чтобы удовлетворять потребности своих заказчиков.

Культура безопасности

8.8. Поставщику услуг следует формировать культуру безопасности посредством:

a) содействия знанию в организации соответствующих стандартов безопасности;
b) проведения анализа рисков применяемых процедур;
c) установления надлежащих правил и процедур и соблюдения регулирующих требований с целью сведения рисков к минимуму;
d) периодической оценки осуществления и эффективности этих правил и процедур;
e) привлечения соответствующего руководства и персонала;
f) периодического обучения персонала в соответствии с установленной программой обучения правильному соблюдению правил и процедур;
g) обсуждения установленной учебной программы с обученным персоналом;
h) периодического обновления учебных программ и их согласования с требованиями правовых и регулирующих органов, которые должны проверять эффективность этих программ;
i) распространения и популяризации знаний об авариях и других инцидентах с целью извлечения уроков из их возникновения и любых повторений, а также с целью повышения культуры безопасности;
j) получения от персонала предложений, связанных с безопасностью, путем применения соответствующей системы стимулирования.

Применение дифференцированного подхода к применению требований системы менеджмента

8.9. Дифференцированный подход, обычно используемый поставщиками услуг, таков, что любые различия в механизмах контроля, которые должны применяться к продуктам или услугам, следует выявлять в рамках каждого процесса и основывать на влиянии процесса на качество конечного продукта.

8.10. При применении дифференцированного подхода следует также учитывать масштабы и функции организации. Более мелкие организации не будут располагать достаточным персоналом для раздельного выполнения всех функций. Тем не менее, по-прежнему крайне важно, чтобы функции — включая поощрение культуры безопасности, обеспечение независимости, документирования и ведения учета — выполнялись с целью достижения результатов деятельности, указанных в настоящем документе.

Документация системы менеджмента

8.11. Документы[21] могут быть организованы на любом соответствующем носителе, используемом в организации, при условии использования соответствующей системы контроля.

8.12. Документация системы менеджмента часто содержится в руководстве по качеству, включающем или содержащем ссылки на подтверждающие документы, в том числе:

a) описание системы менеджмента;
b) документы по менеджменту, например документы по некоторым темам, охваченным в пунктах 8.49–8.70;
c) подробные рабочие процессы и должностные инструкции;
d) дополнительные технические документы и данные, включая:
   i) базы данных радионуклидов и технические базы данных;
   ii) руководства по эксплуатации оборудования и программного обеспечения;
   iii) перечни данных реагентов;

[21] К числу документов могут относиться документы с изложением политики, регламенты, инструкции, спецификации и чертежи (или презентации на иных носителях); учебные материалы; и любые другие тексты, в которых приводится описание процесса, указываются требования или устанавливаются спецификации продуктов.

iv) требования регулирующего органа или другого соответствующего компетентного органа (установленные в законах и регулирующих положениях);

v) управленческие и технические стандарты.

8.13. Дополнительные технические документы часто являются внешними документами, на которые не распространяется сфера влияния поставщика услуг. Тем не менее, эти документы и данные также следует контролировать.

8.14. Процедура, описывающая, как документы должны контролироваться внутри организации, должна включать периодическое рассмотрение действующих документов с целью определения того, может ли потребоваться их обновление (пересмотр).

ОТВЕТСТВЕННОСТЬ РУКОВОДСТВА

Приверженность руководства

8.15. Старшему административному руководству следует подписать документ «о приверженности руководства»[22], с тем чтобы признать ответственность руководства за выполнение требований по созданию системы менеджмента, предоставлению необходимых ресурсов, гарантированию рассмотрения и пересмотра системы по мере необходимости и определению организационной политики и целей, которые будут регулировать эту систему. После выпуска этот документ об ответственности руководства следует довести до сведения персонала. В этом контексте «необходимые ресурсы» могут включать персонал, инфраструктуру, рабочую среду, информацию, предметы снабжения и партнерские связи, природные ресурсы и финансовые ресурсы, необходимые для достижения целей организации.

[22] Старшее административное руководство – это лицо или группа лиц, которые осуществляют управление, контроль и проводят оценки в организации на высшем уровне. Для этого используется множество различных терминов, в том числе такие, как руководитель организации, генеральный директор, группа руководящих работников, директор станции, главный управляющий, руководитель регулирующего органа, исполнительный директор и заведующий лабораторией.

Удовлетворенность заказчиков

8.16. Для организаций, предоставляющих технические услуги в области защиты и безопасности, заинтересованными сторонами[23], как правило, являются заказчики, сотрудники, регулирующие органы, поставщики, население и владельцы. Из них важнейшее значение следует придавать заказчикам. Интересы других заинтересованных сторон, как правило, могут быть удовлетворены путем соблюдения существующих законов, правил и регулирующих положений.

8.17. Следует разработать процесс выявления и документирования требований для выполнения контракта на обслуживание. Он должен предусматривать определение:

a) требований заказчика;
b) соответствующих законодательных и регулирующих требований;
c) необходимых организационных ресурсов;
d) требований к коммуникации с заказчиком.

8.18. Организация должна следить за тем, чтобы учитывалась реакция заказчиков. Следует собирать и оценивать соответствующие отзывы, включая как благоприятные, так и неблагоприятные реакции. С этой целью руководству следует разработать в рамках системы менеджмента процесс мониторинга, предназначенный для оценки и анализа реакций всех заказчиков. Полученные результаты следует использовать для того, чтобы организация могла принимать меры по постоянному повышению эффективности и безопасности.

---

[23] Заинтересованной стороной в этом контексте является физическое лицо, группа, компания или другое юридическое лицо, заинтересованное в деятельности организации, предприятия или системы. Те, кто может влиять на события, могут фактически стать заинтересованными сторонами — в том смысле, что их взгляды необходимо учитывать. Как правило, к числу заинтересованных сторон относятся: заказчики; владельцы и операторы; служащие; поставщики; партнеры; профсоюзы; охватываемые регулированием отрасли и специалисты; научные учреждения; правительственные учреждения или регулирующие органы (местные, региональные и национальные), в чью сферу ответственности могут входить вопросы ядерной энергии; средства массовой информации; население (отдельные лица, общинные группы и группы, объединенные общими интересами); и другие государства, в особенности соседние государства, которые заключили соглашения, предусматривающие обмен информацией, касающейся возможных трансграничных последствий, или государства, участвующие в экспорте или импорте определенных технологий или материалов.

8.19. Организации следует иметь действующую процедуру, определяющую, как она защищает конфиденциальность клиента, одновременно признавая любые законные запросы относительно консультирования регулирующих органов по поводу любого нарушения регулирующего требования или предела, например, превышения пределов индивидуальной дозы, и соглашаясь с такими запросами.

Организационная политика

8.20. Как правило, поставщик услуг имеет только одну организационную политику. Эта политика должна быть простой (краткой) и легко понятной всем членам организации (персоналу). Организационная политика поставщика услуг должна включать краткое описание действий, направленных на решение таких вопросов, как:

a) определение и поддержание ожидаемого уровня удовлетворенности заказчиков;
b) выявление возможностей и потребностей в постоянном совершенствовании;
c) обеспечение приверженности предоставлению ресурсов, необходимых для выполнения этой задачи;
d) обеспечение вкладов поставщиков и партнеров (подтверждение того, что поставщики и партнеры способны предоставлять товары и услуги, отвечающие установленным стандартам качества);
e) обеспечение приверженности внедрению надлежащей профессиональной практики при предоставлении услуг;
f) принятие обязательств по обеспечению компетентности (квалификации) персонала, участвующего в оказании услуг;
g) приверженность соблюдению требований соответствующих стандартов;
h) обеспечение уделения необходимого внимания защите, безопасности, охране здоровья, качеству, окружающей среде, безопасности, социально–экономическим аспектам, в зависимости от обстоятельств.

8.21. После разработки организационную политику следует воплощать в поддающиеся измерению цели. Достижение этих целей следует проверять в ходе рассмотрения со стороны руководства. Наряду с этим, в ходе этого проводимого руководством рассмотрения следует оценивать их адекватность существующей системе менеджмента.

Планирование

8.22. Следует разработать план, обеспечивающий для организации ряд четко определенных целей. Это означает, что на различных уровнях организации следует поставить ряд целей или задач. Эти цели следует задавать в процессе планирования и они должны соответствовать политике или направлениям деятельности организации. На техническом уровне цели должны поддаваться количественной оценке.

8.23. При определении соответствующих целей следует учитывать такие источники информации, как доклады о внутренней ревизии, результаты рассмотрения процессов и отзывы заказчиков. В качестве примера, первоначальная цель испытательной лаборатории может заключаться в предоставлении заказчику результата, который соответствует определенным критериям проведения испытаний. Со временем, если организация последовательно демонстрирует свою способность соответствовать этим критериям, могут быть поставлены дополнительные цели, такие как повышение удовлетворенности заказчиков путем сокращения сроков проведения испытаний. Поэтому цели следует устанавливать после рассмотрения многих факторов, включая текущие и будущие потребности организации, потребности обслуживаемого рынка и регулирующие требования.

8.24. Для обеспечения того, чтобы процесс планирования по-прежнему был сосредоточен на определенных целях, мероприятия по планированию должны носить систематический характер и должны документироваться. Старшее руководство должно нести ответственность за обеспечение выделения достаточных ресурсов для достижения поставленных целей.

Обязанности и полномочия в системе менеджмента

8.25. В организации, которая предоставляет технические услуги в области защиты и безопасности, часто бывает так, что топ-менеджер назначает одно лицо в качестве руководителя системы менеджмента. Руководителю системы менеджмента следует обладать соответствующим опытом выполнения задач, для выполнения которых он или она назначены, и обладать закрепленными в письменном документе полномочиями делать следующее:

a) разрабатывать систему менеджмента и управлять ею, что включает выполнение мероприятий, направленных на обеспечение соблюдения соответствующих стандартов, согласование процедур и документов, рассмотрение операций, выявление любых несоответствий (т.е. невыполнение требования) и информирование о них руководства и проведение обучения по вопросам осведомленности персонала о системе менеджмента;
b) вести диалог по вопросам качества, как может потребоваться регулирующему органу или органам по аккредитации;
c) постоянно поддерживать непосредственный диалог со старшим руководством по вопросам, касающимся системы менеджмента;
d) выступать в качестве координационного центра для сообщений о проблемах, связанных с качеством, и предложений по улучшению;
e) останавливать любые работы, которые не выполняются в установленном порядке;
f) проводить периодические (обычно ежегодные) рассмотрения системы менеджмента.

ПОРЯДОК ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ

Предоставление ресурсов

8.26. Ресурсы — это элементы, необходимые для осуществления процессов. К ним относятся персонал, оборудование и расходные материалы, информация, физические объекты, инфраструктурные услуги, рабочие места с надлежащими условиями и денежные средства.

Людские ресурсы

8.27. При рассмотрении людских ресурсов следует учитывать такие вопросы, как численность персонала, образование, профессиональная подготовка, опыт, квалификация и периодические рассмотрения результатов работы. Имеющиеся людские ресурсы должны быть достаточными для удовлетворения заранее определенных потребностей в персонале.

Инфраструктура и условия работы

8.28. С целью определения ресурсов, которые потребуются для успешного достижения заявленных целей, следует рассматривать инфраструктурные требования каждого процесса. Для калибровочных и испытательных

лабораторий, где обстановка на рабочем месте может повлиять на качество результатов, регулирующий орган может ввести дополнительные требования, такие как особые полномочия, которые будут использоваться с тем, чтобы калибровочных услуги обеспечивали правильную сертификацию и калибровку оборудования.

8.29. Процесс контроля устройств для мониторинга и измерения следует осуществлять таким образом, чтобы создать эффективный способ обеспечения высокой степени уверенности в том, что данные, которые генерируются этими приборами и которые должны использоваться в качестве основы для сообщаемых результатов, выводов и интерпретаций, точны в пределах предписанных требований. Устройства для мониторинга и измерения включают приборы, программное обеспечение и калибровочные эталоны, используемые для проведения измерений и обследований.

8.30. Процесс должен подтвердить, что эти устройства подходят для предполагаемого использования, и что они испытаны, откалиброваны и верифицированы как функционально пригодные в рамках заданных рабочих пределов. Следует также обеспечивать физическую защиту устройств с целью исключения возможности возникновения технологических ошибок.

8.31. Программное обеспечение, используемое для сбора данных и проведения расчетов собранных данных, следует проверять до его ввода в эксплуатацию и защищать от несанкционированного изменения. Функциональность программного обеспечения следует верифицировать после любого изменения основных параметров операционной системы или сетевого управления компьютера или после любой деятельности, которая может повлиять на функциональные возможности прикладного программного обеспечения. Следует рассмотреть вопрос о необходимости сохранения (архивирования) различных версий программного обеспечения, с тем чтобы иметь возможность доступа к старым записям, созданным конкретными версиями программного обеспечения.

8.32. Дополнительные требования, установленные другими регулирующими органами, могут касаться таких вопросов, как общая защита и безопасность на рабочем месте и связанных с ним установках, защита личной жизни и конфиденциальности данных, а также резервное копирование записей, хранящихся на электронных носителях.

8.33. Что касается условий работы, то следует рассмотреть вопрос о том, как наилучшим образом сочетать учет человеческих факторов и физических факторов с достижением цели улучшения работы организации.

Разработка процессов

8.34. Продукцией организаций, предоставляющих технические услуги в области защиты и безопасности, являются сами услуги, которые предоставляются с использованием установленных процессов. Разработку новых процессов предоставления новых услуг (продуктов) следует тщательно планировать.

8.35. Руководству организации, предоставляющей технические услуги, следует назначить технического руководителя проекта, который будет отвечать за планирование новых процессов. Руководитель проекта должен поставить перед собой задачу составить график планирования нового процесса путем применения технических знаний и опыта, а также знаний о требованиях к продукции, которая необходима соответствующей технической службе.

8.36. В графике планирования следует также учитывать необходимость обеспечения прослеживаемости любых результатов измерений к соответствующим стандартами, включая правильное и последовательное использование Международной системы единиц (СИ), и представления информации о неопределенностях, связанных с результатами этих измерений.

Управление процессами

8.37. В организации, предоставляющей технические услуги в области защиты и безопасности, как правило, существуют два типа процессов:

a) процессы системы менеджмента (административные процессы и ключевые процессы);
b) процессы предоставления услуг и продуктов организации (технические процессы и основные процессы).

8.38. При мониторинге осуществления своих процессов с целью обеспечения того, чтобы эти процессы оставались эффективными и достигалась удовлетворенность заказчиков, предоставляющей услуги организации необходимо проанализировать следующее:

a) своевременность;
b) функциональные возможности (способность удовлетворять соответствующим требованиям);
c) эффективность (ресурсы, выделяемые на процесс, и возможности их сокращения без ущерба для качества и соответствия регулирующим требованиям).

8.39. Данные могут быть получены в результате различных видов контоля в ходе осуществления процессов. Эти данные могут быть использованы в качестве основы для принятия решений в организации путем проведения надлежащего анализа. Применение статистических методов к необработанным данным может быть особенно полезным для определения тенденций в показателях работы людей и приборов путем описания улучшений или ухудшений. Это может обеспечить возможность скорейшего принятия мер с целью предотвращения несоответствия требованиям. Может также оказаться полезным применение аналогичных статистических методов для отслеживания, в частности, удовлетворенности заказчиков, экономики ресурсов и эффективности работы поставщиков.

Контроль продукции

8.40. В организациях, предоставляющих услуги по обеспечению защиты и безопасности, продукт, как правило, контролируется путем контроля процесса производства (т.е. предоставления услуг).

8.41. Процессы организации должны включать любые необходимые меры для обеспечения того, чтобы поставляемый продукт или услуга отвечали требованиям и ожиданиям заказчика:

a) в случае консультационных услуг к числу этих мер могли бы относиться следующие:
   i) дополнительные расчеты с использованием других алгоритмов;
   ii) проверка ввода данных;
   iii) сравнение результатов с предыдущим опытом;
b) в случае услуг по измерению и калибровке к числу этих мер могли бы относиться следующие:
   i) повторные испытания (возможно, с использованием иных приборов для анализа);
   ii) проверки введенных холостых проб или проб для испытаний;
   iii) проверки достоверности результатов (выполняются путем применения экспертных знаний).

Результаты следует регистрировать в качестве доказательства контроля производственного процесса.

8.42. Соответствие продукта или его частей требованиям следует обеспечивать путем указания условий идентификации, хранения, обращения, защиты и доставки.

8.43. Кроме того, в тех случаях, когда продукт может быть полностью проверен только после поставки, каждый процесс, который способствует его производству, следует верифицировать с целью определения приемлемых и подходящих критериев для используемого оборудования и методов и квалификации соответствующего персонала. Для обеспечения точности и последовательности процесса, как правило, желательно составлять перечень параметров, связанных с надлежащим завершением каждого этапа. Верификация обычно требует создания регистрационных записей, таких как контрольные перечни, подлежащих заполнению и оценке с целью получения конечного значения. На практике контрольный перечень может иметь форму регистрационной записи в файле базы данных, а процесс верификации может быть организован с помощью программного обеспечения.

8.44. Если создание продукта требует нескольких этапов, то для идентификации результатов каждого этапа может оказаться необходимым отслеживание статуса продукта, если это требуется согласно регламенту. Может быть полезным создание регистрационной записи, такой как контрольный список, подтверждающей выполнение всех необходимых этапов.

8.45. Собственность заказчиков, включая интеллектуальную собственность, следует защищать на протяжении всех производственных процессов. Следует заранее оговаривать собственность заказчиков и методы ее защиты. Например, доступ к данным, предоставляемым заказчиками, следует разрешать только ограниченному числу лиц.

8.46. В случае консультации по радиационной защите собственность заказчика может включать подробную информацию об установках клиента, данные об облучении или источниках, или подробные сведения о любом методе, разработанном заказчиком в связи с запрашиваемой услугой. Кроме того, услуги, предоставляемые в связи с радиационной защитой, становятся собственностью заказчика, а связанную с ними информацию (т.е. отчеты о дозах или калибровках) следует рассматривать как конфиденциальную.

Коммуникация

8.47. Коммуникация в организации, предоставляющей услуги в области защиты и безопасности, может быть обеспечена путем:

a) организации регулярных совещаний ключевого персонала;
b) использования коммуникационных средств (например, электронных щитов для объявлений и интранета);
c) наличия аналогичных методов внутренней коммуникации.

Управление организационными изменениями

8.48. При рассмотрении организационных изменений в организациях, предоставляющих услуги, следует руководствоваться положениями руководящих материалов, содержащихся в документе GS-G-3.1 [6], с целью обеспечения того, чтобы не оказывалось отрицательного воздействия на качество продукта или услуг.

ИЗМЕРЕНИЕ, ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Контроль системы менеджмента

8.49. На всех этапах разработки и функционирования технических служб поставщику технических услуг следует определять, планировать и проводить мероприятия по измерению и контролю, связанные с системой менеджмента, которые необходимы для обеспечения соответствия применимым стандартам, законам и регулирующим положениям, а также для достижения улучшений. Эти мероприятия должны включать определение потребности в применимых методах, включая статистические методы, и конкретизацию их использования.

8.50. Общий процесс измерения, анализа и повышения эффективности включает следующее:

a) меры, принимаемые на постоянной основе с целью контроля общей эффективности системы путем выявления с помощью соответствующих показателей тех областей, в которых может оказаться целесообразным улучшение;

b) применение базовых статистических методов (например, гистограмм, дистрибутивного анализа и средних значений) или качественных аналитических методов для отслеживания данных об удовлетворенности заказчиков, работе оборудования, измерении производительности и аналогичных показателей эффективности услуг, предоставляемых заказчику;
c) меры, предпринимаемые на проактивной основе с целью предотвращения несоответствий, совершенствования системы и оптимизации обслуживания заказчика; процесс внутреннего аудита, наряду с деятельностью по улучшению, является частью этих мер;
d) меры, предпринимаемые на основе реагирования с целью исправления несоответствий, выявленных, в частности, путем самооценки, анализа жалоб заказчиков или рекомендаций внутреннего или внешнего аудита.

Самооценка

8.51. Самооценка является инструментом, используемым теми, кто фактически проводит работу по выявлению возможностей для улучшения. Если организация, предоставляющая услуги, желает принять практику самооценки, ей следует воспользоваться руководящими материалами, содержащимися в документе GS-G-3.1 [6].

Независимая оценка

8.52. Аудиты могут проводиться в различные периоды года или одновременно. Последовательное проведение внутренних аудитов по графику имеет несколько преимуществ:

a) оно помогает подчеркнуть, что процесс внутреннего аудита является постоянной деятельностью, направленной на совершенствование системы менеджмента;
b) оно помогает уменьшить дополнительную рабочую нагрузку на лиц, отобранных для проведения аудита;
c) оно полезно для оперативного выявления потенциальных несоответствий и областей, в которых могут оказаться целесообразными улучшения;
d) оно помогает отслеживать прогресс в выполнении любых корректирующих мер, которые могли быть рекомендованы в ходе предыдущих аудитов.

8.53. Независимость при проведении аудитов может быть обеспечена путем создания отдела перекрестного аудита, который работает по всем функциям (если позволяют ресурсы). Информацию о мандате и сфере охвата аудиторской группы или лица следует уточнять и доводить до сведения аудиторов.

8.54. Внутренние аудиты могут также проводиться в конкретных целях и вопрос об их проведении следует рассматривать после жалоб заказчиков, неоднократных несоответствий или серьезных изменений в организации.

8.55. Следует осуществлять ротацию внутренних аудиторов по различным аспектам технических применений в рамках организации. Это может способствовать повышению удовлетворенности работой, позволяя сотрудникам играть важную роль в поддержании системы менеджмента организации.

8.56. Программа внутреннего аудита должна охватывать все элементы системы менеджмента.

8.57. Общепринятой практикой является то, что график аудита охватывает все элементы системы менеджмента во всех частях организации на ежегодной основе. Масштабы аудита и части организации, подлежащие аудиту, следует планировать с учетом изменений в персонале или методах, рабочей нагрузки, жалоб заказчиков, выводов предыдущих аудитов и текущих корректирующих или профилактических мер.

8.58. Заказчиков, работа которых могла быть затронута проблемами, выявленными в ходе аудита, следует уведомлять в письменной форме. Для некоторых выводов следует использовать официальную систему корректирующих мер; для других могут существовать более простые средства решения проблем.

8.59. Если необходимо быстро проверить эффективность корректирующих мер, следует рассмотреть возможность проведения последующего аудита. Принятые корректирующие меры следует анализировать с целью оценки их эффективности.

Рассмотрение системы менеджмента

8.60. В дополнение к исходным материалам при рассмотрении, описанным в документе GSR Part 2 [5], организации, предоставляющей услуги в области защиты и безопасности, следует учитывать результаты межлабораторных сравнений или аттестационных испытаний.

8.61. Решения, принятые в ходе рассмотрения со стороны руководства, и любые вытекающие из них действия следует регистрировать. Доклад о рассмотрении со стороны руководства должен включать подробные сведения относительно:

a) лиц, участвовавших в рассмотрении;
b) рассмотренных факторов;
c) принятых решений;
d) планируемых мерах, лицах, ответственных за их принятие, и сроках, которые были определены;
e) положения о рассмотрении и утверждении доклада.

8.62. Результаты следует включать в систему лабораторного планирования и они должны содержать цели, задачи и планы действий на предстоящий год. Руководству следует обеспечивать, чтобы запланированные действия осуществлялись в согласованные сроки и чтобы их завершение документировалось. Комплексный аудит радиационной безопасности покажет состояние управленческих действий в отношении радиационной защиты и безопасности.

Несоответствия и корректирующие и профилактические меры

8.63. В случае услуг в области радиационной защиты и безопасности к числу несоответствий могут относиться следующие:

a) неправильно введенные данные;
b) результаты, полученные путем применения неправильных алгоритмов;
c) неправильные данные калибровки или коэффициенты калибровки;
d) результаты измерений, полученные с помощью приборов, используемых за пределами диапазона их применения;
e) калибровочные данные, полученные с использованием неправильных условий облучения;
f) неправильные выходные данные, используемые для анализа;

g) неправильно выполненные отбор проб или обработка проб.

8.64. Следует проводить анализ влияния выявленных несоответствий на безопасность с последующим уведомлением руководства на соответствующем уровне.

8.65. Следует разработать политику и процедуру урегулирования претензий, поступающих от заказчиков или других сторон. Процедуру осуществления корректирующих мер следует начинать после поступления претензий или получения отзыва от заказчика, или при обнаружении несоответствия персоналом или во время аудита. Корректирующие меры должны быть соизмеримы с масштабами проблемы и связанными с ней рисками. Следует вести учет всех претензий и связанных с ними расследований и корректирующих мер.

8.66. Профилактическая мера может предприниматься вслед за корректирующей мерой или независимо от нее, или во время разработки новых процедур испытаний или менеджмента, или в связи с решением, принятым в ходе рассмотрения со стороны руководства. Профилактические меры и корректирующие меры применяются аналогичным образом: первые – в отношении будущих событий, а вторые – в отношении прошлых событий. В то время как профилактические меры направлены на устранение риска возникновения несоответствий, корректирующие меры применяются в отношении имеющихся несоответствий.

8.67. Применение корректирующих мер начинается с расследования для определения причины (причин) проблемы. В зависимости от характера проблемы это расследование может быть неофициальным или официальным и широким.

8.68. Некоторые вопросы, которые следует учитывать при определении коренных причин проблемы, таковы:

a) Был ли данный вопрос подтвержден как проблема?
b) Изменились ли требования заказчика?
c) Изменились ли характеристики пробы?
d) Изменилась ли рабочая среда?
e) Отвечают ли требованиям методы и процедуры выполнения задания?
f) Существует ли необходимость в дополнительной подготовке персонала или развитии навыков?

g) Функционирует ли надлежащим образом соответствующее оборудование?
h) Проверена ли калибровка оборудования?
i) Были ли изменены спецификации расходных материалов, используемых в поддержку данной операции?

8.69. Профилактические меры представляют собой проактивный процесс выявления возможностей улучшения, а не реакцию на выявление проблем или претензий. Помимо рассмотрения рабочих процедур, профилактические меры могут включать анализ данных, включая анализ тенденций и рисков, а также анализ результатов аттестационных испытаний. Планирование, разработка, осуществление и контроль профилактических мер, вероятно, будут включать в себя мероприятия, аналогичные мероприятиям в случае корректирующих мер, за исключением того, что эти мероприятия носят проактивный характер.

Совершенствование услуг

8.70. Организации следует всегда стремиться улучшать предоставляемые заказчику услуги и внутренние процессы, необходимые для получения продукта. Организации следует проводить рассмотрение эффективности своей деятельности и произошедших событий, а также выявлять и внедрять усовершенствования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОСТАВЩИКОВ УСЛУГ ПО КАЛИБРОВКЕ И ИСПЫТАНИЯМ

Организация

8.71. Важно, чтобы организации, предоставляющие услуги по калибровке или проведению испытаний[24], обращались за аккредитацией к третьим сторонам в соответствии с международно признанными стандартами, такими как [90].

8.72. Для обеспечения того, чтобы испытания и калибровки проводились в соответствии с установленными стандартами качества, лабораториям следует обеспечивать надлежащий надзор за проводящим калибровку и

[24] В некоторых государствах вместо термина «испытание» используется термин «анализ».

испытания персоналом, осуществляемый лицами, знакомыми с методами и процедурами, с целью каждого испытания или калибровки, а также с оценкой результатов испытаний или калибровок.

8.73. Лабораториям следует назначать заместителей ключевых сотрудников, включая технического директора и менеджера по качеству, с целью обеспечения преемственности квалифицированного менеджмента даже в тех случаях, когда основные лица могут отсутствовать.

Рассмотрение заявок, тендерных заявок и контрактов

8.74. При рассмотрении заявок, тендерных заявок и контрактов персоналу лаборатории следует убеждаться в том, что выбран соответствующий метод испытаний или метод калибровки и что он способен удовлетворять требования заказчиков. Практику рассмотрения контрактов следует распространять на любые работы, которые должны выполняться лабораторией по субподряду.

Субподряд на проведение испытаний и калибровок

8.75. Лабораториям, предлагающим субподрядные испытания и калибровки, следует в письменной форме информировать соответствующих заказчиков о мероприятиях и в надлежащих случаях получать согласие заказчика, предпочтительно в письменной форме.

8.76. Для калибровочных и испытательных лабораторий субподряд означает передачу выполнения работ, входящих в сферу их аккредитации, третьей стороне вне непосредственного контроля первичной подрядной лаборатории. Он не включает, например, заключение контракта с эталонной лабораторией на предоставление проб для взаимного сравнения, заключение контракта с агентством по трудоустройству на предоставление дополнительных вспомогательных работников или аналогичные виды деятельности. Уровень компетентности субподрядчика должен быть достаточным для оказания технических услуг. Это может быть продемонстрировано либо самостоятельно субподрядчиком, имеющим эквивалентную аккредитацию, либо генеральным подрядчиком, проводящим аудит системы обеспечения качества работы субподрядчика.

8.77. Лаборатории следует вести реестр всех субподрядчиков, которые она использует для проведения испытаний или калибровок. Следует регистрировать доказательства того, как каждый субподрядчик обеспечивает соблюдение международных стандартов (технических и управленческих), применимых к рассматриваемым работам.

Обслуживание заказчика

8.78. Помимо поддержания хорошей связи с заказчиками, может потребоваться, чтобы лаборатории позволяли заказчикам контролировать их работу. Это может быть достигнуто путем предоставления заказчику разумного доступа в лабораторию для целей освидетельствования испытаний или калибровок, обеспечения заказчику возможности предоставлять единицы оборудования для целей проверки, использования обследований отзывов заказчиков или с помощью других средств.

8.79. Все виды деятельности, связанные с контролем со стороны заказчиков, следует осуществлять таким образом, чтобы сохранялась конфиденциальность отношений лаборатории с другими заказчиками. Отзывы по результатам мониторинга со стороны заказчиков следует документировать и использовать для совершенствования системы менеджмента.

Контроль регистрационных записей

8.80. Что касается технических регистрационных записей, то лаборатории следует сохранять, насколько это практически осуществимо, регистрационные записи первоначальных наблюдений, полученные данные и достаточную информацию для установления контрольного следа, регистрационные записи калибровки и копии каждого протокола испытаний или сертификата калибровки, выданного за определенный период времени. Регистрационные записи по каждому испытанию или калибровке должны содержать достаточную информацию, позволяющую, при необходимости, выявлять факторы, влияющие на неопределенность, и повторить испытание или калибровку в условиях, максимально приближенных к первоначальным условиям. Эти записи должны включать идентификационные данные персонала, ответственного за отбор проб, проведение каждого испытания или калибровки, а также за проверку результатов.

8.81. Технические регистрационные записи – это совокупность данных и информации, которые получены в результате проведения испытаний или калибровок и которые указывают, были ли достигнуты заданные значения параметров качества или технологических параметров. Они могут включать формы, контракты, рабочие листы, рабочие тетради, контрольные списки, рабочие заметки, контрольные графики, отчеты о внешних и внутренних испытаниях и сертификаты калибровки, замечания заказчиков, документы и информацию из отзывов клиентов. Замечания, данные и расчеты следует регистрировать в момент их подготовки, и должна быть обеспечена возможность их увязки с конкретным соответствующим заданием.

8.82. Любую ошибку, допущенную в регистрационной записи, следует зачеркивать (не стирать, делать неразборчивой или удалять), а рядом с ней следует вводить правильное значение. Все такие изменения в регистрационных записях следует подписывать или парафировать лицу, вносящему исправление. В случае регистрационных записей, хранящихся в электронном виде, следует принимать эквивалентные меры во избежание утраты или изменения исходных данных.

Внутренний аудит

8.83. Когда результаты аудита ставят под сомнение эффективность операций или правильность или достоверность результатов лабораторных испытаний или калибровки, лаборатории следует своевременно принимать корректирующие меры и письменно уведомлять заказчиков, если расследования показывают, что это могло повлиять на результаты лабораторных исследований.

Инфраструктура оснащения лаборатории

8.84. Руководству следует обеспечивать надлежащее оснащение лаборатории с целью осуществления всех процессов в одинаковых и известных условиях. Руководству следует обеспечивать:

a) выполнение технических стандартов и требований (оснащение, компьютеры и программы);
b) наличие надлежащей технической документации (справочников, таблиц и руководств);

c) ситуацию, в которой необходимые условия окружающей среды (которые могут повлиять на результаты) хорошо известны, правильно поддерживаются, документируются, контролируются и регистрируются (следует указывать пороговые значения и распределение ответственности за остановку выполнения задания);
d) ограничение и контроль доступа к техническим средствам;
e) определение и документальное оформление процедур рациональной организации работ;
f) чтобы работы, проводимые в одном помещении, не нарушали производственный процесс в соседнем помещении.

Методы испытаний и калибровки и валидация методов

8.85. Каждый метод измерения должен быть хорошо документирован в процедуре, которая поэтапно описывает выполнение задания, если это считается необходимым. Руководству следует обеспечивать, чтобы сотрудники использовали современный метод и чтобы они выполняли свою повседневную работу, руководствуясь этими документированными методами. Выбранный метод должен быть хорошо известен (с точки зрения его точности, правильности, повторяемости, воспроизводимости и устойчивости), а диапазон неопределенностей в измерениях должен быть известен и должен быть указан в отчете об измерениях. Каждый метод измерения следует валидировать в соответствии с процедурой валидации лаборатории.

8.86. Необходимо надлежащим образом учитывать следующее:

a) методы следует планировать методически и документировать в форме, соответствующей стилю работы лаборатории;
b) документация должна описывать метод измерения на поэтапной основе, в зависимости от обстоятельств, и включать руководящие материалы по ведению необходимых регистрационных записей;
c) в качестве первого метода валидации вновь разработанный метод измерения следует протестировать с использованием различных параметров, а результаты следует документировать и подвергнуть оценке;
d) в этот метод можно включить дополнительный этап валидации, предусматривающий принятие решения «годен/не годен»;
e) следует определить меры, которые необходимо предпринимать при возникновении отклонения (ошибки) (т.е. кто должен делать что и когда);

f) следует организовать поток данных о результатах измерений (кому нужна какая информация, когда и в какой форме и как можно обеспечить резервное копирование данных).

Испытательное и калибровочное оборудование

8.87. Лаборатория должна располагать надлежащим оборудованием для оказания заказчику необходимых услуг, включая отбор проб, подготовку проб, измерение или калибровку, расчеты и отчетность. Оборудование, необходимое для получения результатов измерений, должно быть функциональным и пригодным для использования в повседневных измерениях.

8.88. Необходимо проводить следующие работы:

a) следует проводить периодические и документированные калибровки, с тем чтобы гарантировать правильные результаты измерений;
b) в периоды между калибровками следует проводить с целью проверки надлежащего функционирования оборудования периодические и документированные функциональные испытания;
c) все работы по техническому обслуживанию, предусмотренные производителем оборудования, следует выполнять и документировать в файле данных оборудования;
d) с целью обеспечения того, чтобы сотрудники были знакомы с оборудованием, следует проводить обучение и периодическую переподготовку каждого оператора оборудования.

8.89. Следует четко идентифицировать все программное обеспечение для оборудования и самостоятельно разработанное программное обеспечение. Это может быть достигнуто с помощью документации, достаточной для валидации программного обеспечения и правильной настройки оборудования.

8.90. Если часть оборудования используется вне лаборатории, следует проводить проверки вводимого и выводимого оборудования.

8.91. Все расчеты, в том числе выполненные с использованием коммерческого программного обеспечения (например, для электронных таблиц), следует документировать и подтверждать их правильность.

Прослеживаемость измерений

8.92. Для обеспечения прослеживаемости результатов измерений каждое измерительное устройство, которое влияет на результаты, следует подвергать калибровке до ввода в эксплуатацию и через определенные промежутки времени после этого. Эталоны, используемые для этих калибровок, следует количественно определять с помощью Международной системы единиц (СИ). В некоторых случаях, например в связи с измерениями, касающимися ^{222}Rn, рекомендуется также принимать участие в соответствующих международных мероприятиях по взаимному сравнению с целью демонстрации достоверности измерений.

8.93. Службам калибровки следует обеспечивать прослеживаемость используемых эталонов и измерительных приборов посредством реализации непрерывной цепочки калибровок или сравнений, увязывающих их с соответствующими первичными эталонами, при последовательном использовании Международной системы единиц (СИ) в рамках всей этой цепочки. Для служб измерений эта прослеживаемость может быть обеспечена с помощью службы калибровки.

8.94. Для поддержания службы калибровки или службы измерений в рабочем состоянии может оказаться полезным следующее:

a) объединение данных о всех используемых калибровочных эталонах в файле базы данных, содержащем:
   i) калибровочные данные;
   ii) серийные номера устройств, подвергшихся калибровке;
   iii) даты последней и следующей калибровки;
   iv) место проведения и фамилия лица, проводившего испытания;
b) хранение в лаборатории сведений о всех процедурах калибровки и их результатах, а также свидетельств о калибровке;
c) оказание поддержки периодической калибровке посредством программы графика калибровок;
d) обеспечение наличия калиброванных запасных частей для важных устройств, с тем чтобы сократить время простоя в случае возникновения неисправности.

Отбор проб

8.95. Если испытательная лаборатория также производит отбор проб, ей следует делать это в соответствии с принятыми стандартами или документированными процедурами. Если субподрядчик или заказчик производит отбор проб, следует обеспечивать, чтобы применялись те же ограничения и условия, что и для лаборатории.

8.96. При осуществлении процедуры отбора проб необходимо надлежащим образом учитывать следующие моменты:

a) следует учитывать требования соответствующих стандартов и требования заказчиков (например, в отношении места отбора проб, времени отбора проб, фамилии лица, ответственного за отбор проб, и технических условий);
b) следует избегать любого возможного негативного влияния на пробы во время их отбора, транспортировки, обработки, хранения и анализа;
c) процедуры следует качественно документировать, и в них следует в соответствующих случаях использовать статистические методы в качестве основы для обеспечения наличия надлежащим образом идентифицированных проб и их данных для использования в процессе измерения;
d) если в процессе отбора проб выявлены проблемы или ошибки или в случае, если отбор проб был выполнен неправильно, заказчику следует предоставлять соответствующую информацию.

Обращение с устройствами, подлежащими испытаниям и калибровке

8.97. С устройствами, подлежащими испытаниям и калибровке, следует обращаться осторожно. Для сохранения возможности идентификации устройств никогда не следует разделять устройство и его описание. В лаборатории следует предусмотреть процедуру, обеспечивающую:

a) идентификацию и маркировку поступающих устройств, подлежащих испытаниям и калибровке;
b) отчетность о любых обнаруженных отклонениях для соответствующих устройств;
c) наличие инструкций по обращению, хранению и транспортировке, а также относительно необходимых условий окружающей среды, которые должны поддерживаться при эксплуатации устройств, подлежащих испытаниям и калибровке;

d) наличие инструкций по возврату изделий заказчику или по утвержденным путям утилизации этих устройств.

Обеспечение качества результатов испытаний и калибровки

8.98. В лаборатории следует предусмотреть процесс и процедуру для обеспечения непрерывного контроля качества услуг, предоставляемых заказчику.

8.99. При разработке такого процесса и процедуры следует надлежащим образом рассмотреть:

a) использование только сертифицированных (эталонных) материалов для калибровки и внутреннего контроля качества;
b) проведение всех измерений и калибровок в соответствии с имеющейся документацией;
c) участие в мероприятиях по межлабораторному сравнению или программах аттестационных испытаний;
d) воспроизведение испытаний или калибровок с использованием одних и тех же или разных методов;
e) повторное проведение испытаний или калибровки сохраняемых устройств;
f) корреляцию результатов для различных характеристик устройства;
g) использование статистических методов, таких как поверочные карты, для определения качества результатов калибровки в течение более длительного периода времени с целью выявления возможных тенденций ухудшения характеристик приборов.

Представление отчетности о результатах

8.100. Результаты следует сообщать заказчику точно и всеобъемлющим образом, с тем чтобы удовлетворять потребности заказчиков и выполнять любые требования регулирующего органа.

8.101. Лаборатории следует разработать план своих отчетов, в котором признаются:

a) требования соответствующих регулирующих органов;
b) требования соответствующих стандартов;
c) внутренние правила отчетности организации.

Следует стремиться четко обозначать данные, поступающие от субподрядчика. В лаборатории следует предусмотреть процедуру изменения отчетов в случае обнаружения ошибок в первоначальной версии. Все выпущенные отчеты следует рассматривать в качестве регистрационных записей и обращаться с ними соответствующим образом.

9. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРЫ КОНТРОЛЯ, АДМИНИСТРАТИВНЫЕ МЕРЫ КОНТРОЛЯ И СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

9.1. В тех случаях, когда физические конструктивные особенности установки не обеспечивают достаточную локализацию или защиту радиоактивного материала, для защиты людей следует использовать дополнительные инженерно-технические меры контроля с использованием систем и элементов установки. Например, надлежащим образом спроектированные и правильно контролируемые системы вентиляции являются эффективным средством сведения к минимуму облучения на рабочих местах, подверженных аэрозольному загрязнению, например, на подземных рудниках и в зданиях, в которых производится сухая переработка радиоактивных минералов. Примерами инженерно-технических мер контроля являются также установленные вытяжные шкафы, перчаточные боксы и манипуляторы.

9.2. Для определения соответствия требованиям и эффективности инженерно-технических мер контроля следует проводить надлежащий мониторинг. Например, при использовании таких инженерно-технических мер контроля, как вентиляция, пылесосы или устройства локализации, с целью снижения или поддержания концентраций активности радионуклидов в рабочей среде следует контролировать качество воздуха. Как правило, в случае уже имеющихся физических конструктивных особенностей, таких как вытяжные шкафы, предпочтительным является отбор проб воздуха в фиксированном месте, тогда как при использовании временных средств контроля, таких как переносная вентиляция или пылесосы, предпочтительным является отбор проб в ручном режиме. Мониторинг воздуха в режиме реального времени с целью определения

соответствия имеющихся средств контроля требованиям также может быть целесообразным, и его следует сделать требованием для некоторых ситуаций.

9.3. Временные инженерно-технические меры контроля, такие как временная защита, устройства локализации и переносная или вспомогательная вентиляция, могут потребоваться во время нестандартных операций, таких как техническое обслуживание, модификации, дезактивация и вывод из эксплуатации. Планирование нестандартных операций должно включать оценку потенциальной возможности распространения радиоактивного загрязнения и оценку эффективности инженерно-технических мер контроля с точки зрения уменьшения такой возможности.

9.4. Временные устройства локализации могут быть особенно полезны для контроля распространения радиоактивного загрязнения в тех случаях, когда в системе локализации происходит утечка или когда работы по техническому обслуживанию требуют открытия системы локализации. Эти устройства варьируются по сложности от простых пластиковых водосборников, подвешенных ниже точек утечки, до сложных переносных конструкций, используемых для заключения в них всей рабочей зоны. Многие коммерчески доступные конструкции предусматривают наличие перчаточных портов и портов для оборудования, вентиляции и порталов для выхода, позволяющих уменьшить радиоактивное загрязнение.

9.5. Выпускные устройства переносных систем обработки воздуха, используемых в загрязненных зонах, включая пылесосы, следует оборудовать либо высокоэффективными воздушными фильтрами (стандарт HEPA), либо, в надлежащих случаях, соответствующими адсорберами и подключать к установленным системам, оборудованным соответствующим образом. Эти положения могут не понадобиться в зонах, где присутствуют только тритий или радиоактивные благородные газы, или когда материал, подлежащий вакуумированию, достаточно влажный и ресуспендирования после его поступления в коллекторную камеру системы не происходит. Неправильное использование пылесосов и переносного оборудования для обработки воздуха может приводить к образованию аэрозольных радиоактивных веществ в воздухе или к появлению удаляемого поверхностного радиоактивного загрязнения. Длительное использование оборудования для обработки воздуха может приводить к значительному накоплению радиоактивного материала в воздуховодах и фильтрах.

Радиологическую оценку работы такого оборудования следует проводить периодически путем мониторинга вытяжного воздуха и доступных поверхностей оборудования.

9.6. Когда использование физических конструктивных особенностей, включая специальные инженерно-технические меры контроля для ограничения индивидуального облучения, является непрактичным или недостаточным, следует рассмотреть административные меры контроля для обеспечения оптимизации защиты и безопасности. Примеры административных мер контроля включают использование разрешений на производство работ и ограничений работ или меры контроля доступа в зоны, которые могут быть загрязнены.

9.7. Прежде чем полагаться на средства индивидуальной защиты для обеспечения защиты работников, следует в максимально возможной степени использовать такие меры контроля, как контроль качества при проектировании, монтаже, техническом обслуживании и эксплуатации, а также административные меры и инструктаж персонала. В тех случаях, когда инженерно-технические и административные меры контроля недостаточны для обеспечения надлежащего уровня защиты работников, с целью ограничения облучения работников следует предоставлять средства индивидуальной защиты.

ЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ

9.8. Эффективной формой инженерно-технического контроля может быть предоставление защитных экранов. На этапе проектирования следует предусматривать достаточную толщину экранирующего материала для обеспечения приемлемого уровня защиты работников при нормальной эксплуатации, а также в нештатных ситуациях. Конструкция защитных экранов должна обеспечивать, чтобы индивидуальная доза внешнего облучения в нормальных условиях работы не превышала граничной дозы. Следует оценивать достаточность экранирования в аномальных условиях, включая аварийные ситуации, приводящие к максимальным предсказуемым (наихудшим) радиологическим последствиям, и, при необходимости, рассмотреть вопрос о применении дополнительных защитных экранов или других инженерно-технических мер контроля (например, блокировок). Вероятность аварии или другого инцидента, приводящего к неприемлемому уровню индивидуальной дозы, следует поддерживать на самом низком уровне, и следует предотвращать любую запланированную ситуацию

облучения, которая может привести к превышению годового предела дозы из-за недостаточного экранирования. Эффективность защитных экранов следует активно контролировать с помощью установленных приборов для мониторинга рабочих мест и/или регулярных обследований зон, проводимых соответствующим квалифицированным персоналом. Для снижения интенсивности поля излучения по мере необходимости следует предусматривать дополнительные локальные защитные экраны. Для определения доз, накопленных с течением времени в различных зонах, следует также использовать пассивные зонные мониторы. Результаты следует анализировать на предмет выявления тенденций и при необходимости совершенствовать систему защитных экранов.

9.9. Использование защитных экранов следует рассматривать при работе с рентгеновским излучением, гамма-излучением, нейтронами и другими высокоэнергетическими частицами (которые могут включать бета-частицы высокой энергии). В зависимости от типа установки следует выбирать соответствующие экранирующие материалы. Например, на ускорительных установках экранирование ускорителей и накопительного кольца следует обеспечивать с помощью комбинации различных материалов, в зависимости от обстоятельств (например, бетона, свинца, полиэтилена и грунта), и его следует проектировать для обеспечения нормальной эксплуатации с использованием консервативных предположений относительно потери пучка с целью ограничения максимальной дозы, получаемой работником. Дополнительные руководящие материалы, касающиеся проектирования и установки конструкционной защиты облучательных установок, генерирующих гамма-, электронное и рентгеновское излучение, приведены в Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-8, «Радиационная безопасность облучательных установок, генерирующих гамма-, электронное и рентгеновское излучение» [158].

ВЕНТИЛЯЦИЯ

9.10. Основная система вентиляции установки предназначена для подачи свежего воздуха на рабочие места с целью удаления переносимых по воздуху загрязняющих веществ, образующихся в результате проведения работ. Проектированию вентиляционной сети следует уделять пристальное внимание, включая расчет и проверку расхода и скорости воздушного потока, с тем чтобы убедиться, что они достаточны для контроля аэрозольного загрязнения. На многих установках контроль аэрозольного загрязнения достигается путем:

a) поддержания достаточного отрицательного давления по сравнению с атмосферным давлением;
b) обеспечения надлежащей или предписанной кратности воздухообмена на рабочем месте;
c) обеспечения наличия соответствующих систем очистки вытяжного воздуха и отходящих газов (включая скрубберы, адсорберы и/или HEPA-фильтрацию), с тем чтобы выбросы на установке находились в разрешенных пределах. Сброс отработавшего воздуха следует осуществлять через дымовую трубу соответствующей высоты для обеспечения необходимого разбавления выбросов с целью защиты лиц из населения.

9.11. Вентиляция имеет особо важное значение в подземных рудниках, где работники могут подвергаться воздействию повышенных уровней облучения, обусловленного радоном и аэрозольной пылью, содержащей радионуклиды природного происхождения. Проектирование систем вентиляции рудников является сложной задачей, а измерение и анализ потоков воздуха требуют специальных навыков. Поэтому, как правило, в таких рудниках имеется обладающий надлежащей квалификацией инженер по вентиляции, который подотчетен непосредственно старшему руководству рудника.

9.12. Инженер по вентиляции рудника должен иметь обязанности, указанные в пункте 3.177.

9.13. На некоторых рабочих местах, особенно на подземных рудниках и в зданиях, где производится сухая переработка радиоактивных минералов, объем приточного воздуха, подаваемого системой первичной вентиляции, может оказаться недостаточным для проветривания отдельных участков рабочего места. Примерами таких рабочих мест являются участки разработки подземных горных туннелей и места упаковки продуктов на установках по переработке радиоактивных полезных ископаемых. В таких случаях соответствующие участки рабочего места обычно оборудуются гибкими воздуховодами для обеспечения вспомогательной вентиляции. Расположение вспомогательных вентиляционных каналов должно быть таким, чтобы избежать рециркуляции вихрей загрязненного воздуха.

9.14. Следует обеспечивать надлежащее функционирование систем первичной и вспомогательной вентиляции на протяжении всего этапа эксплуатации установки и при необходимости следует предусматривать индикацию в форме аудиовизуальных сигналов тревоги на дисплейной

панели диспетчерской или дисплейной панели сотрудника по радиационной защите, с тем чтобы можно было начать оперативные действия по обеспечению защиты работников. Работодателю следует разработать программу инспекций и технического обслуживания вентиляционного оборудования, включая основные вентиляторы, вспомогательные вентиляторы и любые системы обогрева или охлаждения. Эту программу следует документировать и зафиксировать в регистрационных записях.

9.15. Проектирование системы вентиляции подземных рудников должно быть неотъемлемой частью процесса планирования и развития рудников с целью создания там, где это практически возможно, «однопроходной» или параллельной системы вентиляции для обеспечения хорошего качества воздуха и сведения к минимуму накопления радона и аэрозольной пыли.

9.16. Для эффективной работы систем первичной и вспомогательной вентиляции установки:

a) воздухозаборники и места выброса воздуха следует разносить, насколько это практически осуществимо;
b) вентиляцию следует рассматривать в качестве важной системы, связанной с безопасностью. Для такого оборудования, как вентиляторы, нагнетатели и HEPA-фильтры, следует рассмотреть вопрос о создании резервных систем, включая альтернативные источники питания (такие как дизель-генераторы), там, где это необходимо. Таким образом, технологические системы могут быть безопасно отключены во время проведения работ по техническому обслуживанию, в то время как все системы мониторинга будут продолжать работать. Следует также рассмотреть вопрос о работающих в режиме реального времени индикаторах работы системы для оповещения операторов об отказах или неисправностях выпускных систем;
c) для обеспечения защиты и безопасности работников на каждое рабочее место следует подавать воздух, количество и качество которого достаточны для сведения к минимуму облучения от взвешенных в воздухе радиоактивных загрязнителей, таких как пыль, радон и другие радиоактивные газы;
d) скорости воздуха должны быть достаточно высокими и обеспечивать разбавление аэрозольных загрязнителей, но не настолько высокими, чтобы вызвать повторное взвешивание частиц осевшей пыли;

e) в случае подземных рудников первичные системы вентиляции и борьбы с пылью предпочтительно следует эксплуатировать в непрерывном режиме; если непрерывная работа этих систем практически невозможна, регулирующий орган может разрешить прерывистую работу в соответствии с подпунктом f) ниже;

f) в случае модификации, выхода из строя или отключения системы вентиляции работникам следует разрешать вернуться на свои рабочие места только после перезапуска системы вентиляции и проведения соответствующего мониторинга для обеспечения того, чтобы концентрации переносимых по воздуху загрязняющих веществ были снижены до приемлемых уровней.

9.17. Работодателю следует принимать меры по недопущению несанкционированного проникновения в любую подземную зону рудника, которая не вентилируется. В случае, если система вентиляции не работает, могут предоставляться основные услуги по техническому обслуживанию, необходимые для обеспечения работы оборудования или машин, и следует предпринимать все практически осуществимые меры для ограничения доз, получаемых работниками, которые участвуют в операциях технического обслуживания.

9.18. В некоторых ситуациях, например, на подземном руднике или в здании, где производится сухая переработка радиоактивных минералов, в местных инструкциях по эксплуатации следует указывать действия, которые необходимо предпринимать в случае отказа системы вентиляции.

9.19. Следует избегать размещения стационарных рабочих станций на путях обратных потоков воздуха или в зонах с высоким уровнем внешнего излучения. Там, где это целесообразно, следует использовать операторские кабины с подачей фильтрованного воздуха для обеспечения необходимой защиты.

КОНТРОЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА

9.20. В большинстве работ, связанных с высокой потенциальной возможностью образования пыли, например в горнодобывающей промышленности и при переработке минерального сырья, принятие мер по борьбе с пылью, как правило, является юридическим требованием ввиду необходимости защиты работников от нерадиологических опасностей, таких как вдыхание частиц кремнезема. Эти меры, как правило,

предусматривают ограничения концентраций пыли в воздухе, достаточные для обеспечения надлежащей защиты работников от вдыхания любых радионуклидов природного происхождения, которые могут присутствовать в пыли.

9.21. Для обеспечения наличия надлежащих методов контроля запыленности на подземных рудниках и в зданиях, где производится сухая переработка радиоактивных минералов, следует официально вводить в действие программы отбора проб воздуха и контроля аэрозольной пыли. Следует предпринимать изложенные ниже меры:

a) образование пыли при производстве работ следует уменьшать, насколько это практически осуществимо, путем использования соответствующих методов добычи и переработки минерального сырья, таких как применение надлежащих схем и сроков проведения взрывных работ, использование воды и других средств подавления пыли, а также использование соответствующего оборудования;
b) при образовании пыли ее следует подавлять в месте возникновения. Там, где это необходимо и практически осуществимо, источник пыли следует изолировать под отрицательным давлением воздуха. Перед сбросом воздуха окружающую среду может потребоваться его фильтрация;
c) пыль, которая не была подавлена у источника, может быть разбавлена до приемлемых уровней посредством обеспечения частой замены воздуха в рабочей зоне. Также в этом случае перед сбросом воздуха окружающую среду может потребоваться его фильтрация;
d) следует избегать повторного взвешивания пыли вследствие высоких скоростей воздуха;
e) там, где применение методов пылеулавливания не обеспечивает приемлемого качества воздуха в рабочих зонах, для работников следует предусматривать закрытые рабочие кабины с подачей фильтрованного воздуха.

УТЕЧКИ РАДИОАКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

9.22. Работодателю следует установить стандартные рабочие процедуры, которые должны соблюдаться в случае любой значительной радиационной опасности или потенциальной радиационной опасности, возникающей

в результате утечек радиоактивного материала на установке или во время его транспортировки между установками. Такие стандартные рабочие процедуры должны включать процедуры, касающиеся следующего:

a) очистки при утечках;
b) ограничения доступа в зону;
c) осуществления планов чрезвычайных мер;
d) мониторинга лиц, подвергшихся облучению;
e) получения консультаций от лица, ответственного за радиационную защиту, или квалифицированного эксперта;
f) обращения с образующимися отходами;
g) уведомления регулирующего органа или, по мере необходимости, других соответствующих компетентных органов.

9.23. Любые утечки радиоактивного материала следует устранять как можно скорее, с тем чтобы свести к минимуму распространение радиоактивного загрязнения. Дезактивацию зоны следует проводить путем удаления всего снимаемого загрязнения и загрязненных материалов, насколько это практически осуществимо.

ПОВЕРХНОСТНОЕ РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Программа контроля радиоактивного загрязнения

9.24. Работа с открытыми радиоактивными веществами создает возможность радиоактивного загрязнения поверхностей. Для выявления поверхностного радиоактивного загрязнения и предотвращения непреднамеренного переноса такого загрязнения с уровнями, превышающими установленные значения в нормальных условиях эксплуатации, следует осуществлять программу контроля радиоактивного загрязнения. Важным элементом всеобъемлющей программы радиационной защиты, направленной на обеспечение оптимальной защиты и безопасности работников, должна быть программа контроля радиоактивного загрязнения, в которой используются физические конструктивные особенности и которая включает, в соответствующих случаях, дополнительные инженерно-технические и административные меры контроля.

9.25. При осуществлении программы контроля радиоактивного загрязнения наиболее важным элементом следует считать физические конструктивные особенности контроля поверхностного радиоактивного загрязнения в его источнике. Физические конструктивные особенности, используемые в программе контроля радиоактивного загрязнения, могут включать:

a) особенности конструкции, имеющие целью локализацию радиоактивного материала, с тем чтобы предотвратить создаваемое им поверхностное радиоактивное загрязнение;
b) системы вентиляции, имеющие целью предотвращение накопления поверхностного радиоактивного загрязнения в результате осаждения взвешенных в воздухе частиц.

9.26. Конструктивные особенности, такие как упомянутые в пункте 9.25, могут быть основными методами контроля внутреннего облучения работников при вдыхании радионуклидов, содержащихся в аэрозольных частицах, особенно в случае производства таких нестандартных работ, как техническое обслуживание оборудования. Это происходит независимо от того, выделяются ли частицы в воздух непосредственно из источника пыли или они подвергаются повторному взвешиванию в воздух с загрязненных поверхностей. Использование таких физических конструктивных особенностей иллюстрируется следующими двумя примерами:

a) стационарная система вентиляции с HEPA-фильтрацией или соответствующими адсорберами может быть включена в качестве физической конструктивной особенности для контроля концентраций радионуклидов в воздухе во время штатной эксплуатации. Временная система вентиляции, также использующая HEPA-фильтрацию или адсорберы, может использоваться в качестве меры инженерно-технического контроля во время проведения определенных работ по техническому обслуживанию;
b) следует предусмотреть надлежащим образом спроектированную дренажную систему в качестве физического конструктивного элемента для перемещения загрязненных жидких отходов в контролируемый пункт сбора (накопительные резервуары). Там, где это необходимо, в соответствии с системой допусков к специальным работам, в качестве инженерно-технических мер контроля с целью сбора стоков на период, пока трубопровод открыт для технического обслуживания, могут быть установлены временные дренажи. В случае жидких отходов, содержащих делящийся материал, могут потребоваться дополнительные специальные меры.

9.27. Когда использование физических конструктивных особенностей (включая специфические инженерно-технические меры контроля) для ограничения индивидуального облучения является непрактичным или недостаточно эффективным, следует использовать административные меры контроля. Такие административные меры контроля могут включать ограничения доступа к загрязненной зоне или использование конкретных методов работы, направленных на сведение к минимуму переноса радиоактивного загрязнения.

9.28. Работы в загрязненных зонах следует проводить таким образом, чтобы сводить к минимуму распространение радиоактивного загрязнения на прилегающие поверхности, на лиц, находящихся в этой зоне, и в атмосферу на рабочем месте. Для контроля распространения радиоактивного загрязнения и ограничения индивидуального облучения следует принимать в загрязненных зонах и вокруг них такие меры, как создание физических барьеров (со сменой обуви) и блокирование соответствующих зон.

9.29. Контроль доступа в загрязненные зоны может потребоваться для обеспечения того, чтобы работники, поступающие в зону, были информированы о радиационной обстановке и потенциальных опасностях и, в случае необходимости, были обеспечены соответствующими средствами индивидуальной защиты. Следует обеспечивать наличие на видном месте визуальной индикации уровней радиоактивного загрязнения и предупредительных табличек. Выход работников из загрязненных зон следует контролировать для обеспечения того, чтобы радиоактивные вещества не были случайно вынесены из зоны персоналом или в оборудовании. Следует обеспечивать контроль степени радиоактивного загрязнения, а также размеров и числа загрязненных зон в пределах установки.

9.30. На выходах из загрязненных зон следует предусматривать меры, способствующие удержанию радиоактивного загрязнения в зоне и мониторингу отдельных лиц и зоны с целью обеспечить сохранение контроля. Лиц, покидающих загрязненные зоны, следует надлежащим образом контролировать на наличие поверхностного радиоактивного загрязнения. Как минимум, в отношении лиц, покидающих загрязненные зоны, следует проводить проверку на поверхностное радиоактивное загрязнение с использованием, в зависимости от обстоятельств, либо портативных, либо автоматизированных устройств для мониторинга. В тех случаях, когда загрязнены только поверхности лабораторных стендов или вытяжные шкафы, или когда радиоактивному загрязнению

могли подвергнуться лишь некоторые части тела, при проверке следует уделять внимание в первую очередь тем участкам, которые с наибольшей вероятностью могли подвергнуться воздействию. Если уровни фонового излучения или другие местные условия в точке выхода исключают обнаружение поверхностного радиоактивного загрязнения, точку выхода следует переместить в альтернативное место, например, в зону с более низкими уровнями фонового излучения. Если перемещение точки выхода практически невозможно, отдельных лиц следует направлять непосредственно из точки выхода в соответствующую зону для проведения необходимых проверок. После их удаления из загрязненных зон все предметы, включая инструменты, материалы, оборудование и личные вещи, следует подвергать мониторингу, проводимому компетентным персоналом. Работников следует информировать о необходимости такого мониторинга.

9.31. Загрязнение кожи некоторыми радиоизотопами, такими как тритий, не может быть надежно обнаружено ручными или автоматическими приборами мониторинга, имеющимися в настоящее время; поэтому индивидуальная проверка не является надлежащим способом обнаружения такого загрязнения кожи. В тех случаях, когда возможно индивидуальное облучение, обусловленное существованием таких опасностей радиоактивного загрязнения, следует уделять дополнительное внимание программам анализа биопроб и обычным программам мониторинга радиоактивного загрязнения и мониторинга воздуха.

9.32. В загрязненных зонах, где уровни удаляемого радиоактивного загрязнения превышают установленные значения, следует носить защитную одежду. Тип требуемой защитной одежды следует определять на основе учета уровней радиоактивного загрязнения, химической и физической формы загрязняющего вещества, видов деятельности, подлежащих выполнению, и доступности зоны. Следует также учитывать другие нерадиологические опасности, такие как тепловыделение, пламя, опасные химические вещества, физические препятствия, поражение электрическим током и ограниченная видимость.

9.33. Рассматриваемые здесь меры контроля доказали свою эффективность с точки зрения сведения к минимуму образования и распространения удаляемого радиоактивного загрязнения. Однако эти меры могут оказаться нецелесообразными в зонах, где имеется только фиксированное радиоактивное загрязнение. Когда поверхности с фиксированным радиоактивным загрязнением расположены в контролируемой зоне или зоне наблюдения, требования к классификации зоны и контролю входа должны

быть такими, чтобы обеспечить надлежащий контроль входа и выхода. Для предотвращения непреднамеренного или несанкционированного удаления фиксированного радиоактивного загрязнения методами, которые нарушают поверхность, могут потребоваться дополнительные меры контроля. Хотя для связывания радиоактивного загрязнения с поверхностью могут использоваться фиксирующие покрытия, их использование следует сводить к минимуму и перед нанесением покрытия следует удалять как можно больше радиоактивного загрязнения.

Мониторинг поверхностного радиоактивного загрязнения

9.34. Программу мониторинга радиоактивного загрязнения следует осуществлять в рамках предварительной радиологической оценки и текущих оценок безопасности, а также для проверки эффективности мер по предотвращению поверхностного радиоактивного загрязнения и его контролю.

9.35. Приборы и методы, используемые для мониторинга радиоактивного загрязнения, должны соответствовать видам, уровням и энергиям имеющегося излучения. Приборы следует регулярно обслуживать и калибровать с учетом преобладающих условий окружающей среды и регулярно подвергать проверке на работоспособность. Там, где используются открытые радиоактивные вещества, такие как жидкости и порошки, следует иметь надлежащий прибор для измерения поверхностного радиоактивного загрязнения. Следует стремиться избегать контакта прибора с потенциально загрязненными поверхностями. Приборы, состоящие из измерителя интенсивности и зонда, обеспечивают универсальность в отношении как диапазона обнаруживаемых радионуклидов (с использованием различных зондов), так и легкости, с которой могут быть сняты показания. К поверхностям, которые следует регулярно контролировать на предмет утечек или радиоактивного загрязнения, относятся тело, защитная одежда, рабочие зоны (такие как лабораторные столы и полы), оборудование и упаковки, используемые для перевозки радиоактивных материалов.

9.36. Особую осторожность необходимо проявлять при проведении измерений поверхностного радиоактивного загрязнения предметов, загрязненных радиоактивными материалами природного происхождения. Для некоторых предметов оборудование для мониторинга альфа-излучения может быть совершенно непригодным, даже несмотря на то, что альфа-излучатели, как правило, являются радионуклидами, вызывающими наибольшую озабоченность. Самопоглощение альфа-излучения в

слое загрязняющего вещества обычно слишком велико для получения надежного измерения. Альфа-зонд прибора должен находиться в пределах 5 мм от поверхности. Это может оказаться невозможным при измерении шероховатых или неровных поверхностей. Кроме того, уязвимость поверхности альфа-зонда может привести к его повреждению в попытках измерить шероховатые или неровные поверхности. В силу этих трудностей предпочтительным методом измерения предметов, загрязненных радиоактивными материалами природного происхождения, как правило, является мониторинг бета-излучения. Однако даже в случае обладающего большей проникающей способностью бета-излучения при необходимости следует учитывать самопоглощение. Большинство детекторов бета-излучения чувствительны к гамма-излучению. Если это обстоятельство не будет должным образом учтено, присутствие гамма-излучения в окружающей среде может быть неправильно истолковано как радиоактивное загрязнение. Поскольку радионуклиды в загрязняющем слое могут находиться в неравновесном состоянии, измерение бета-излучения может не дать достаточной информации о концентрациях активности альфа-излучающих радионуклидов. Поэтому может возникнуть необходимость заранее установить радионуклидный состав загрязняющего слоя путем детального анализа в лаборатории.

9.37. Даже довольно низкий уровень поверхностного радиоактивного загрязнения может привести к риску внутреннего облучения. Приборы для мониторинга поверхностного радиоактивного загрязнения имеют эффективность обнаружения в диапазоне 0–30% для различных радионуклидов. Измерения следует производить с использованием калиброванного прибора с наилучшей имеющейся заранее определенной эффективностью обнаружения радионуклидов, представляющих интерес. Измерения в отсчетах в секунду следует преобразовывать в единицы беккерелей на квадратный сантиметр. Некоторые приборы для измерения поверхностного радиоактивного загрязнения программируются: пользователь устанавливает вероятный отклик прибора на используемый радионуклид и получает прямое измерение поверхностного радиоактивного загрязнения (в беккерелях на квадратный сантиметр).

9.38. Каждый прибор для измерения поверхностного радиоактивного загрязнения проектируется и подвергается типовым испытаниям для измерения определенного диапазона загрязняющих веществ. Его отклик на радиоактивное загрязнение будет зависеть от:

a) вида и энергии излучения, испускаемого радионуклидами, присутствующими в радиоактивном загрязнении;
b) характерной для прибора эффективности детектирования каждого радионуклида, которая определяется характеристиками детектора, толщиной окна и размерами любой защитной решетки;
c) геометрии детектирования, включая размеры детектора, степень радиоактивного загрязнения, характер загрязненной поверхности и расстояние между детектором и поверхностью;
d) внутренних электрических шумов, старения или неисправности компонентов прибора.

9.39. При выборе оборудования для мониторинга поверхностного радиоактивного загрязнения следует иметь в виду, что в случае радиоактивного загрязнения, равномерно распределенного по поверхности (т.е. в отличие от одного небольшого пятна загрязнения), чувствительность прибора возрастает при увеличении площади поверхности зонда. Это проиллюстрировано в таблице 6 для четырех типов мониторов поверхностного радиоактивного загрязнения. Руководству следует в надлежащих случаях консультироваться с лицом, ответственным за радиационную защиту, или квалифицированным экспертом с целью получения рекомендаций по выбору оборудования для мониторинга.

ТАБЛИЦА 6. МОНИТОРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ИЗМЕНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ЗОНДА

Тип монитора поверхностного радиоактивного загрязнения	Площадь поверхности зонда ($см^2$)	Калибровочный коэффициент (источник ^{60}Co) ($Бк/см^2$ на отсчет/с)
Торцевое окно счетчика Гейгера-Мюллера	7	10,2
Сцинтиллятор на основе сульфида цинка + пластика	50	0,5
Пластиковый сцинтиллятор	65	0,1
Ксеноновый счетчик	260	0,03

На установках, на которых происходит поверхностное загрязнение радиоактивными материалами природного происхождения, могут потребоваться специально разработанные приборы для мониторинга поверхностного радиоактивного загрязнения. Например, в нефтегазовой промышленности риск пожара или взрыва может потребовать использования искробезопасных приборов. Кроме того, широкое присутствие поверхностного радиоактивного загрязнения внутри труб потребует использования специальных цилиндрических детекторов бета-излучения (см. пункт 9.36). Для мониторинга поверхностного загрязнения радиоактивными материалами природного происхождения приборы для мониторинга и измерительные системы в идеале следует калибровать с использованием, в зависимости от обстоятельств, эталонных источников из природного урана и природного тория.

9.40. Каждый прибор для мониторинга следует испытывать перед первым использованием, через регулярные интервалы (обычно ежегодно) и после любого ремонта, который мог повлиять на рабочие характеристики прибора. Эти испытания следует проводить квалифицированным специалистам с использованием калиброванных, равномерно загрязненных пластинок с такими же размерами активной зоны, как у детектора. Используемый радионуклид должен испускать излучение, аналогичное излучению, испускаемому потенциальным радиоактивным загрязнителем. Целями являются:

a) определение рабочего напряжения для каждого детектора, особенно взаимозаменяемых зондов; также могут быть протестированы другие электрические и механические характеристики;
b) определение или подтверждение эффективности детектирования прибора для каждого соответствующего радионуклида.

9.41. Затем путем использования эффективности детектирования пользователю может быть предоставлен калиброванный отклик для преобразования показаний прибора (в отсчетах в секунду) в концентрацию поверхностной активности (в беккерелях на квадратный сантиметр). Также могут быть исследованы линейность отклика и любые различия между диапазонами. Пользователю прибора следует иметь сертификат, отражающий последнее официальное испытание, и проводить регулярные проверки прибора. Для этих целей имеются источники, которые иногда прикрепляются к крышке детектора радиоактивного загрязнения. При каждом использовании прибора следует проверять состояние батареи.

Средства личной гигиены и первая помощь

9.42. Во избежание случайного поступления радионуклидов в организмы работников работодателю следует обеспечивать для всех работников наличие умывальников, удобно расположенных по отношению к месту работы, и следует предоставить каждому работнику достаточное время для пользования умывальником до перерывов для отдыха и приема пищи, а также в конце смены. Работодателю следует обеспечить — в местах, которые находятся за пределами загрязненных рабочих зон и которые разумно доступны для каждого работника — чистые зоны питания, в которых предусмотрены водоснабжение, подача воздуха хорошего качества, а также умывальники для рук и туалеты. Эти объекты следует проектировать, контролировать и обслуживать таким образом, чтобы это было приемлемо для регулирующего органа. Работников, использующих эти объекты, следует проинструктировать о том, как предотвращать распространение радиоактивного загрязнения.

9.43. Запрещается есть, пить, жевать жевательную резинку или табак, курить, нюхать или наносить косметику в рабочих зонах, в которых возможно пероральное поступление радиоактивных веществ.

9.44. При обработке ран, полученных в местах присутствия радиоактивного загрязнения или ран, связанных с загрязненным оборудованием, следует принимать особые меры предосторожности. В таких случаях следует обращаться за консультацией к врачу (см. также пункт 9.52).

9.45. Перед входом работников в рабочие зоны, в которых может присутствовать радиоактивное загрязнение, любые порезы и раны, в частности раны рук, следует надлежащим образом закрывать водонепроницаемыми повязками.

9.46. Работодателю следует обеспечивать, чтобы работники проходили подготовку по оказанию первой медицинской помощи с учетом специфики их работы.

ДЕЗАКТИВАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПЕРСОНАЛА

Дезактивация оборудования и участков полов и стен

9.47. Работодателю следует обеспечивать при необходимости наличие технических и дезактивирующих средств для дезактивации загрязненного оборудования и инструментов, используемых при проведении работ по техническому обслуживанию, и следует предусматривать средства для очистки загрязненных участков полов и стен. Как правило, предпочтительным дезактивирующим агентом является вода. Другие очищающие средства следует выбирать на основе: их эффективности; их опасных свойств; количества образующихся отходов; их совместимости с загрязненной поверхностью и с другими системами или предметами, которые могут быть загрязнены (включая защитную одежду и системы обращения с отходами); и простоты удаления (дополнительную информацию см. в [159, 160]). Эффективность мер по дезактивации следует периодически рассматривать и определять целевые уровни в местных эксплуатационных процедурах.

Дезактивация персонала

9.48. Радиоактивное загрязнение персонала включает загрязнение личной одежды, кожи, волос, глаз, слизистых оболочек и ран. В этом контексте личная одежда включает рабочую одежду, предоставляемую работодателем, но не включает защитную одежду, предоставляемую исключительно для целей контроля радиоактивного загрязнения.

9.49. При обнаружении радиоактивного загрязнения следует проинформировать лицо, ответственное за радиационную защиту. Лицу, ответственному за радиационную защиту, следует обеспечивать надлежащее определение потенциальной возможности получения значительных доз путем оценки степени радиоактивного загрязнения и, при необходимости, хранения проб радиоактивного загрязнения для проведения подробной оценки дозы и инициирования процедур дезактивации. Для конкретных радионуклидов следует установить уровни радиоактивного загрязнения, которые обусловят необходимость оценки доз, и методы дезактивации.

9.50. Интрузивные методы дезактивации, такие как удаление тканей, требуют медицинской помощи. В случае радиоактивного загрязнения кожи такими загрязняющими веществами, как радиоактивный йод, дезактивация путем мытья или использования моющего средства может оказаться неэффективной; в случае серьезного радиоактивного загрязнения следует немедленно обращаться за медицинской помощью.

9.51. Дезактивацию загрязненной личной одежды следует производить путем стирки или другими надлежащими методами, а затем проводить ее мониторинг и возвращать владельцу или, в случае необходимости, удалять ее как радиоактивные отходы.

Раны

9.52. Медицинское лечение травм имеет приоритет над радиологическими соображениями. При ранах, связанных с радионуклидами, следует немедленно оказывать неотложную медицинскую помощь (см. пункт 10.4(d)). Однако следует также незамедлительно приступать к дезактивации, с тем чтобы предотвратить попадание растворимых радионуклидов в кровь.

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

9.53. Средства индивидуальной защиты следует выбирать с учетом соответствующих опасностей. Оборудование должно не только обеспечивать надлежащую защиту, но и быть удобным и комфортным в использовании. Следует также учитывать возможность увеличения облучения, вызванного дополнительными ограничениями средств индивидуальной защиты.

9.54. Примеры индивидуальных средств защиты включают усиленную одежду, вентилируемые костюмы, защитные очки и средства защиты органов дыхания. Работников, которым может потребоваться использование таких средств, следует надлежащим образом обучать их использованию, эксплуатации, техническому обслуживанию и ограничениям. Следует убедиться, что индивидуальные средства защиты подходят пользователю по размеру.

Средства индивидуальной защиты органов дыхания

9.55. Работодателям не следует полагаться на использование средств индивидуальной защиты органов дыхания для соблюдения пределов дозы для работников, за исключением временных и непредвиденных обстоятельств. Тем не менее, средства защиты органов дыхания могут потребоваться в аварийных ситуациях, для проведения работ по ремонту и техническому обслуживанию, а также в особых краткосрочных обстоятельствах. Средства индивидуальной защиты органов дыхания следует использовать только в течение указанного и ограниченного периода времени.

9.56. Если уровни переносимых по воздуху загрязняющих веществ превышают безопасные рабочие уровни (например, допустимую концентрацию в воздухе), указанные руководством установки, те лицам, которые предпринимают действия в этих обстоятельствах, следует носить соответствующие средства индивидуальной защиты органов дыхания. В то время как принимаются корректирующие меры, в этой зоне следует проводить мониторинг для оценки возможного облучения. Работодателям следует удалять работников из соответствующих зон, если длительное облучение таково, что, вероятно, будут превышены рекомендуемые безопасные рабочие уровни, допустимые значения концентрации в воздухе или пределы дозы.

9.57. Средства индивидуальной защиты органов дыхания и их применение должны соответствовать следующим требованиям:

a) следует тщательно контролировать использование средств индивидуальной защиты органов дыхания для обеспечения ожидаемой защиты;
b) руководству следует обеспечивать применение надлежащих размеров средств индивидуальной защиты органов дыхания и их правильное использование;
c) следует указывать коэффициенты защиты, которые будут использоваться при оценке фактического поступления в организм работника;
d) периоды использования средств индивидуальной защиты органов дыхания не должны быть столь продолжительными, чтобы препятствовать их надлежащему использованию;

e) респираторы с фильтрами должны обладать низким сопротивлением дыханию и должны быть эффективными для соответствующих размеров пылевых частиц;
f) при использовании средств с подачей воздуха подаваемый воздух должен быть по качеству пригоден для дыхания и должен подаваться в количестве, достаточном для обеспечения работы без утечек в условиях использования;
g) респираторы с принудительной подачей воздуха или шлемы с маской для лица следует предпочитать другим видам средств индивидуальной защиты органов дыхания ввиду удобства для использующих их работников, при условии, что они обеспечивают эффективную защиту органов дыхания;
h) при выборе таких средств для конкретных работ следует учитывать факторы, влияющие на комфорт работников (например, вес этих средств, ограничение поля зрения и влияние на температуру и мобильность), а также требуемый коэффициент защиты;
i) средства индивидуальной защиты органов дыхания следует регулярно очищать и обслуживать, и их следует проверять через соответствующие промежутки времени надлежащим образом обученным лицам в соответствующим образом оборудованных помещениях;
j) компетентному лицу следует осматривать, подгонять и испытывать, в зависимости от обстоятельств, средства индивидуальной защиты органов дыхания перед выдачей для использования и периодически во время использования; результаты этих осмотров и испытаний, а также подробные сведения о любом ремонте следует регистрировать;
k) периодичность испытаний средств индивидуальной защиты органов дыхания следует определять на основе типа этих средств, среды, в которой они используются, и способа обращения с ними;
l) средства индивидуальной защиты органов дыхания следует проверять пользователям перед использованием и обслуживающему персоналу по технике безопасности после очистки, и, если это необходимо, их следует испытывать под давлением.

Другие средства индивидуальной защиты

Защитная одежда

9.58. В тех случаях, когда существует вероятность радиоактивного загрязнения, работодателю следует указывать соответствующие требования к защитной одежде на основе уровня риска. Работодателю следует

предоставлять работникам необходимую спецодежду, головные уборы, перчатки, комбинезоны и герметичную обувь и фартуки (в том числе, в соответствующих случаях, свинцовые защитные фартуки) в соответствии с рисками внешнего и внутреннего облучения и, надлежащим образом, для существующих условий выполнения работ. Рабочую одежду, включая перчатки и обувь, следует предоставлять каждому работнику, чья личная одежда может быть загрязнена во время работы.

9.59. Работодателю следует также указывать случаи, когда работникам необходимо принимать душ и переодеваться при выходе из загрязненных рабочих мест, и следует предусматривать подходящие складские помещения для одежды, а также душевые.

9.60. Работникам следует носить предписанную защитную одежду. В некоторых случаях может оказаться целесообразным снять личную одежду и рабочую одежду до надевания защитной одежды. Личную одежду и рабочую одежду следует менять в отдельных раздевалках, между которыми в соответствующих случаях должна находиться душевая для предотвращения распространения радиоактивного загрязнения.

9.61. В тех случаях, когда загрязненная рабочая одежда хранится, стирается или иным образом дезактивируется или утилизируется, работодателю следует принимать меры для предотвращения распространения радиоактивного загрязнения на других лиц или рабочие места и сведения к минимуму облучения людей и выброса загрязняющих веществ в окружающую среду. Работодателю следует при необходимости предоставлять соответствующие услуги по стирке, мойке обуви, а также вакуумные системы или другие средства дезактивации.

Защитные очки

9.62. В тех случаях, когда для обеспечения оптимальной защиты хрусталика глаза недостаточно применения инженерно-технических и административных мер контроля, следует рассмотреть вопрос о защите хрусталика глаза посредством использования работниками соответствующих защитных очков. В тех случаях, когда облучение обусловлено преимущественно бета-излучением, могут оказаться достаточными очки, изготовленные из материала «Перспекс». Однако следует учитывать тормозное излучение, генерируемое бета-излучением высокой энергии. В тех случаях, когда облучение обусловлено

преимущественно проникающим излучением (гамма-излучением или рентгеновским излучением), следует рассмотреть вопрос об использовании защитных очков со стеклами, содержащими свинец.

9.63. Если для защиты от бета-излучения используются обычные промышленные защитные очки, их следует заранее оценивать на предмет их защитных свойств. Аналогичным образом следует также оценивать перед использованием защитные очки со стеклами, содержащими свинец. Такие очки вполне могут подходить для защиты от низкоэнергетического рентгеновского излучения, но могут быть недостаточными для защиты от гамма-излучения более высоких энергий.

9.64. Коэффициент ослабления излучения стеклами очков сам по себе не отражает надлежащим образом эффективность очков при снижении облучения [161]. Следует также учитывать область, перекрываемую стеклами. Для обеспечения необходимой защиты хрусталика глаза достаточны хорошо подогнанные очки со стеклами, содержащими небольшой процент свинца (и с боковыми экранами) [161]. Для максимальной эффективности защитные очки должны перехватывать как можно больше любого рассеянного излучения, в частности при интервенционных процедурах с визуальным контролем. Работникам следует пользоваться такими защитными очками на рабочих местах с повышенной потенциальной возможностью облучения хрусталика глаза.

РОТАЦИЯ ДОЛЖНОСТЕЙ

9.65. На рабочих местах, где имеются участки с высоким уровнем облучения, когда отсутствуют другие практически осуществимые средства контроля, ротация должностей может рассматриваться как административная мера контроля с целью ограничения облучения отдельных работников. Вместе с тем использование ротации должностей следует сводить к минимуму, и ротация должностей никогда не должна подменять собой разработку и использование надлежащих методов контроля индивидуального облучения.

СООБРАЖЕНИЯ В ОТНОШЕНИИ ОПЕРАЦИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛОВ, СВЯЗАННЫХ С РАДИОАКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

9.66. Некоторые операции по переработке минералов связаны с радиоактивными материалами природного происхождения либо в форме собственно минералов, либо в форме остатков, продукта или побочного продукта (см. пункт 3.162). Первым соображением при проектировании соответствующих установок должна быть локализация радиоактивных материалов природного происхождения. Например, конструкция и эксплуатация дробильных и просеивающих установок должны быть такими, чтобы обеспечивать максимально низкий уровень выбросов загрязняющих веществ. Конструкция концентратора должна быть такой, чтобы свести к минимуму образование аэрозольных или жидких загрязнителей.

9.67. Следует признать, что полная локализация технологического материала на таких установках зачастую нецелесообразна. Любой радиоактивный материал природного происхождения, который не может быть эффективно локализован в рамках технологического процесса и переходит в форму аэрозоля, следует контролировать с помощью надлежащей системы вентиляции с целью удаления аэрозольных радиоактивных загрязнителей и сведения к минимуму профессионального облучения (см. пункты 9.10–9.19).

9.68. При проектировании перерабатывающих установок, связанных с радиоактивными материалами природного происхождения, следует учитывать аспекты, препятствующие накоплению радиоактивного загрязнения. Конструкция должна облегчать работы по техническому обслуживанию с целью удаления любых загрязняющих веществ, которые накапливаются.

9.69. При проведении работ по техническому обслуживанию следует проявлять особую осторожность с целью контроля профессионального облучения, возникающего в результате накопления в трубах и емкостях на установке радиоактивных материалов природного происхождения вследствие образования осадков и наслаивания накипи.

9.70. Насколько это практически осуществимо, обращение со всеми опасными материалами следует осуществлять на автоматизированном оборудовании в кожухах, где поддерживается пониженное давление

воздуха, независимо от того, обусловлена ли опасность радионуклидами природного происхождения в высоких концентрациях или химически токсичными компонентами.

9.71. Цвета краски, используемые для стен, поручней, оборудования, мебели и других предметов, должны в целях содействия обеспечению чистоты отличаться от цветов обрабатываемых материалов и продуктов.

9.72. Твердые, жидкие и газообразные остатки операций по переработке следует утилизировать в соответствии с процедурами, утвержденными регулирующим органом для защиты работников и населения, а также охраны окружающей среды.

10. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

ОБЯЗАННОСТИ

Руководство

10.1. В соответствии с пунктами 3.76 (f), 3.108 и 3.109 документа GSR Part 3 [2], руководству следует обеспечивать, чтобы для всех работников, занятых на работах, при выполнении которых они могут подвергаться профессиональному облучению, были обеспечены необходимые услуги по наблюдению за состоянием здоровья и по оказанию им медицинской помощи. Для внештатных работников, которые подвергаются облучению от источника, находящегося под контролем установки, на которой они работают, руководству этой установки следует заключать специальные соглашения с работодателем работников, работающих по контракту, для обеспечения того, чтобы для них были обеспечены необходимые услуги по наблюдению за состоянием здоровья работников (см. пункт 6.34(i)).

10.2. Руководству следует обеспечивать наличие в непосредственной близости от места работы соответствующих средств для проведения медицинского обследования в связи с наблюдением за состоянием здоровья работников.

Служба гигиены труда

10.3. Служба гигиены труда должна иметь следующие обязанности в отношении наблюдения за состоянием здоровья работников:

a) оценивать здоровье работников;
b) содействовать обеспечению первоначального и постоянного соответствия состояния здоровья работников условиям их работы;
c) вести документацию, содержащую полезную информацию в случае:
   i) аварийного облучения или профессионального заболевания;
   ii) статистической оценки заболеваемости, которая может быть связана с условиями труда;
   iii) оценки, для целей здравоохранения, менеджмента в отношении обеспечения защиты и безопасности на установках, на которых может произойти профессиональное облучение;
   iv) поступления запросов медицинского характера от правоохранительных органов;
d) предоставлять работникам консультации относительно любых радиационных рисков, которым они могут подвергаться, и предоставлять консультационные и лечебные услуги в случае индивидуального радиоактивного загрязнения или переоблучения.

Врач по гигиене труда

10.4. Врач по гигиене труда, отвечающий за программу наблюдения за состоянием здоровья работников, должен иметь следующие обязанности:

a) проводить медицинские осмотры работников;
b) периодически консультировать руководство о пригодности работников к выполнению поставленных перед ними задач на основе состояния здоровья работника и требований работодателя в отношении должностных обязанностей;
c) выдавать разрешение на возвращение работников в их нормальную рабочую среду после удаления из этой среды по медицинским показаниям;
d) консультировать, в установленном порядке, по вопросам гигиены на рабочем месте и удаления радиоактивного загрязнения из ран в консультации с лицом, ответственным за радиационную защиту, в зависимости от обстоятельств.

10.5. Врач по гигиене труда, в том числе любой частный врач по гигиене труда, работающий неполный рабочий день, должен быть осведомлен, посредством обучения и, при необходимости, переподготовки, о биологических последствиях облучения, средствах контроля облучения и интерпретации данных облучения и дозиметрических оценок [162]. При надлежащей поддержке специалистов врач по гигиене труда должен иметь возможность использовать эти знания в программе наблюдения за состоянием здоровья работников, а также предоставлять консультации в отношении радиологических рисков для здоровья следующим категориям работников:

a) работницам, подвергающимся профессиональному облучению, которые подозревают, что они беременны, или которые могут забеременеть, или которые кормят грудью (см. пункты 6.2–6.20);
b) отдельным работникам, которые получили или, возможно, получили облучение, значительно превышающее пределы дозы;
c) работникам, которые, возможно, обеспокоены в связи с тем, что они могли подвергнуться облучению;
d) работникам, которые обращаются за такой консультацией по иному поводу.

10.6. Для того чтобы иметь возможность судить о пригодности работников к работе, врач по гигиене труда должен быть знаком с заданиями, выполняемыми на рабочем месте, и условиями, в которых производятся работы. В случае операций, связанных с необычными условиями труда, как это может быть в случае некоторых рудников и предприятий по переработке минералов, врачу по гигиене труда следует быть постоянно информированным о таких условиях, периодически посещая рабочие места. Работодателю следует предоставлять врачу по гигиене труда соответствующие возможности для получения необходимой степени информированности относительно заданий на рабочем месте и условий в местах проведения работ.

10.7. Врачу по гигиене труда следует брать на себя ответственность за ведение пациентов в случае подозреваемого переоблучения. Это должно включать предоставление соответствующим квалифицированным экспертам подробной информации о конкретном случае, консультирование работника и, при необходимости, инструктаж представителей работников и членов семьи работника. Дополнительные руководящие материалы по этим вопросам содержатся в [162].

ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

10.8. С учетом пункта 3.108 документа GSR Part 3 [2] программа наблюдения за состоянием здоровья работников должна основываться на общих принципах гигиены труда, изложенных в документе [163], и должна предназначаться для оценки первоначальной и дальнейшей физической пригодности работников к выполнению предлагаемых им заданий. Дополнительными целями программы наблюдения за состоянием здоровья работников являются:

a) предоставление исходной информации, которая может быть использована в случае аварийного воздействия конкретного опасного агента или в случае профессионального заболевания, а также для конкретного консультирования работников в отношении любых профессиональных рисков для здоровья (включая радиационные риски), которым они подвергаются или могут подвергаться;
b) оказание поддержки мерам по уходу за переоблученными работниками.

10.9. Основными элементами программы наблюдения за состоянием здоровья работников должны быть:

a) оценка состояния здоровья работников с целью обеспечения их физической пригодности к выполнению указанных для них заданий;
b) создание и ведение конфиденциальной медицинской документации;
c) мероприятия в отношении аварийного облучения, переоблучения и последующего наблюдения;
d) предоставление медицинских консультаций руководству и работникам.

10.10. Подробные руководящие материалы для лиц, ответственных за разработку, создание, осуществление и управление программами наблюдения за состоянием здоровья работников, приведены в [163].

МЕДИЦИНСКИЙ ОСМОТР РАБОТНИКОВ

10.11. Медицинские осмотры работников, подвергающихся профессиональному облучению, следует проводить в соответствии с общими принципами производственной медицины. Профессиональное

облучение может быть не единственной причиной проведения медицинских осмотров работников. Другие причины включают воздействие таких опасностей, как шум, пыль и химические вещества. Например, было бы весьма желательно периодически проводить исследование функции легких у работников, работающих в условиях запыленности окружающего воздуха, и врачу по гигиене труда следует рассмотреть целесообразность проведения специальных исследований, таких как исследования функции легких и, при необходимости, рентгенография грудной клетки. Специальные оценки и тесты могут быть оправданы, если облучение или воздействие других опасностей превышает соответствующие пределы.

10.12. Как и в случае любых отношений между врачом и пациентом, врачу по гигиене труда следует в полной мере информировать работника о причинах конкретных обследований, а также о любых существенных выводах, имеющих отношение к здоровью работника и конкретной рабочей среде.

10.13. Медицинские осмотры работников следует проводить до начала трудовой деятельности, периодически впоследствии и при прекращении трудовой деятельности.

10.14. Для каждого работника следует установить анамнез и оценку для следующих целей:

a) определения физической пригодности к выполнению конкретной работы, на которую должен быть нанят работник;
b) получения исходных данных для использования при рассмотрении изменений в конкретных методах работы;
c) получения исходных данных для использования при оценке профессионального заболевания или переоблучения.

10.15. Первоначальный медицинский осмотр должен ставить целью оценку здоровья и физической пригодности работника к выполнению намеченных задач и выявление наличия у работника состояния, которое может потребовать особых мер предосторожности во время работы. Однако радиационная составляющая рабочей среды должна редко оказывать существенное влияние на решение о физической пригодности работника к выполнению радиационно-опасных работ или влиять на общие условия работы. К медицинским противопоказаниям, которые следует стремиться обнаружить врачу по гигиене труда, относятся те, которые могут повлиять на способность использовать и носить защитную одежду и средства защиты,

способность слышать сигналы тревоги и реагировать на радиационные опасности, а также способность использовать специализированные инструменты и оборудование.

10.16. Физическая пригодность к выполнению радиационно-опасных работ зависит от состояния здоровья работника и вида выполняемых работ, как это иллюстрируется следующими примерами:

a) если обязанности работника таковы, что требуется использование средств индивидуальной защиты органов дыхания, врачу по гигиене труда следует проверять физическую пригодность работника к ношению средств индивидуальной защиты органов дыхания, включая проверку отсутствия нарушений функции легких;
b) если работник занимается обращением с открытыми источниками, на его физическую пригодность к работе может повлиять наличие кожных заболеваний, таких как экзема или псориаз; в таких случаях решение о физической пригодности должно основываться на характере, масштабах и эволюции заболевания и на характере должностных обязанностей. Работники с такими заболеваниями не обязательно должны отстраняться от работы с открытыми радиоактивными веществами, если уровни активности невелики и при условии принятия соответствующих мер предосторожности, таких как укрытие соответствующих участков тела;
c) если работник обязан работать с источниками излучения, на его физическую пригодность к работе может повлиять психическое расстройство. В таких случаях при принятии решения о физической пригодности следует учитывать последствия симптоматических эпизодов такого расстройства с точки зрения безопасности. Основная проблема заключается в том, могут ли такие работники представлять опасность для себя или для своих коллег или населения.

10.17. Неотъемлемой причины, по которой работник, ранее проходивший лучевую терапию, должен быть отстранен от выполнения радиационно-опасных работ, не существует. Каждый случай следует оценивать индивидуально, принимая во внимание результаты лучевой терапии, общий прогноз и другие соображения в отношении здоровья, понимание и пожелания работника, а также характер работ.

10.18. При проведении периодических медицинских осмотров врачу по гигиене труда следует подтверждать, что во время работы в зонах, связанных с опасностями для здоровья на производстве, в том числе

опасностями, вызванными радиацией, клиническое состояние, которое могло бы нанести ущерб здоровью работника, не развивалось. Характер периодического медицинского осмотра должен зависеть от таких факторов, как вид выполняемых работ, возраст и состояние здоровья, а также, возможно, привычки работника (например, привычки курения). Например:

a) в тех случаях, когда характер работы обусловливает возможность локализованного повреждения кожи в результате облучения, следует проводить осмотр кожи, и особенно кожи рук;
b) работник, уже получивший накопленные дозы в хрусталике глаза более 0,5 Гр или который может через несколько лет накопить дозы, превышающие этот уровень, может нуждаться в регулярном офтальмологическом обследовании. Это относится к риску обнаруживаемых помутнений и нарушений зрения, которые могут повлиять на способность работника выполнять намеченные задачи (например, выполнение интервенционных процедур с визуальным контролем).

10.19. Частота проведения периодических медицинских осмотров должна основываться на оценке состояния здоровья работника и на виде выполняемых работ. Как правило, облучение само по себе не должно быть причиной проведения периодических медицинских осмотров чаще, чем обычно.

10.20. В соответствии с надлежащей практикой в области гигиены труда врачу по гигиене труда следует обеспечивать, чтобы работник по возвращении из отпуска в связи с травмой или болезнью был физически пригоден к возобновлению работы.

10.21. По завершении медицинского осмотра врачу по гигиене труда следует в письменной форме сообщать о выводах как работнику, так и работодателю. Эти выводы не должны содержать информацию медицинского характера, но должны, по крайней мере, относить работника к одной из следующих категорий:

a) физически пригоден для работы на конкретной должности или по определенной профессии;
b) физически пригоден для такой работы с определенными ограничениями (например, не для работы, требующей использования средств индивидуальной защиты органов дыхания);
c) непригоден для рассматриваемой работы.

10.22. Что касается подпункта с) выше, то врачу по гигиене труда следует обладать полномочиями объявлять работников временно или постоянно непригодными по медицинским соображениям для выполнения их обычной работы или рекомендовать перевод работника на другую работу. Врачу по гигиене труда следует также обладать полномочиями консультировать работодателя по вопросам восстановления таких работников в их обычных должностных обязанностях по медицинским соображениям.

10.23. В случае наблюдаемого заболевания, которое, вероятно, было вызвано преобладающими условиями труда, врачу по гигиене труда следует информировать руководство о необходимости изучения условий труда. В соответствующих случаях руководству следует предпринимать корректирующие меры в консультации с врачом по гигиене труда.

10.24. При медицинском осмотре в связи с прекращением трудовой деятельности следует выявлять любые нарушения, связанные с работой, и, при необходимости, следует организовывать проведение дальнейших периодических и последующих осмотров врачом работника после прекращения трудовой деятельности (дополнительные руководящие материалы см. в [163]). Это соответствует рекомендации МОТ № 147[164], которая гласит:

> «12. Компетентный орган власти должен обеспечить принятие мер, направленных на то, чтобы соответствующие медицинские обследования трудящихся или биологические или другие анализы или исследования проводились и после прекращения выполнения работы».

10.25. Данные, собранные на основе медицинских оценок, могут быть полезны для эпидемиологических исследований.

УВЕДОМЛЕНИЕ О ЗАБОЛЕВАНИЯХ И ПЕРЕОБЛУЧЕНИИ

10.26. Работникам следует рекомендовать незамедлительно сообщать врачу по гигиене труда о любых серьезных заболеваниях.

10.27. Работникам следует сообщать о любом предполагаемом аварийном поступлении радиоактивных веществ своему руководителю и лицу, ответственному за радиационную защиту. Врача по гигиене труда следует проинформировать в случае, если есть подозрение, что аварийное

поступление превышает предел, установленный регулирующим органом, и ему следует сообщать о результатах любого исследования, проведенного с целью установить, действительно ли такое поступление имело место. Врач по гигиене труда может быть приглашен для участия в процедуре расследования переоблучения.

10.28. Если работник получил дозу, превышающую уровень расследования (см. пункты 3.122–3.127), регулирующий орган может потребовать уведомления и расследования обстоятельств облучения.

МЕДИЦИНСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

10.29. Медицинская документация должна включать регистрационные записи всех медицинских осмотров — осмотров до приема на работу, периодических, специальных и проводимых после выздоровления осмотров, а также осмотров при прекращении трудовой деятельности — результатов лабораторных исследований, историй болезни и личных медицинских карточек. В соответствующих случаях следует также регистрировать информацию об облучении, особенно в случаях переоблучения. Медицинскую документацию следует хранить конфиденциально и таким образом, как одобрено регулирующим органом. Медицинскую документацию следует сохранять по крайней мере в течение всей жизни соответствующих работников. Однако в связи с возможностью судебного разбирательства следует рассмотреть вопрос о более длительном сроке хранения регистрационных записей.

МЕРЫ В ОТНОШЕНИИ ПЕРЕОБЛУЧЕННЫХ РАБОТНИКОВ

10.30. В соответствии с условиями получения официального разрешения руководству следует разрабатывать официальные планы действий в ситуациях, когда работники могут подвергаться переоблучению. Эти планы должны касаться мер в отношении переоблученных работников и возможных последствий для здоровья. В планах следует указывать необходимые меры, которые необходимо принимать, и руководству следует выделять ресурсы для осуществления этих мер.

10.31. В случае аварийного облучения или переоблучения врачу по гигиене труда следует сотрудничать с руководством с целью обеспечения того, чтобы были приняты все надлежащие меры для оценки тяжести облучения.

10.32. Если есть подозрение, что имело место переоблучение, руководству следует незамедлительно провести расследование дс целью оценки доз, полученных соответствующим(и) работником(ами). Расследование должно включать считывание данных индивидуальных дозиметров и любых приборов для мониторинга, а в случае внутреннего облучения — мониторинга in vivo или in vitro, в зависимости от обстоятельств.

10.33. Оцененные дозы, близкие к пределам дозы, вряд ли потребуют чего-либо большего, чем расследование причин, с тем чтобы можно было определить соответствующие уроки. Они не требуют проведения каких-либо специальных медицинских обследований или лечения. Только при дозах, значительно превышающих пределы дозы (т.е. дозах 0,1 Зв или выше), потребуются специальные исследования дозы, включающие биологическую дозиметрию (например, анализ хромосомных аберраций в соматических клетках, главным образом лимфоцитах) и дальнейшую расширенную диагностику или медицинское лечение (см. пункты 4.30–4.32). При оказании медицинской помощи лицам, подвергшимся воздействию высоких уровней внешнего облучения, следует учитывать любые неблагоприятные последствия для здоровья, особенно детерминированные эффекты.

10.34. В случае, если у работника имело место значительное поступление радионуклидов, может оказаться оправданным принятие мер с целью уменьшения ожидаемой дозы. Таких работников следует заранее предупреждать о возможности медицинского вмешательства с целью уменьшения поступления радионуклидов в организм в определенных ситуациях. Меры, которые необходимо предпринять, будут зависеть от соответствующих радионуклидов, величины ожидаемой эквивалентной дозы в соответствующих органах, а также эффективности защитной меры и связанного с ней риска. Соответствующие меры следует осуществлять только в том случае, если уменьшение дозы перевесит побочные эффекты. Примеры такой терапии включают увеличение скорости выведения из организма инкорпорированных актинидов путем лечения с использованием Ca-DTPA, принудительного диуреза после поступления трития и хирургического иссечения загрязненных ран.

10.35. В детальном расследовании аварий, их обстоятельств и последствий следует участвовать специалистам в различных областях, в частности врачу по гигиене труда и специалисту по радиации. Этим специалистам следует поддерживать между собой тесную связь, с тем чтобы обеспечивать надлежащую координацию всех мер, принимаемых для оказания медицинской помощи. Если есть подозрение, что полученные дозы близки к пороговым значениям детерминированных эффектов или превышают их, при расследовании следует как можно точнее определять поглощенные дозы и их распределение в организме и оно должно включать соответствующие медицинские осмотры пострадавшего(их) работника(ов).

Добавление I

ОБЛУЧЕНИЕ РАБОТНИКОВ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

I.1. Как и в случае других видов профессионального облучения, единственным надежным способом оценки эффективной дозы, получаемой работником, подвергающимся облучению от радиоактивных материалов природного происхождения, является надлежащим образом разработанная программа мониторинга, осуществляемая на соответствующем рабочем месте. Однако для облучения, обусловленного гамма-излучением, и облучения от взвешенной в воздухе пыли можно заранее установить широкий показатель ожидаемой дозы, если имеются разумные знания о характеристиках материала и рабочей ситуации, в которой используется материал. Это связано с тем, что на дозу довольно сильно влияют концентрации активности радионуклидов в материале, отражающие основную линейную зависимость между этими двумя параметрами. Широкий показатель дозы облучения, обусловленного гамма-излучением, и облучения от взвешенной в воздухе пыли может быть использован в ходе предварительной радиологической оценки в качестве инструмента приоритизации для определения, на основе концентраций активности в технологических материалах, типов промышленных технологических процессов и сценариев облучения, в которых потребность в мерах по обеспечению защиты и безопасности, вероятно, будет наибольшей.

I.2. В [24] приведено описание для получения ориентировочных зависимостей между дозой и концентрацией активности для ряда технологических материалов и связанных с ними сценариев облучения, которые могут иметь место в промышленной деятельности, связанной с радиоактивными материалами природного происхождения. Рассматриваются три основные категории технологических материалов:

a) большие количества материала (например, рудное тело или большой запас);
b) небольшие количества материала (например, минеральные концентраты, накипь и шлам);
c) материал, подвергающийся испарению в высокотемпературном процессе (т.е. пыль осадителя и отходящие газы).

Результаты приведены в таблице 7. В реальных ситуациях дозы, вероятно, будут значительно ниже из-за консервативного характера допущений, сделанных в процессе моделирования доз.

ТАБЛИЦА 7. ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДОЗОЙ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ, ОБУСЛОВЛЕННОМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ И ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ

Категория материала	Примеры	Годовая доза на единицу концентрации активности радионуклида с наивысшей концентрацией активности (мЗв/год на Бк/г)	
		Мин.	Макс.
Большое количество	Рудное тело Большой запас	0,02	0,4
Небольшое количество	Минеральный концентрат Накипь Шлам	0,008	0,04
Летучий материал, в котором представляют интерес только ^{210}Pb и ^{210}Po	Отходящие газы Пыль осадителя	0,0006	0,003

Источник: Таблица 2 в [24].

I.3. Последствия результатов в таблице 7 можно проиллюстрировать следующими двумя примерами:

а) выполняемое работником задание связано с возникновением на регулярной основе непосредственной близости к запасу материала массой 500000 т, в котором наивысшая средняя концентрация активности отдельного радионуклида в цепочке распада ^{238}U или цепочке распада ^{232}Th составляет 5 Бк/г. В зависимости от типа материала ожидается, что годовая эффективная доза, которая будет получена работником, составит от 0,1 мЗв/год (5 Бк/г×0,02 мЗв/год на Бк/г) до 2 мЗв/год (5 Бк/г×0,4 мЗв/год на Бк/г). Это предполагает,

что с точки зрения дифференцированного подхода сценарий облучения будет иметь лишь минимальное значение в отношении обеспечения защиты и безопасности;

b) выполняемое работником задание связано с возникновением на регулярной основе непосредственной близости к 100 кг технологического остатка, в котором наивысшая средняя концентрация активности отдельного радионуклида в цепочке распада ^{238}U или цепочке распада ^{232}Th составляет 250 Бк/г. В зависимости от типа материала ожидается, что годовая эффективная доза, которая будет получена работником, составит от 2 мЗв/год (250 Бк/г×0,008 мЗв/год на Бк/г) до 10 мЗв/год (250 Бк/г×0,04 мЗв/год на Бк/г). Это предполагает, что с точки зрения дифференцированного подхода сценарий облучения будет иметь довольно важное значение для обеспечения защиты и безопасности.

Добавление II

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

II.1. Для целей индивидуального мониторинга широко используются лишь несколько дозиметрических методов. Они различаются по технологии, используемой для детектирования излучения. Как следствие, они также различаются в отношении таких характеристик, как способность измерять излучение различных видов и энергий, размер детектора, чувствительность, технологическая сложность, простота и степень автоматизации, а также устойчивость к воздействию климатических условий. При выборе дозиметрической системы эти характеристики следует тщательно учитывать в свете местных обстоятельств.

ФОТОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЕ

Пленочная дозиметрия

II.2. Фотопленочные дозиметры обычно состоят из фотопленки, помещенной в соответствующий держатель, снабженный соответствующими фильтрами. Такие сборки часто называют пленочными дозиметрами.

II.3. Эмульсия пленки выполнена из кристаллов бромида серебра, взвешенных в желатиновой среде. Тонкий слой этой эмульсии равномерно нанесен на пластиковую основу. Воздействие ионизирующего излучения на зерна в эмульсии создает скрытое изображение. При последующей проявке ионы серебра в скрытом изображении создают постоянное почернение. Оптическая плотность измеряется денситометром и является функцией вида и энергии измеряемого излучения. Фотопленочные дозиметры наиболее широко используются для мониторинга фотонного и бета-излучения. Они также могут быть использованы для косвенного измерения дозы тепловых нейтронов путем захвата тепловых нейтронов кадмиевым фильтром (реакция n–γ) и оценки засветки пленки, получаемой в результате воздействия гамма-излучения, в качестве показателя дозы нейтронного излучения.

II.4. Зависимость чувствительности пленки от энергии фотонов сильно отличается от подобной зависимости для тканей человека. Например, оптическая плотность при энергии 50 кэВ может быть в 25 раз выше, чем при энергии 1,25 МэВ (средняя энергия фотонного излучения ^{60}Co) для такой же дозы в ткани. Для компенсации этой энергетической зависимости было разработано несколько методов. В большинстве из них используются фильтры, изготовленные из различных металлов (таких как алюминий, медь, свинец и олово) и различной толщины, устанавливаемые в держателе пленки перед пленкой. Эти фильтры по-разному ослабляют излучение в зависимости от энергии фотонов, что приводит к областям различной оптической плотности, с помощью которых может быть получена информация о спектре излучения. Хотя использование одного фильтра является достаточным для фотонов энергии выше, чем около 0,1 МэВ, для фотонов с более низкой энергией необходимо использование системы с несколькими фильтрами (например, медными, оловянными, свинцовыми и пластиковыми фильтрами и открытыми окнами). На практике для объединения «кажущихся доз гамма-излучения» различных областей используются эмпирически разработанные алгоритмы, что приводит к достаточно точной оценке величин $H_p(10)$ и $H_p(0{,}07)$.

II.5. Даже с использованием соответствующих фильтров и алгоритмов трудно определить $H_p(10)$ для энергий фотонов менее чем около 20 кэВ или более чем 3 МэВ без значительной профессиональной компетенции и определенного знания энергетического спектра облучения. Вид падающего излучения и доза могут быть оценены на основе отклика за различными фильтрами.

II.6. Оптические плотности пленки зависят не только от энергии излучения, используемых фильтров и дозы, но и от типа пленки, температуры проявителя, времени проявки и климатических условий (температуры и влажности), в которых пленка подвергалась облучению перед обработкой. Пленочные дозиметры подвержены воздействию температуры и влажности, что приводит к затуханию скрытого изображения [165].

II.7. Еще одно осложнение возникает вследствие того, что зависимость «доза-плотность» является не линейной, а сигмовидной по форме. Это означает, что вместе с пленками заказчика должен быть проявлен набор калибровочных пленок (которые подвергаются воздействию всего диапазона доз излучения, обычно с использованием гамма-излучения ^{137}Cs или ^{60}Co). С использованием оптических плотностей этих пленок можно построить калибровочную кривую, которая используется для выражения всех

оптических плотностей с точки зрения кажущейся дозы гамма-излучения. Калибровочная кривая может быть легко выражена как математическая функция, которая используется для преобразования измеренных оптических плотностей в кажущуюся дозу гамма-излучения. Это следует делать для каждой партии вновь приобретенных пленок. Невозможно учесть различия чувствительности в пределах партии пленок, поскольку пленка может быть облучена только один раз.

II.8. Большинство денситометров способны измерять оптическую плотность[25] от 0,02 до 4,0 (что соответствует пропусканию света через пленку от 95% до 0,01%). Соответствующий диапазон доз довольно ограничен, и большинство пленок, используемых для индивидуального мониторинга, поэтому имеют два слоя чувствительной эмульсии, по одному с каждой стороны носителя, которые отличаются по чувствительности примерно в сто раз. В случае сильного переоблучения чувствительный слой (который будет насыщен) может быть удален, а оставшийся нечувствительный слой может быть использован для количественных измерений доз порядка 2–10 Зв. Для этой эмульсии необходима отдельная калибровочная кривая.

II.9. Всякий раз, когда предлагается новый тип пленки для использования или вносятся изменения в процесс проявки, необходимы типовые испытания. Пленочные дозиметры обычно используются в течение периодов ношения до одного месяца и подходят для использования в контролируемых зонах. При использовании более длительного периода ношения особое внимание следует уделять проблеме затухания. Необходимо калибровать пленочные дозиметры путем облучения идентичных пленок известными дозами и обработки этих «контрольных пленок» одновременно с дозиметрами.

Термолюминесцентная дозиметрия (ТЛД)

II.10. Термолюминесцентная дозиметрия основана на возбуждении (с последующим улавливанием) электронов ионизирующим излучением и последующем высвобождении захваченных электронов путем нагревания. Это приводит к испусканию света, количество которого напрямую связано с дозой излучения, первоначально полученной материалом. Взаимосвязь

---

[25] Для заданной длины волны света оптическая плотность материала (также называемая коэффициентом поглощения A) представляет собой отношение интенсивности I света, проходящего через материал, к интенсивности I_0 света, падающего на материал, выраженное логарифмически в соответствии с выражением $A = -\lg(I/I_0)$.

между количеством света, испускаемого во время считывания, и величиной, подлежащей измерению, определяется с помощью калибровки. После снятия показаний детектор можно использовать повторно, как правило, после выполнения процедуры отжига.

II.11. Количественное измерение светового выхода термолюминесцентного дозиметра во время считывания обычно производится с помощью фотоэлектронного умножителя. График зависимости выходного сигнала фотоэлектронного умножителя от температуры называется «кривой термовысвечивания». Форма кривой термовысвечивания зависит от типа и количества примесей и дефектов решетки, присутствующих в материале, а также от тепловой истории и обработки материала. Площадь под кривой термовысвечивания используется в качестве меры дозы.

II.12. В принципе, использование термолюминесцентных дозиметров является простым и ясным. Тем не менее, следует всегда применять правильные процедуры считывания и отжига, в противном случае могут происходить значительные изменения чувствительности термолюминесцентных дозиметров. Хотя степень затухания у них меньше, чем у пленочных дозиметров, это явление носит сложный характер. Поэтому для проведения измерений с надлежащей точностью и прецизионностью требуются осторожность и опыт.

II.13. Использование термолюминесцентных дозиметров имеет несколько характеристик, которые являются полезными для применений в индивидуальной дозиметрии. Это привело к их широкому применению на протяжении многих лет благодаря прогрессу в разработке материалов для термолюминесцентных дозиметров и достигнутому в настоящее время совершенству приборов для считывания данных таких дозиметров. Успешное использование термолюминесцентных дозиметров в качестве обычного средства измерения доз облучения было продемонстрировано много раз (например, в международных исследованиях по взаимному сравнению [166, 167]).

II.14. Были изготовлены и исследованы многочисленные материалы для термолюминесцентных дозиметров, но лишь несколько из них регулярно применяются для целей индивидуального мониторинга. Наиболее широко используемыми материалами являются фторид лития (LiF:Mg, Ti или LiF: Mg, Cu, P) и борат лития ($_{Li2}B_4O_7$: Mn). Материал LiF:Mg, Cu, P все чаще используется из-за его более высокой чувствительности и меньшей восприимчивости к затуханию по сравнению с LiF:Mg, Ti.

Ввиду их низкого эффективного атомного номера (7.3–8.3) эти материалы имеют кривую зависимости отклика от энергии, которая повторяет с точностью 20% кривую для мягких тканей. Это устраняет необходимость использования компенсирующих фильтров и, следовательно, позволяет упростить конструкцию дозиметра для измерения $H_p(10)$ и $H_p(0{,}07)$. Однако термолюминесцентные дозиметры не могут обеспечивать хорошую энергетическую характеристику, если они будут использоваться для измерения фотонов с энергией менее чем приблизительно 20 кэВ [168].

II.15. Величина $H_p(0{,}07)$, которая становится важной при измерении фотонов с энергией ниже 12 кэВ или бета-излучения, требует применения очень тонкого (~4 мг/см^2) детектора, покрытого очень тонким (~4 мг/см^2) защитным слоем. Такие тонкие детекторы выпускаются в двух вариантах: (i) тонкий чувствительный к излучению слой поверх более прочного нечувствительного к излучению носителя; и (ii) обычный материал термолюминесцентного дозиметра с добавлением небольшого количества углерода (последний предотвращает попадание люминесценции из слоев глубиной более 4–10 мг/см^2 на детектор в процессе считывания). Ввиду очень небольшого количества материала детектора, доступного для измерения дозы, чувствительность тонких термолюминесцентных дозиметров является низкой. Однако благодаря использованию LiF:Mg, Cu, P эти детекторы теперь имеют подходящий порог детектирования, и они имеют наиболее подходящий материал для дозиметрии конечностей при воздействии бета-излучения [169].

II.16. Материалы для термолюминесцентных дозиметров с более высокими эффективными атомными номерами (10,2–16,3) также используются ввиду их большей чувствительности. Примерами являются фторид кальция (CaF_2), сульфат кальция ($CaSO_4$:Dy или $CaSO_4$:Tm) и оксид алюминия (Al_2O_3). Термолюминесцентные дозиметры, включающие эти материалы, используются в бейджах с несколькими фильтрами. Эти дозиметры по существу имитируют характеристики пленочного дозиметра, давая широкое представление об энергии излучения, приводящего к дозе, полученной пользователем.

II.17. В отличие от отклика фотопленки, отклик термолюминесцентных дозиметров (т.е. выходной сигнал люминесцентного светового излучения) изменяется почти линейно с дозой в очень широком диапазоне доз, до по меньшей мере 2 Зв или даже выше: до 5 Зв для LiF и еще выше для $CaSO_4$:Dy. Поведение LiF является надлинейным при дозах выше нескольких зивертов, вплоть до насыщения на уровне нескольких тысяч

зивертов. Современные термолюминесцентные дозиметрические системы (т.е. комбинации термолюминесцентных дозиметров и соответствующего считывающего оборудования) способны измерять с удовлетворительной точностью и прецизионностью дозы с нижним уровнем до 10 мкЗв.

II.18. Выпускаются ручные, полуавтоматические, а также весьма сложные и высокоавтоматизированные термолюминесцентные дозиметрические системы (см. [170]). Для небольших служб обычно достаточно ручных или полуавтоматических систем.

Фотолюминесцентная дозиметрия

II.19. Фотолюминесценция основана на образовании индуцированных люминесцентных центров в легированных серебром фосфатных стеклах при воздействии на них ионизирующего излучения. При последующем воздействии на стекла ультрафиолетового излучения испускается видимый свет, интенсивность которого линейно связана с поглощенной дозой ионизирующего излучения. В отличие от термолюминесценции, эффекты ионизирующего излучения — индуцированные люминесцентные центры — не разрушаются при нормальным процессе считывания и являются чрезвычайно стабильными, так что затухание при комнатной температуре является незначительным в течение нескольких лет и информация о дозе может быть получена в любое время в ходе длительного накопления дозы [171].

II.20. Фосфатные стекла могут производиться в больших масштабах с хорошей воспроизводимостью и постоянной чувствительностью. Применение имеющихся на рынке импульсных ультрафиолетовых лазерных считывателей уменьшает «предварительную дозу» — кажущееся показание от необлученных стекол — до значения около 10 мкЗв. Это устраняет некоторые недостатки более старой, традиционной методики считывания, которая требовала очистки стекла и вычитания предварительной дозы для измерения доз ниже 100 мкЗв.

II.21. Ввиду высокого атомного номера некоторых материалов стекол используются энергокомпенсирующие фильтры. Для энергий фотонов выше 15 кэВ достижима энергетическая зависимость чувствительности в пределах ±15%.

II.22. Преимущества фотолюминесцентных дозиметров включают постоянную и долгосрочную интеграцию информации о дозе, хорошую точность, незначительное затухание и возможность повторения считывания показаний дозиметра в случае необходимости. Комплексная дозиметрическая система на базе фосфатных стекол с автоматическим считыванием с использованием ультрафиолетового лазерного возбуждения пригодна для использования в крупномасштабных системах индивидуального мониторинга [172, 173]. Фотолюминесцентные дозиметрические системы имеются в продаже и уже широко используются, при этом в области взаимного сравнения достигнуты отличные результаты.

Оптически стимулированная люминесцентная дозиметрия

II.23. Оптически стимулированная люминесцентная дозиметрия в принципе аналогична термолюминесцентной дозиметрии и фотолюминесцентной дозиметрии. В методах оптически стимулированной люминесценции оптические методы используются для высвобождения энергии электронов, захваченных в люминесцентных материалах после воздействия на них ионизирующего излучения [174–178]. Система детектирования основана на использовании в качестве люминесцентного материала оксида алюминия (Al_2O_3:C). Источником света, используемым для возбуждения материала, обычно является лазер или светоизлучающий диод. Оптически стимулированная люминесценция может осуществляться в импульсном или непрерывном режиме. В последнем режиме стимулирующий свет отделяется от испускаемого света серией фильтров. Технология оптически стимулированной люминесценции обеспечивает возможность повторной обработки, при желании, данных дозиметра в более позднее время, поскольку при однократном считывании стирается только небольшая часть оптически стимулированного сигнала люминесценции. Уровень детектирования низкий ввиду высокой чувствительности люминофора. Недостатком является то, что материал Al_2O_3:C не является тканеэквивалентным, что вызывает необходимость использования фильтров и подходящего алгоритма расчета для определения $H_p(10)$. Взаимосвязь между количеством света, испускаемого во время считывания, и измеряемой дозой облучения определяется с помощью калибровки.

II.24. В настоящее время в результате разработки материала с требуемой степенью чувствительности и удобных систем считывания широко используется оптически стимулированная люминесцентная дозиметрия на базе Al_2O_3:C. В последние годы внедрена вторая коммерческая дозиметрическая система на основе оптически стимулированной

люминесценции. Она работает с материалом на базе оксида бериллия (BeO), преимущество которого заключается в том, что он почти тканеэквивалентен, и это позволяет избежать необходимости в фильтрах или алгоритме расчета для определения $H_p(10)$.

Дозиметрия с прямым хранением ионов

II.25. Дозиметр с прямым хранением ионов основан на сочетании ионной камеры и энергонезависимого электронного зарядового накопителя. Прямое хранение ионов интегрирует полученные дозы и позволяет производить неоднократное считывание показаний с помощью небольшого локального считывателя. Считывание занимает всего несколько секунд и может быть выполнено работником в удобное для него время. Дозиметр не нужно возвращать в службу дозиметрии, за исключением выполнения сброса (например, один раз в год). Результаты, записанные в считыватель, могут отправляться в службу автоматически при каждом считывании. Прямое хранение ионов предназначено для измерения индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ и $H_p(0{,}07)$ с требуемой точностью [179, 180]. Оно обеспечивает высокую чувствительность, аналогичную чувствительности активного индивидуального дозиметра, не проявляет эффекта затухания и не подвержено влиянию климатических условий. Дозиметр с прямым хранением ионов по своей природе является пассивным устройством, хотя его можно использовать в специальном держателе в качестве сигнального дозиметра с прямым считыванием показаний. Дозиметр с прямым хранением ионов находит все большее применение и в настоящее время утвержден в некоторых государствах в качестве официального или разрешенного к применению дозиметра.

Активная индивидуальная дозиметрия

II.26. В продаже имеются много типов активных индивидуальных дозиметров. Обычно они основаны на энергокомпенсированном счетчике Гейгера-Мюллера или кремниевом детекторе.

II.27. Хотя большинство этих дозиметров полезны в качестве сигнальных дозиметров для использования в контролируемых зонах и для краткосрочного радиационного контроля облучения работников, не все они подходят для использования в качестве официальных или разрешенных к применению дозиметров. Это имеет место главным образом потому, что некоторые дозиметры не измеряют бета-излучение в дополнение к фотонному излучению, некоторые не регистрируют как H_p (10), так и

$H_p(0{,}07)$, а некоторые имеют слишком высокий энергетический порог для фотонов. Другие важные факторы, которые следует учитывать, – это надежность и риск потери данных [181]. Кроме того, у большинства устройств возникают трудности при измерении импульсного излучения. Некоторые активные индивидуальные дозиметры не регистрируют как $H_p(10)$, так и $H_p(0{,}07)$, и поэтому может потребоваться ношение дозиметров двух различных типов.

II.28. Разработка усовершенствованных дозиметров продолжается, и в настоящее время все больше и больше устройств технически эквивалентны пассивным устройствам и являются такими же надежными, как и они. В последнее время активные индивидуальные дозиметры были приняты в качестве разрешенных дозиметров для штатной дозиметрии в некоторых государствах [182]. При использовании для таких целей работник должен носить только один дозиметр, служащий как для сигнализации, так и для мониторинга. Подготовлен обзор имеющихся активных индивидуальных дозиметров, и несколько таких дозиметров были подвергнуты оценке с учетом применимых стандартов [183, 184]. На основе результатов этих исследований становится очевидным, что энергетические характеристики и характеристики отклика по направлениям для недавно разработанных активных индивидуальных дозиметров в большинстве случаев столь же хороши, как и у пассивных дозиметров. Характеристики передачи данных и уровни надежности сопоставимы с характеристиками пассивных дозиметров, а технические характеристики аналогичны или лучше. При использовании активных индивидуальных дозиметров в определенных видах полей излучения, таких как низкоэнергетические поля рентгеновского излучения и импульсные поля, следует проявлять осторожность [185].

НЕЙТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

II.29. Информация об индивидуальном мониторинге нейтронного излучения содержится в [186]. Была проведена оценка широкого диапазона индивидуальных дозиметров нейтронного излучения, в которой показания дозиметров сравнивались с эталонными значениями в различных реальных и смоделированных полях излучения на рабочем месте (см. [61]).

Ядерные эмульсии

II.30. Ядерные эмульсии могут быть использованы для дозиметрии быстрых нейтронов. Нейтроны взаимодействуют с ядрами водорода в эмульсии и окружающих материалах, и при упругих столкновениях образуются протоны отдачи. Эти ионизирующие частицы, проходя через эмульсию, создают скрытое изображение, которое приводит к потемнению пленки вдоль треков частиц после ее обработки [187].

II.31. Ядерные эмульсии, как правило, имеют энергетический порог около 0,7 МэВ и имеют плохой энергетический отклик и ограниченный диапазон измеряемых доз. Дозиметр этого типа насыщается при дозе около 50 мЗв.

II.32. Детектирование нейтронов с энергией менее 10 эВ основано на их взаимодействии с азотными ядрами желатина, приводящем к образованию протонов отдачи в реакциях $^{14}N(n, p)^{14}C$.

II.33. Для подсчета треков отдачи в эмульсии может быть использован микроскоп. Подсчет можно облегчить путем использования микроскопа, оснащенного телевизионной камерой и монитором. Точность измеренной дозы зависит от умения оператора распознавать треки в эмульсии.

II.34. Одним из недостатков ядерных эмульсий является высокая скорость затухания перед обработкой. Затухание ускоряется при высокой влажности и температуре и может достигать 75% в неделю. Проблема может быть решена, если пленки высушиваются в контролируемой атмосфере и перед использованием заключаются во влагостойкую оболочку.

II.35. Еще одна серьезная проблема эмульсий заключается в том, что фотонное излучение может засвечивать пленку после облучения и проявки, сильно затрудняя обнаружение треков протонов. Ввиду этих недостатков, а также высокого энергетического порога для нейтронов, ядерные эмульсии все чаще заменяются в индивидуальной дозиметрии другими методами. Как правило, следует избегать метода с использованием ядерных эмульсий.

Твердотельные трековые детекторы

II.36. Сильно ионизирующие частицы, такие как осколки деления, альфа-частицы или нейтронно-индуцированные частицы отдачи вызывают структурные повреждения вдоль их пути во многих материалах, таких как минералы, стекло и различные пластмассы [188]. Путем травления

поверхности детектора соответствующими реагентами зона повреждения вдоль трека частицы может быть удалена, а выемки от травления могут быть увеличены, с тем чтобы их было видно под оптическим микроскопом. Применение электрохимического травления значительно увеличивает размеры трека, и можно легко измерить плотности треков (т.е. путем подсчета).

II.37. Размер и форма протравленного трека зависят от вида, энергии и угла падения частицы, типа материала детектора и условий травления (т.е. концентрации и температуры травления и времени травления). Эти параметры следует оптимизировать для каждого материала и для каждого конкретного применения.

II.38. Для нейтронной дозиметрии обычно используются три типа детекторов: детекторы треков деления, детекторы треков отдачи и детекторы треков реакций (n,α). Они кратко описаны в пунктах II.39–II.42. Более полное обсуждение методов измерения для детектирования треков можно найти в [189].

Детекторы треков деления

II.39. Излучатель или конвертер делящегося материала испускает осколки деления после облучения нейтронами. Осколки деления детектируются твердотельным детектором треков, таким как поликарбонат. Реакции деления имеют либо энергетический порог (например, 0,6 МэВ для ^{237}Np, 1,3 МэВ для ^{232}Th и 1,5 МэВ для ^{238}U), либо чрезвычайно высокое сечение для тепловых нейтронов (например, ^{235}U). Использование делящихся материалов в дозиметрах в настоящее время ограничено или запрещено в некоторых государствах ввиду их радиоактивности.

Детекторы треков отдачи

II.40. Упругое рассеяние нейтронов на ядрах пластиковых детекторов, таких как полиаллилдигликолькарбонат или CR-39 (аллилдигликолькарбонат) [188, 190–192], может приводить к образованию заряженных частиц отдачи, таких как протоны или ионы углерода, кислорода и азота. Эти частицы отдачи образуют скрытые треки, которые можно сделать видимыми путем травления. Для увеличения размеров треков используется химическое или электрохимическое травление. Плотность треков, пропорциональная облучению от нейтронов, может быть подсчитана с помощью читального аппарата для микрофиш или автоматического счетчика частиц. Вследствие

линейной передачи энергии протонов отдачи и короткого диапазона более тяжелых частиц, различные типы пластика имеют разную чувствительность к нейтронам, а отклик также зависит от энергии нейтронов. Для каждого материала детектора или сочетания излучателя, поглотителя и материала детектора следует оптимизировать метод травления, а кривые энергетического отклика следует получать экспериментальным путем. Помимо полиаллилдигликолькарбоната, наиболее распространенными материалами для детекторов являются поликарбонат и нитрат целлюлозы.

II.41. Дозиметр на основе только полиаллилдигликолькарбоната имеет энергетический порог около 100–150 кэВ, но его низкую энергетическую чувствительность можно улучшить с помощью пластикового фильтра, содержащего азот. Нейтроны низких энергий реагируют с азотом в процессе захвата с образованием протонов с энергией около 0,5 МэВ. Его угловой отклик не является хорошим, но если средний отклик усредняется по углам 0°, 20°, 40° и 60°, то отклик, который является плоским в пределах ±30%, достигается в диапазоне энергий 0,15-14 МэВ. Использование азотсодержащего пластикового фильтра также обеспечивает удовлетворительный отклик для нейтронов в диапазоне энергий от тепловой до 10 кэВ. Детектор этого типа не чувствителен к фотонам, он не сильно подвержен затуханию, а дозовый порог составляет всего 0,1 мЗв. В зависимости от требуемой чувствительности введение поправочного коэффициента для рабочего места может не потребоваться. Также были разработаны и имеются в продаже автоматические считыватели для использования с этим типом детекторов. Однако для работы службы дозиметрии, использующей метод травления треков, требуется высокий уровень технических знаний; важными факторами для получения хороших результатов являются точность процедуры травления и интерпретация полученных треков.

Трековые детекторы на основе реакций (n,α)

II.42. Нейтроны взаимодействуют с ^{6}Li или ^{10}B во внешнем излучателе. Альфа-частицы, образующиеся в реакциях (n,α), имеют максимальную энергию около 2,5 МэВ (^{6}Li) и 1,5 МэВ (^{10}B) для нейтронов с энергиями ниже нескольких сотен килоэлектронвольт. Сечения реакции высоки для тепловых нейтронов и уменьшаются по мере увеличения энергии нейтронов обратно пропорционально скорости нейтронов. Большинство имеющихся в продаже пластмассовых детекторов способны регистрировать испускаемые альфа-частицы. Эффективность детектирования зависит от типа материала и условий травления.

Термолюминесцентные альбедные дозиметры

II.43. Альбедная дозиметрия основана на детектировании нейтронов низких энергий (альбедо нейтронов), испускаемых организмом человека, подвергшегося облучению нейтронами различных энергий. Таким образом, любой детектор тепловых нейтронов, размещенный на поверхности тела, может служить в качестве детектора альбедо.

II.44. Альбедные дозиметры обычно представляют собой термолюминесцентные дозиметры, такие как ^{6}LiF в боросодержащих пластиковых капсулах, которые отделяют альбедо нейтроны от падающих тепловых нейтронов. Ввиду чувствительности термолюминесцентных дозиметров к фотонам показания дозы нейтронов задаются разницей между показаниями детектора для ^{6}LiF и ^{7}LiF.

II.45. Разработаны альбедные дозиметры нейтронов с высоким и почти постоянным откликом в диапазоне энергий от тепловой до 10 кэВ. Однако при энергиях выше 10 кэВ отклик быстро уменьшается [193, 194]. В полях рассеянных нейтронов было обнаружено, что относительный энергетический отклик детектора альбедо изменяется в 20 раз.

II.46. Нейтронный отклик зависит от энергетического спектра нейтронов, который может варьироваться на рабочих местах в широких пределах. Однако для внесения соответствующей поправки могут быть использованы локализованные поправочные коэффициенты при условии, что спектр нейтронов известен и остается постоянным. Альбедные дозиметры также весьма чувствительны к положению дозиметра на теле работника, поскольку они в основном обнаруживают нейтроны, покидающие организм.

II.47. Энергетическую зависимость детекторов альбедо можно скомпенсировать в дозиметрах, используемых в полях быстрых нейтронов, путем добавления детектора ядерных треков, такого как поликарбонат, для отдельного измерения быстрых нейтронов. При таком сочетании детекторов детектор альбедо служит основным детектором нейтронов, показания которого могут считываться автоматически с помощью обычного считывателя термолюминесцентного дозиметра. При этом данные детектора треков необходимо обрабатывать только в том случае, если термолюминесцентный дозиметр показывает значительное облучение.

Пузырьковые детекторы

II.48. Пузырьковый детектор состоит из трубки, в которой капли перегретой жидкости диспергированы в полимерном геле. Нейтроны, проходящие через детектор, создают протоны, которые могут оставлять в капле энергию, достаточную для превышения пороговой энергии и превращения капель в видимые пузырьки пара, которые захватываются в местах образования [195]. Количество пузырьков служит мерой дозы нейтронов. Пузырьковые детекторы нечувствительны к фотонам, имеют очень высокую чувствительность (вплоть до диапазона микрозивертов) и обладают хорошим откликом на мощность эквивалента дозы выше определенного порога энергии нейтронов, обычно около 100 кэВ. Тепловые нейтроны можно детектировать с помощью специального пузырькового детектора с диспергированным в нем ^{6}Li. Недостатками пузырькового детектора являются ограниченный диапазон энергий и доз, чувствительность к ударам и температурная зависимость, хотя имеются детекторы с температурной компенсацией. Пузырьковый детектор не требует поправочного коэффициента для конкретного рабочего места, но подсчет пузырьков является трудоемким процессом. Пузырьковый детектор является полностью пассивным устройством, которое может храниться до тех пор, пока оно не понадобится для использования. Для измерения или считывания не требуется никакого электронного устройства. Однако, если регулярно используется большое количество детекторов, для выполнения операции считывания может быть использован автоматический считыватель с компьютерным управлением.

Электронные нейтронные дозиметры

II.49. Разработаны активные индивидуальные нейтронные дозиметры [196]. Принцип их работы такой же, как принцип работы активных индивидуальных фотонных дозиметров, за исключением того, что пластиковый материал расположен перед диодами с целью конверсии нейтронов в протоны, которые затем измеряются. Введение ^{6}Li или ^{10}B может сделать дозиметр чувствительным к тепловым нейтронам. Ограничение по энергии гамма-излучения может быть введено в электронном виде с помощью задания порогового значения выделения энергии. Преимуществами активных индивидуальных нейтронных дозиметров являются возможность прямого считывания и простота в использовании. Однако в настоящее время их энергетический отклик не идеален, их чувствительность к быстрым нейтронам низка и они часто требуют введения поправочного коэффициента для конкретного рабочего места.

Дозиметры для аварий с возникновением критичности

II.50. Дозиметры для аварий с возникновением критичности представляют собой отдельный класс нейтронных дозиметров. Их функция заключается в оценке доз нейтронного излучения, полученных в случае аварии с возникновением критичности. Принципы работы дозиметров для аварий с возникновением критичности должны отличаться от принципов работы обычных нейтронных дозиметров, поскольку при аварии с возникновением критичности ожидаются высокие мощности дозы нейтронов в коротких импульсах. Дозиметры для аварий с возникновением критичности обычно содержат активационные детекторы, содержащие, например, такие элементы, как золото, кадмий, индий и сера. Дополнительные сведения содержатся в [148].

Добавление III

ПРИБОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО МЕСТА С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

III.1. Приборы для мониторинга рабочего места предназначены главным образом для предоставления информации о дозах на рабочем месте, с тем чтобы можно было принимать решения о возможности пребывания на нем. Для оценки и контроля профессионального облучения необходимо знать мощности доз в различных рабочих зонах. Это требуется в период, когда работники находятся в определенной зоне, или перед тем, как им разрешается допуск в нее. Обычно проводится мониторинг мощности дозы, хотя это может и не понадобиться в тех случаях, когда мощности дозы существенно не меняются со временем.

III.2. Стационарные или установленные приборы для мониторинга рабочего места часто оснащаются удаленными дисплеями или звуковой сигнализацией. Помимо некоторых технических отличий, их детекторы и методы работы аналогичны детекторам и методам работы портативных приборов для мониторинга рабочего места. Всеобъемлющее обсуждение методов мониторинга содержится в [197, 198].

ФОТОНЫ (ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ И РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ)

Ионизационные (ионные) камеры

III.3. Ионизационные камеры являются самой простой формой детекторов излучения и могут использоваться для детектирования излучения в различных обстоятельствах. Ионизационная камера представляет собой газонаполненный детектор. Принцип детектирования основан на измерении заряда по количеству ионных пар, созданных в газе падающим излучением. Заряд собирается путем подачи напряжения на два электрода и может быть измерен как ток (в «токовом режиме») или как напряжение (в «импульсном режиме»).

III.4. Для обеспечения пропорциональности выходного сигнала количеству энергии, выделяемой в камере, следует подавать правильное напряжение.

III.5. В переносных приборах для мониторинга и некоторых стационарных приборах используются камеры со стенками из материала с низким атомным номером, которые заполнены воздухом с атмосферным давлением. В прошлом такие камеры были разработаны для измерения облучения, но большинство их в настоящее время предназначены для измерения амбиентного эквивалента дозы H^* (10) и, зачастую, направленного эквивалента дозы H' (0,07, Ω).

III.6. Переносные приборы для использования при нормальных уровнях профессионального облучения (например, мощностях дозы порядка нескольких микрозивертов в час) обычно имеют объемы камеры в диапазоне 300–700 см^3. Стационарные приборы, предназначенные для использования там, где не ожидается бета-излучение и низкоэнергетическое фотонное излучение, часто имеют большие (порядка 5000 см^3) камеры со стальными стенками, заполненные аргоном под высоким давлением. Они имеют большой динамический диапазон, от приблизительно 0,1 мкЗв/ч и до таких высоких значений, как 1 Зв/ч.

Пропорциональные счетчики

III.7. Принцип действия пропорциональных счетчиков и ионизационных камер одинаков, но в последних для повышения чувствительности используется газовое умножение электронов путем создания между электродами более высокого напряжения. С целью оптимизации детектирования, как правило, используются благородные газы, с тем чтобы избежать образования отрицательных ионов.

III.8. В качестве импульсных детекторов могут использоваться пропорциональные счетчики, позволяющие измерять мощности дозы фотонов от 0,1 мкЗв/ч до 10 Зв/ч. Основными преимуществами имеющихся в продаже пропорциональных счетчиков являются их высокая чувствительность, широкий диапазон мощностей дозы и низкая энергетическая зависимость. Однако для достижения стабильного коэффициента умножения требуется стабильное высоковольтное питание. Это делает такие приборы значительно более дорогими, чем ионизационная камера или счетчик Гейгера-Мюллера. Пропорциональные счетчики могут использоваться в качестве детекторов с выходным режимом постоянного тока, но почти никогда не используются таким образом, поскольку сигнал пропорционального счетчика очень быстро спадает.

Счетчики Гейгера-Мюллера

III.9. В счетчиках Гейгера-Мюллера при каждом падении на детектор ионизирующей частицы сильное электрическое поле приводит к образованию над всем анодом таунсендовских лавин (каскадов электронов). Это означает, что каждое отдельное событие в счетчике Гейгера-Мюллера, независимо от энергии падающей частицы, вызывает генерацию в детекторе сигнала одинаковой амплитуды, что означает потерю всей информации об энергии поступающей частицы. Для измерения амбиентного эквивалента дозы счетчик Гейгера-Мюллера должен быть откалиброван по зависимости частоты импульсов счетчика от энергии падающих частиц.

III.10. Эффективность детектирования фотонов счетчиками Гейгера-Мюллера, как правило, составляет около 0,5%, и она по существу постоянна в широком диапазоне энергий. Это означает, что отклик при измерении амбиентного эквивалента дозы зависит от энергии. Могут быть разработаны эффективные фильтры, обеспечивают хорошие энергетические и угловые характеристики для $H^*(10)$ при энергиях выше приблизительно 50 кэВ в случае детекторов со стальными стенками и от 15 кэВ в случае детекторов с окошками в торцевой части.

III.11. Счетчики Гейгера-Мюллера часто используются для измерений в полях рентгеновского и гамма-излучения. Они генерируют импульсы большой амплитуды, которые легко подсчитывать и обрабатывать. Однако их динамический диапазон при высоких скоростях счета ограничен потерями, обусловленными мертвым временем. Гашение, как внешнее, так и внутреннее, позволяет возвратить счетчик Гейгера-Мюллера в рабочий режим. Следует следить за тем, чтобы при высоких скоростях счета показываемая по шкале мощность дозы не снижалась; это важное испытание, которое следует проводить во время типовых испытаний. Счетчики Гейгера-Мюллера лучше всего использовать для мониторинга низких уровней радиоактивного загрязнения или мощностей дозы излучения.

III.12. Использование счетчиков Гейгера-Мюллера в импульсных полях излучения, например, с некоторым оборудованием, генерирующим рентгеновское излучение, может приводить к серьезно заниженной оценке измеряемой радиационной величины. Поэтому необходимо проявлять крайнюю осторожность, когда в таких ситуациях используются счетчики Гейгера-Мюллера или даже любые детекторы со счетом импульсов.

Полупроводниковые детекторы

III.13. В полупроводниковых материалах, таких как кремний, ионизация после взаимодействия с ионизирующим излучением приводит к переходу электронов из валентной зоны в зону проводимости, где они могут свободно перемещаться по кристаллу. Для того, чтобы иметь возможность детектировать высвобожденные электроны, кристалл помещают между двумя электродами.

III.14. Поскольку ширина запрещенной зоны между валентной зоной и зоной проводимости составляет всего несколько электронвольт, выходной сигнал больше, а отношение сигнал/шум выше, чем в случае газонаполненных детекторов, для которых энергия ионизации обычно составляет около 30 эВ. Малая ширина запрещенной зоны также обеспечивает преимущество более высокого разрешения. Однако следует принимать меры, с тем чтобы избегать теплового возбуждения носителей заряда.

III.15. Мощности дозы можно измерять с помощью кремниевых диодов, используемых в качестве генераторов импульсов (при низких мощностях дозы) или в качестве генераторов фототока (при высоких мощностях дозы). Кремний имеет более высокий атомный номер, чем ткани, и поэтому необходимо как в импульсном, так и в токовом режимах предусматривать фильтр компенсации энергии, соответствующий представляющей интерес величине. Эти фильтры неизбежно ограничивают нижний энергетический порог.

Сцинтилляционные детекторы

III.16. В сцинтилляционных детекторах при взаимодействии сцинтиллятора с ионизирующим излучением происходит возбуждение электронов и испускается видимый свет. Существует два типа сцинтилляторов:

a) неорганические сцинтилляторы представляют собой щелочно-галоидные кристаллы или оксидные кристаллы, выращенные в высокотемпературных печах. Сцинтилляционные свойства обусловлены характеристиками кристаллической структуры и поэтому присутствуют только в твердом состоянии материала;

b) органические сцинтилляторы – это ароматические углеводороды, которые существуют в виде пластмасс или жидкостей. Процесс сцинтилляции может быть прослежен до уровня молекул, что означает, что данный процесс происходит независимо от физического состояния материала.

III.17. Сцинтилляторы используются в сочетании с фотоумножителем, позволяющим преобразовывать световой сигнал в электронный и усиливать его, причем этот электронный сигнал может быть относительно легко измерен.

III.18. Неорганические сцинтилляторы, такие как кристаллы NaI(Tl), широко используются в гамма-спектроскопии и позволять получать высокочувствительные детекторы. Однако их отклик в значительной степени зависит от энергии. По этой причине простые устройства не могут быть использованы для точных измерений дозиметрических величин. Однако могут применяться приборы, использующие спектрометрические методы, которые также обладают высокой чувствительностью.

III.19. При использовании для измерения мощности дозы облучения или мощности кермы в воздухе органические сцинтилляторы достаточно похожи на воздух с точки зрения их эффективного атомного числа в том смысле, что они требуют незначительной поправки на энергетическую зависимость, за исключением энергий ниже приблизительно 0,1 МэВ. Например, в антрацене отклик на единицу кермы падает, главным образом потому, что облучаются только внешние слои кристалла. Введение перед кристаллом небольшого количества материала с высоким атомным номером может частично компенсировать это падение, и имеющиеся в продаже приборы для мониторинга позволяют измерять фотоны с энергиями всего лишь 20 кэВ.

III.20. Сцинтилляционные приборы могут использоваться для измерения всех видов рентгеновского излучения и гамма-излучения [199]. Хотя электроника этих приборов позволяет сделать их общие размеры такими же, как размеры ионных камер, объем детектирования может быть значительно меньшим. Хотя часто достаточно кристалла объемом 1см^3, более высокая чувствительность более крупных кристаллов позволяет использовать их для измерения мощности дозы на уровнях природного радиационного фона.

БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЕ И ФОТОНЫ МАЛОЙ ЭНЕРГИИ

Ионизационные камеры

III.21. Можно с помощью одного детектора измерять мощности эквивалента дозы как бета-излучения (или низкоэнергетического рентгеновского излучения), так и фотонного излучения с высокой проникающей способностью. В этом случае детектор (ионизационная камера) оснащен «окном», которое может быть открыто или закрыто (см. пункт III.22). Когда оно закрыто, может быть измерена компонента с высокой проникающей способностью (т.е. фотоны с энергией выше приблизительно 20 кэВ). При открытом окне измеряют обе компоненты, а компоненту мощности эквивалента дозы с низкой проникающей способностью (бета-частицы и фотоны малой энергии) оценивают путем вычитания.

III.22. Большинство измерений бета-излучения и фотонов малой энергии выполняют с помощью небольших переносных ионизационных камер, которые также могут использоваться при радиометрических съемках рентгеновского и гамма-излучения. Одна сторона камеры содержит тонкий проводящий пластиковый лист, который покрывается при измерении фотонов («окно закрыто») куском материала, эквивалентным 1 см ткани. Этот покрывающий материал при измерении бета-излучения удаляют [200]. Еще один тип дозиметра бета-излучения является полностью тонкостенным. Такая камера может не подходить для измерения направленного эквивалента дозы.

III.23. Стенки ионизационной камеры, используемой для измерения бета-излучения, должны быть изготовлены из материалов, аналогичных по составу тканям. Однако точный состав при измерении бета-излучения не так важен, как в случае ионных камер для измерения рентгеновского излучения или гамма-излучения. В случае измерения бета-излучения функция стенок заключается лишь в имитации поглощения телом и обратного рассеяния от него.

Счетчики Гейгера-Мюллера

III.24. Для детектирования бета-излучения также используются счетчики Гейгера-Мюллера с тонкими стенками или тонкими окошками. Если счетчик снабжен крышкой достаточной толщины, чтобы остановить бета-излучение, разница между показаниями с крышкой и без нее может быть использована

для того, чтобы различать бета-излучение и гамма-излучение (включая тормозное излучение). Детекторы Гейгера-Мюллера с тонкими окошками, в частности, могут обладать приемлемой энергетической зависимостью для мониторинга мощности дозы бета-излучения на рабочем месте, и они обладают дополнительным преимуществом, заключающимся в том, что они имеют небольшие размеры и способны детектировать относительно низкие мощности дозы.

Полупроводниковые детекторы

III.25. Полупроводниковые детекторы, работающие в режиме среднего значения тока, могут использоваться для измерения высоких мощностей дозы. Тонкий детектирующий слой делает их пригодными для дозиметрии бета-излучения. При измерении бета-излучения и фотонного излучения малой энергии для оценки H' (0,07, Ω) подходят кремниевые диоды с тонким чувствительным слоем. Однако их отклик на гамма-излучение выше, чем их отклик на бета-излучение, поскольку эффективный атомный номер детектора слишком высок. Такие детекторы обычно не используются для измерения мощности дозы бета-излучения и фотонов малой энергии в практической радиационной защите.

Сцинтилляционные детекторы

III.26. Хороший монитор мощности дозы H'(0,07, Ω) бета-излучения может быть получен с использованием тонкого (3–4 мг/см^2) сцинтиллятора, покрытого светонепроницаемым пластмассовым окном аналогичной толщины. Его можно использовать в режиме счета импульсов при низких мощностях дозы, когда он ведет себя аналогично детектору Гейгера-Мюллера, или в токовом режиме при высоких мощностях дозы.

НЕЙТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Приборы для радиометрического обследования на базе замедлителей

III.27. Приборы для радиометрического обследования на базе замедлителей являются наиболее распространенными приборами для мониторинга нейтронных полей [186, 201]. Они состоят из водородного замедлителя, который замедляет нейтроны и детектирует термализованные нейтроны с помощью таких детекторов, как пропорциональные счетчики, заполненные трифторидом бора (BF_3) или газообразным ^{3}He, или

сцинтилляторы на ^{6}LiI. Нейтроны детектируются посредством реакций $^{10}B(n, \alpha)^{7}Li$, $^{3}He(n, p)^{3}H$ или $^{6}Li(n, \alpha)^{3}He$, характеристики которых позволяют достичь хорошего разделения с гамма-излучением. Посредством выбора надлежащей толщины замедляющего экрана или изменения толщины стенки, а также газовой смеси и давления, можно скорректировать отклик на нейтронное излучение таким образом, чтобы получить выходной сигнал, приблизительно пропорциональный мощности эквивалента дозы. Оценочная нейтронная спектрометрия может быть реализована путем математического анализа откликов для набора сфер из замедлителя различных диаметров (описание см. в [202]). Отклики для нескольких нейтронных дозиметров с замедлителем на рабочие поля нейтронного излучения приведены в [203].

III.28. Путем термализации нейтронов в водородном замедлителе в 1960-х годах был разработан прибор с приблизительно энергетически независимым откликом на мощность эквивалента дозы для нейтронов с энегией до 10 МэВ [204]. В этом приборе используется пропорциональный счетчик с BF_3, окруженный перфорированным кадмиевым экраном в цилиндрическом замедлителе, и ему присуща определенная анизотропия отклика (в два раза или более). Эта анизотропия была в значительной степени преодолена с помощью сферического замедлителя из полиэтилена диаметром 20–30 см, но за счет энергетического отклика. В качестве альтернативы пропорциональным счетчикам на BF_3 использовались такие детекторы, как сцинтилляторы на ^{6}LiI и пропорциональные счетчики с ^{3}He. Основная характеристика всех этих приборов – чрезмерный отклик на нейтроны промежуточных энергий.

III.29. Еще в одном приборе [205] используются две замедляющие сферы (диаметром 107 мм и 64 мм) в одном корпусе. Он весит 3 кг и обеспечивает измерение мощности эквивалента дозы в диапазоне от 30 мкЗв/ч до 100 мЗв/ч с энергетическим откликом ±30% в диапазоне энергий от тепловой до 10 МэВ. Отклик большей сферы корректируют с использованием соотношения скоростей счета в двух сферах, которое варьируется от 0,15 до 0,8 для наблюдаемых нейтронных спектров. Корректировка — которая варьируется от 1 до 30 в этом диапазоне — автоматически выполняется в приборе.

Ионизационные камеры

III.30. Ионизационные камеры были впервые разработаны для измерения облучения, обусловленного рентгеновским излучением и гамма-излучением. При введении водорода в стенки и газ ионизационные камеры могут быть сделаны более чувствительными к нейтронному излучению. Однако они также чувствительны к фотонам, и поэтому необходимо предусмотреть вторую камеру, которая относительно нечувствительна к нейтронам (например, с графитовыми стенками и газовой смесью из диоксида углерода, или с алюминиевыми стенками и газообразным аргоном) для внесения поправки на гамма-излучение, которое всегда связано с нейтронным излучением. Такие ионизационные камеры измеряют не мощность эквивалента дозы, а поглощенную дозу нейтронного излучения.

III.31. Поскольку отклик ионизационной камеры на гамма-излучение на единицу дозы аналогичен отклику на нейтронное излучение, невозможно эффективно различать эти два типа излучения с помощью одной камеры. Однако ионизационные камеры могут быть использованы там, где нет необходимости проводить различие между вкладами гамма-излучения и нейтронного излучения в поле излучения. Можно сделать стенку ионизационной камеры из материала, близкого к тканеэквивалентному, и заполнить детектор газом, близким к тканеэквивалентному. В этом случае поглощение энергии в детекторе имитирует поглощение энергии в ткани, независимо от вида излучения. Эти ионизационные камеры работают в режиме пропорционального счетчика. Такие тканеэквивалентные пропорциональные счетчики в основном используются с низким давлением газа и, таким образом, могут использоваться для микродозиметрических целей, но они также полезны в качестве мониторов окружающей среды.

Другие нейтронные приборы

Пропорциональные счетчики протонов отдачи

III.32. Пропорциональные счетчики протонов отдачи обычно облицованы полиэтиленом и заполнены либо этиленом (C_2H_4), либо циклопропаном (C_3H_6) с давлением порядка 100 кПа. Толщина стенки выбирается на основе расчетов соотношения энергии и диапазона, с тем чтобы система удовлетворяла требованиям принципа Брэгга-Грея. Для получения спектра падающих нейтронов могут быть математически проанализированы спектры протонов отдачи. Затем эта спектральная информация может

быть использована для определения амбиентного эквивалента дозы. Практический диапазон энергий для этих систем составляет от около 10 кэВ до 1,5 МэВ.

Пропорциональные счетчики Росси

III.33. Тканеэквивалентные пропорциональные счетчики могут быть использованы для измерения, помимо дозы, линейной передачи поглощенной энергии. Затем линейная передача энергии (ЛПЭ) может быть использована для определения среднего коэффициента качества излучения Q с использованием соотношения Q–LET, установленного МКРЗ (см. пункт 2.34 и [3]). Далее его можно учесть в электронике прибора. Таким образом, доза может быть преобразована в индивидуальный эквивалент дозы. Эти приборы могут также использоваться для измерений в смешанных полях излучения.

Сцинтилляционные детекторы

III.34. Органические сцинтилляционные детекторы реализуют потенциально простой метод нейтронной дозиметрии и спектрометрии, поскольку они могут быть изготовлены из тканеэквивалентных материалов и малы по объему. Однако имеются два существенных недостатка. Во-первых, эффективность сцинтилляции при генерации света невысока, и для получения фотоэлектрона на первом каскаде фотоумножителя как правило, требуется энергия 1–2 кэВ. Во-вторых, они обладают высокой чувствительностью к гамма-излучению. Они требуют примерно в три раза больше энергии для получения фотоэлектрона от протона отдачи, чем от гамма-фотона, и в десять раз больше энергии в случае альфа-частицы. Однако для того, чтобы отделить события, связанные с тяжелыми заряженными частицами, от событий, связанных с электронами, можно использовать дискриминацию по форме импульса. Существует также нелинейная зависимость между энергией протона отдачи и амплитудой светового импульса, но это может быть скорректировано в нейтронном спектрометре при математическом анализе. Эти ограничения сужают энергетический диапазон детектора приблизительно до 0,2-20 МэВ.

Полупроводниковые детекторы

III.35. Полупроводниковые детекторы обычно основаны на кремнии или германии и не используются непосредственно для нейтронных измерений. Однако они могут быть использованы в нейтронных спектрометрах для

измерения вторичных частиц, таких как протоны, тритоны и альфа-частицы, полученные в конвертерных фольгах из бората лития, бора, ^{6}LiF, полиэтилена и поликарбоната. Они малы и чувствительны — например, выход ионизации примерно в десять раз больше, чем в ионизационных камерах — и их плотность примерно в тысячу раз превышает плотность газа в камере.

Добавление IV

БИОКИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

IV.1. Поступление радионуклидов в организм может происходить различными путями, а именно ингаляционным, пероральным путем, посредством инъекций и путем кожной абсорбции (через неповрежденную кожу или через рану). В случае профессионального облучения основным путем поступления является ингаляционный. Однако небольшая часть материала, осаждаемого в дыхательных путях, переносится в горло посредством биения ресничек и проглатывается, создавая возможность его абсорбции в желудочно-кишечном тракте. Часть поступающих пероральным путем радионуклидов всасывается в кровь. Поступление может также происходить непосредственно пероральным путем или, для некоторых радионуклидов, путем абсорбции через неповрежденную кожу. Повреждение кожи в виде порезов или других ран также может приводить к поступлению радионуклидов в организм. Пути поступления радионуклидов в организм, последующих переносов в организме и выведения из организма схематически показаны на рис. 6.

IV.2. Поступление, поглощение, внутренний перенос и выведение радионуклидов могут быть описаны с помощью компартментных моделей. МКРЗ разработала конкретные модели для работников, подвергающихся профессиональному облучению.

IV.3. Биокинетические модели пищеварительного тракта и дыхательных путей используются для определения поступления радионуклидов в организм и их перемещения в организме, приводящего к абсорбции в кровь и/или выведению радионуклидов из организма. Поведение радионуклидов, всасываемых в кровь, описывается с помощью системных моделей конкретных элементов, которые варьируются по сложности.

IV.4. Эти модели предназначены как для получения дозовых коэффициентов, так и для интерпретации данных биопроб и могут применяться для регулирующего контроля рабочего места. Ниже приведен общий обзор моделей, используемых при установлении дозовых коэффициентов для поступлений радионуклидов в организм. Дополнительные сведения и информация содержатся в справочных материалах к настоящему руководству.

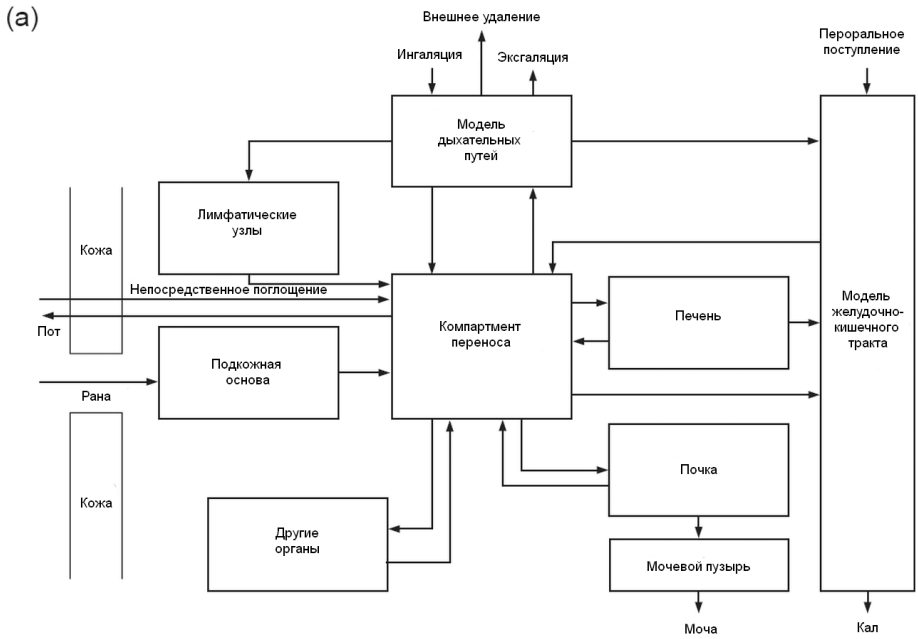


РИС. 6. Пути поступления радионуклидов в организм, переносов в организме и выведения из организма [13].

МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПУТЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ В ОРГАНИЗМ

Ингаляционное поступление

IV.5. Поведение радионуклидов, вдыхаемых работниками, описано в [133] в модели дыхательных путей человека. Руководящие материалы по использованию модели дыхательных путей человека приведены в [206].

IV.6. В модели дыхательных путей человека осаждение и выведение вдыхаемых радионуклидов рассматриваются по отдельности. В ней рассчитываются дозы в конкретных тканях дыхательных путей и учитываются различия в радиочувствительности тканей.

IV.7. Дыхательные пути человека представлены двумя тканями: внегрудными дыхательными путями и грудными дыхательными путями. Внегрудные дыхательные пути разделены на две области, одна из которых соответствует переднему носовому ходу, а другая – заднему носовому ходу,

глотке и гортани. Грудные области – это бронхиальная, бронхиолярная и альвеолярно-интерстициальная, газообменная область. Лимфатические ткани связаны как с внегрудными дыхательными путями, так и грудными дыхательными путями. В модели указаны эталонные значения размеров и коэффициенты масштабирования.

IV.8. Осаждение вдыхаемых частиц рассчитывается для каждой области дыхательных путей с учетом как вдоха, так и выдоха. Его расчет производится с учетом размера частиц, параметров дыхания или рабочей нагрузки, и предполагается, что оно не зависит от химической формы. Возрастозависимые параметры осаждения по умолчанию приведены для диапазона размеров частиц с аэродинамическим медианным по активности диаметром (АМАД) от 0,6 нм до 100 мкм.

IV.9. Для ингаляционного поступления радионуклидов в организм работников стандартными субъектами считаются лица, обычно дышащие носом и выполняющие легкую работу. Для простоты, осаждение в дыхательных путях и выведение из них рассчитывают только для стандартного взрослого мужчины. АМАД 5 мкм считается наиболее подходящим размером частиц по умолчанию для радионуклидов на рабочем месте [135], тогда как АМАД 1 мкм используется в качестве значения по умолчанию для лиц из населения.

IV.10. Выведение из дыхательных путей рассматривается как два конкурирующих процесса: перенос частиц (путем мукоцилиарного клиренса или транслокации в лимфатические узлы); и абсорбция в кровь. Большая часть осажденного материала, который не всасывается в кровь, выводится в желудочно-кишечный тракт посредством транспорта частиц. Небольшие количества, переносимые в лимфатические узлы, продолжают абсорбироваться в биологические жидкости с той же скоростью, что и в дыхательных путях.

IV.11. Модель дыхательных путей человека относит газы и пары к трем стандартным классам растворимости и реактивности на основе первоначальной структуры осаждения в дыхательных путях. Последующее удержание в дыхательных путях и абсорбция в жидкостях организма определяются химическими свойствами газов или паров.

IV.12. Модель дыхательных путей человека использовалась для расчета представленных в [130] и таблице III.2A документа GSR Part 3 [2] дозовых коэффициентов при ингаляционном поступлении радионуклидов у работников, а также для расчета функций анализа биопроб, представленных в [13].

IV.13. МКРЗ недавно разработала пересмотренный вариант модели дыхательных путей человека [16]. Пересмотренный вариант имеет некоторые упрощения и изменения как в структуре модели, так и в значениях ее параметров, однако основные характеристики модели остаются неизменными. Изменения основываются главным образом на опыте, накопленном в области применения модели, и на новых оценках имеющихся наборов экспериментальных данных. Новые дозовые коэффициенты и функции биопроб для работников на основе этой обновленной модели приведены в [16].

Пероральное поступление

IV.14. Поведение радионуклидов при пероральном поступлении у работников описано в [207] в модели, основанной на четырех компартментах желудочно-кишечного тракта, представляющих желудок, тонкую кишку, верхнюю толстую кишку и нижнюю толстую кишку. Среднее время пребывания в каждом из четырех компартментов составляет соответственно 1, 4, 13 и 24 часа. Поглощение в кровь происходит из тонкой кишки и определяется значениями фракционного поступления (f_1).

IV.15. Эта модель формирует основу для расчета представленных в [130] и таблице III.2A документа GSR Part 3 [2] дозовых коэффициентов при пероральном поступлении радионуклидов у работников, а также для интерпретации данных анализа биопроб в [13].

IV.16. Новая модель поведения радионуклидов при пероральном поступлении, модель пищеварительных путей человека, была разработана и описана в [208]. Эта модель включает большее количество участков, а именно полость рта, пищевод, желудок, тонкую кишку, правую толстую кишку, левую толстую кишку и ректосигмовидную кишку, и учитывает абсорбцию элемента и его радиоизотопов в кровь из нескольких отделов желудочно-кишечного тракта. Суммарное фракционное поглощение поступающих пероральным путем радионуклидов обозначается символом f_A. Однако общее предположение, которое справедливо почти для всех радионуклидов, заключается в том, что абсорбция происходит исключительно в тонкой

кишке (т.е. значение f_A равно фракционному поглощению радионуклидов из тонкой кишки). Кроме того, структура модели учитывает ретенцию поступающих пероральным путем радионуклидов в слизистых тканях стенок участков пищеварительного тракта и на зубах.

IV.17. Новые дозовые коэффициенты и рекомендации по интерпретации данных анализа биопроб на основе этой новой модели пищеварительных путей человека были недавно опубликованы МКРЗ [16].

Поступление через раны

IV.18. Хотя большая часть радиоактивного материала может удерживаться в месте раны, растворимый материал может переноситься в кровь и, следовательно, к другим частям тела. Нерастворимый материал медленно перемещается в регионарную лимфатическую ткань, где постепенно растворяется и в конечном итоге попадает в кровь. Некоторая часть нерастворимого материала может оставаться в месте раны или в лимфатической ткани до конца жизни индивидуума. Если твердые частицы поступают непосредственно в кровь, они осаждаются главным образом в фагоцитарных клетках печени, селезенки и костного мозга.

IV.19. Для нерастворимых радионуклидов, удерживаемых в месте раны, наиболее подверженными облучению тканями будут ткани вокруг раны. Следует в консультации с врачом по гигиене труда рассмотреть вопрос об иссечении местных тканей, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Для этого необходимо точно определить изменение радиоактивного загрязнения с глубиной в месте раны. Поглощенную дозу в месте раны и в регионарных лимфатических узлах можно оценить по активности, оставшейся после иссечения, характеристикам содержащихся радионуклидов, массе облученной ткани и времени с момента облучения. Если материалы растворимы, они могут перемещаться из места раны в кровь со скоростью, зависящей от их растворимости. Распределение этого растворимого компонента в большинстве случаев будет аналогичным распределению материала, поступающего в кровь из легких или из желудочно-кишечного тракта, но могут быть исключения для некоторых химических форм радионуклидов, которые поступают непосредственно в кровь.

IV.20. Дозовые коэффициенты для инкорпорирования радионуклидов через раны рассчитаны для 38 радионуклидов [209] с использованием раневой модели [210] в сочетании с системными моделями, используемыми для расчета дозовых коэффициентов для работников [130].

Поступление через неповрежденную кожу

IV.21. Некоторые радиоактивные вещества, такие как меченые тритием соединения, органические соединения углерода и соединения йода, могут проникать через неповрежденную кожу. Часть активности попадет в кровь, но нет общей модели оценки доз, и необходимо разработать конкретные модели [211]. Например, поведение тритиированных органических соединений после прямой абсорбции через кожу будет значительно отличаться от их поведения после ингаляционного или перорального поступления. При загрязнении кожи следует учитывать как эквивалентную дозу в области загрязнения кожи, так и эффективную дозу.

МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

IV.22. Системная биокинетическая модель описывает зависимое от времени распределение и удержание радионуклида в организме после его поступления в системное кровообращение и его выведение из организма. Системные биокинетические модели, используемые в [207], имели относительно простую структуру, которая включала прохождение материала из системной циркуляции в выбранные ткани и органы, а затем непосредственно в экскрецию. В [212–215] были разработаны физиологически обоснованные возрастные модели для некоторых радионуклидов. Эти модели включали возможность рециркуляции осажденных радионуклидов и более реалистичное описание путей экскреции.

IV.23. Эти системные биокинетические модели вместе с моделью дыхательных путей человека формируют основу для расчета представленных в [130] и таблице III.2A документа GSR Part 3 [2] дозовых коэффициентов при поступлении радионуклидов у работников, а также для интерпретации данных анализа биопроб в [13].

IV.24. С тех пор была проведена дальнейшая разработка системных биокинетических моделей [16], что привело к определению модельных структур с повышенным физиологическим реализмом по сравнению с

описанными в предыдущих публикациях МКРЗ. Схема физиологически описательного моделирования применялась более широко, и в некоторых случаях была незначительно изменена структура модели. Кроме того, был пересмотрен подход к моделированию радиоактивных дочерних продуктов. Общее предположение до настоящего времени заключалось в том, что дочерние продукты демонстрируют такое же биокинетическое поведение, как и исходный элемент, за исключением, в случае дочерних продуктов, которые являются изотопами свинца, радия или тория, иодных дочерних продуктов теллура и изотопов инертных газов, образующихся в различных цепочках распада. В пересмотренных моделях отдельная системная биокинетика была применена к исходному элементу и его дочерним продуктам. Эти пересмотренные системные биокинетические модели были использованы при разработке пересмотренных дозовых коэффициентов и рекомендаций по интерпретации данных биопроб и были недавно опубликованы МКРЗ [16].

Добавление V

МЕТОДЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ВНУТРЕННЕГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ

V.1. Прямое измерение распределения и общего содержания в организме одного или нескольких инкорпорированных радионуклидов возможно в тех случаях, когда радионуклид испускает проникающее излучение (обычно рентгеновское или гамма-излучение и, в особых случаях, тормозное излучение) с энергией и интенсивностью, достаточными для его детектирования вне организма. Для большинства применений со счетом in vivo детекторы фотонов располагают в определенных местах вокруг тела, обычно с наименьшим частичным экранированием детектора или обследуемого лица с целью уменьшения помех от внешних источников в окружающей среде. Счетчики низкого уровня радиоактивности всего тела располагают в экранированных счетных камерах.

V.2. Как правило, интерпретация прямых измерений с точки зрения поступления и оценки ожидаемой эффективной дозы основывается на биокинетическом моделировании распределения и удержания инкорпорированных радионуклидов и на биофизическом моделировании поглощения энергии. Оба эти аспекта могут заметно варьироваться с течением времени и между различными людьми.

Геометрии измерений

V.3. Для конкретных целей был разработан ряд схем физического расположения детекторов. Для радионуклидов, которые распределены по всему организму, радиометрия всего тела или большой части тела обеспечивает наибольшую чувствительность. Радиометрию всего тела осуществляют либо с использованием статической геометрии с одним или несколькими детекторами, либо путем сканирования – перемещения обследуемого лица относительно неподвижных детекторов или перемещения детекторов вокруг неподвижного обследуемого лица. Статические геометрии обычно предусматривают систему детекторов, распределенных вдоль стоящего или лежащего на спине обследуемого

лица, или один детектор, направленный к центру тела обследуемого лица на наклонном кресле или изогнутой раме. Некоторые примеры геометрий счета показаны на рис. 7.

V.4. Для других радионуклидов, которые по крайней мере временно сконцентрированы в определенных тканях или органах организма, следует проводить мониторинг конкретных участков тела. Примерами являются радиойод, который поглощается щитовидной железой, и вдыхаемые радиоактивные частицы, которые удерживаются в легких. Для накапливающихся в костях радионуклидов, которые излучают

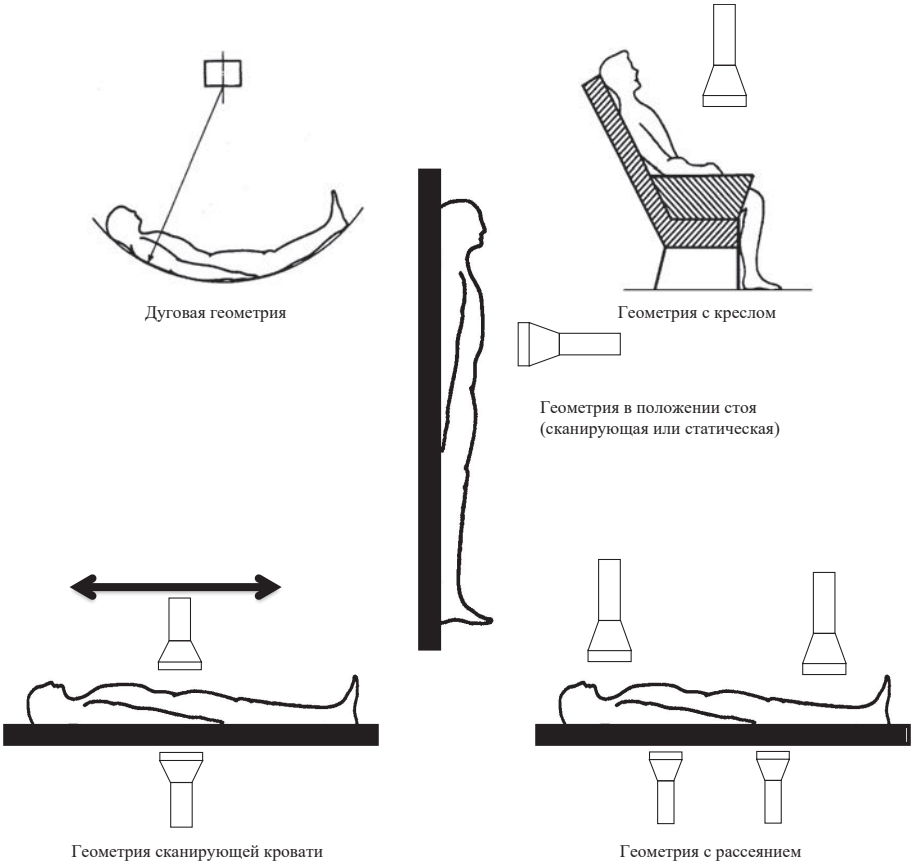


РИС. 7. Различные геометрии, используемые при радиометрии всего тела.

низкоэнергетические фотоны, такие как ^{241}Am и изотопы плутония и урана, измерения следует проводить на костях, окруженных тонким слоем тканей, таких как колено или череп [216, 217].

V.5. Локализованный мониторинг также следует проводить, когда поступление происходит через рану или когда есть другие причины для определения распределения радионуклидов в организме. Радиометрия всего тела вряд ли не сможет полностью обнаружить значительное количество локализованной активности, но она может не дать точной оценки количества или хорошей информации о ее пространственном распределении. Применение фантомов и их ограничения описаны в [218].

V.6. Во всех случаях метод должен заключаться в сравнении сигнала, измеренного от обследуемого лица, с сигналом, полученным в тех же условиях от антропоморфного фантома или другого суррогата, содержащего известные количества рассматриваемого радионуклида. Распределение радионуклида в калибровочном фантоме должно максимально соответствовать распределению, ожидаемому у обследуемого лица, хотя некоторые методы измерения более чувствительны к этому распределению, чем другие. Системы мониторинга in vivo могут также быть охарактеризованы и откалиброваны с помощью методов Монте-Карло, специально разработанных для этой цели [219, 220].

Методы детектирования

V.7. Для различных целей используются различные системы детектирования. Неорганические кристаллы материалов с высоким атомным номером, обычно это активированный таллием йодид натрия (NaI(Tl)), широко используются для детектирования фотонов высокой энергии (выше 100 кэВ), таких как фотоны, испускаемые многими продуктами деления и активации. Сцинтилляции, вызываемые взаимодействием кристалла с фотонами высокой энергии, детектируются фотоумножителями. Они генерируют электронные импульсы, которые обрабатываются с получением спектра, отражающего спектр излучения, поглощенного кристаллом.

V.8. Измерительная система этого типа представляет наиболее чувствительный метод количественного определения содержания радиоактивных веществ в организме. Однако энергетическое разрешение детекторов ограничено, так что даже методы деконволюции могут не позволять определить радионуклиды, приводящие к образованию сложного

спектра, такого как спектр из свежей смеси продуктов деления, или в присутствии различного фона, такого как фон, обусловленный радоном и его дочерними продуктами.

V.9. Полупроводниковые детекторы обладают существенными преимуществами в плане разрешения по энергии и поэтому позволяют почти однозначно идентифицировать радионуклиды в смеси, но они неудобны в том, что они требуют охлаждения до температур жидкого азота. Детекторы на основе высокочистого германия могут выдерживать циклы до комнатной температуры и требуют охлаждения только во время работы. Электрически охлаждаемые криостаты или механические охладители позволяют работать с германиевыми детекторами без необходимости использования жидкого азота. Более низкая эффективность этих детекторов по сравнению с неорганическими кристаллами и другими сцинтилляторами более чем компенсируется более низким фоновым сигналом и улучшенным энергетическим разрешением.

V.10. Фотоны низкой энергии, такие как те, которые излучаются ^{239}Pu (13–20 кэВ) и ^{241}Am (60 кэВ), могут детектироваться с помощью тонких кристаллов NaI(Tl), которые имеют такую же эффективность детектирования, как более крупные кристаллы, но гораздо более низкий фон. Добавление второго кристалла, обычно активированного таллием йодида цезия (CsI(Tl)), в качестве средства защиты от совпадений улучшает чувствительность детектирования, устраняя вклад фотонов высокой энергии. Такое устройство, которое обычно называют фосвич-детектором (люминисцентным сэндвичем), способно снизить предел детектирования этих фотонов более чем на порядок. Группы планарных детекторов на основе высокочистого германия все чаще используются для детектирования фотонов низкой энергии ввиду их высокого разрешения и низкого фона. При счете фотонов низкой энергии (с использованием, например, фосвич-детекторов или детекторов на основе высокочистого германия) при определении эффективности детектирования следует учитывать толщину находящейся выше ткани.

V.11. Становятся все более доступными миниатюрные полупроводниковые детекторы, в частности детекторы на основе теллурида кадмия (CdTe), которые работают при комнатной температуре. Детекторы на основе CdTe обеспечивают высокую чувствительность детектирования фотонов низкой энергии. Их небольшие размеры (диаметр приблизительно 10 мм и толщина 2 мм) делают их идеальными для мониторинга локализованных ран. Их дополнительные преимущества заключаются в том, что нет необходимости

окружать работника защитным экраном и что возможна быстрая оценка успешности хирургической процедуры иссечения. Однако эти небольшие детекторы не подходят для идентификации и количественного определения радионуклидов с помощью спектрометрии.

V.12. При создании усовершенствованной установки для мониторинга in vivo, как правило, следует использовать различные системы детектирования, подходящие для конкретных радионуклидов, которые представляют интерес.

Процедуры измерения

V.13. Обследуемые лица, подлежащие прямым измерениям, должны не иметь внешнего поверхностного радиоактивного загрязнения и быть в свежей одежде, такой как одноразовая бумажная одежда. Личные вещи, такие как ювелирные изделия, часы и очки, следует удалять. Такие меры предосторожности помогают избежать ложной идентификации внутренней активности, а также предотвращают перенос радиоактивного загрязнения на счетное оборудование. Индивидуумам следует, насколько это практически осуществимо, находиться в определенном положении счета для обеспечения воспроизводимости результатов серийных измерений и улучшения сравнения с результатами калибровки. В некоторых случаях для достижения удовлетворительной точности измерения обследуемому лицу необходимо оставаться неподвижным в течение периодов времени до часа. Следует предусматривать определенные средства связи для обследуемых лиц, находящихся за защитным экраном, особенно в тех случаях, когда необходимы длительные периоды счета.

V.14. Фоновый счет, возникающий в детекторах, обычно связан с четырьмя источниками:

a) фоновым излучением окружающей среды от природных источников, таких как космическое излучение или радон и продукты его распада;
b) фоновым излучением, обусловленным активностью в защитном экране и другом оборудовании;
c) излучением, обусловленным природной радиоактивностью обследуемого лица;
d) рассеянным излучением, поступающим в детектор вследствие взаимодействия обследуемого лица с излучением в окружающей среде.

V.15. Для счетных систем, основанных на счете сцинтилляций (кристаллы NaI(Tl) или фосвич-детекторы), фоновый счет детекторной системы следует определять с использованием соответствующего фантома, который максимально аналогичен обследуемому посредством счета лицу и помещается в определенное положение счета. Уровень фона может быть значительно снижен за счет правильной конструкции и надлежащего экранирования объема (т.е. облицованного сталью помещения), в котором производится радиометрия обследуемого лица с целью определения внутреннего радиоактивного загрязнения. При радиометрии всего тела выявление фонового счета, определенного с использованием не имеющих радиоактивного загрязнения обследуемых лиц и с учетом их пола, роста и веса, позволит улучшить результаты. Однако точное сопоставление окажется невозможным, а такие факторы, как содержание ^{40}K, не могут быть проконтролированы. Таким образом, лучшие результаты могут быть получены от согласованных контрольных групп или от измерений на конкретном индивидууме, проведенных перед началом работы. Измерения фона в счетчике следует проводить как можно ближе во времени к измерению обследуемого лица, в идеале непосредственно перед измерением и сразу после него. При использовании полупроводниковых детекторов счет фона с совпадающими фантомами не требуется.

КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ

V.16. Косвенный мониторинг основан на определении концентраций активности в биологических материалах, отделенных от организма — обычно моче, кале, выдыхаемом воздухе или крови — или в физических пробах, взятых из рабочей среды, таких как пробы воздуха или пробы радиоактивного загрязнения с поверхностей.

V.17. Косвенные методы следует использовать для тех радионуклидов, которые не испускают какого-либо существенного излучения с высокой проникающей способностью. Для некоторых других радионуклидов, таких как те, которые испускают только фотоны малой энергии или которые предпочтительно выводятся при экскреции, нечувствительность и неопределенность измерения при непосредственном мониторинге могут быть такими, что более надежную оценку поступления может обеспечивать косвенный метод. В других случаях косвенные методы могут быть более практичными, чем непосредственный мониторинг, и могут быть достаточно точными.

V.18. Информация о наиболее подходящих методах измерения биопроб для всех радионуклидов, представляющих общий интерес с точки зрения профессионального облучения, приведена в [13]. Эта информация была недавно обновлена [16].

Биологические пробы

V.19. Биологическими пробами, наиболее часто используемыми для оценки поступления, являются моча и фекалии, но в особых случаях используются пробы выдыхаемого воздуха, крови и другие пробы. Например, анализ активности в выдыхаемом из носа воздухе или в мазке из носа обеспечивает раннюю оценку характера и относительных уровней радионуклидов в смеси, поступающей в дыхательный тракт. Однако в этом случае зависимость между концентрацией активности в пробе и поступлением является настолько неопределенной, что такие данные могут служить лишь приблизительным показателем размера поступления.

V.20. Выбор биопробы будет зависеть не только от основного пути экскреции, определяемого физико-химической формой поступления и биокинетической моделью для рассматриваемых элементов, но и от таких факторов, как легкость забора проб, анализа и интерпретации. Пробы мочи относительно легко получать и анализировать. Они, как правило, дают информацию о поступлении радионуклидов в химической форме, которые легко переносятся в кровь. Напротив, поступление нерастворимого материала обычно оценивается по пробам кала.

Моча

V.21. После поступления радионуклидов в кровь и их циркуляции в системе кровообращения выведение их из организма, как правило, происходит с мочой. Моча содержит отходы и другие материалы, в том числе воду, которая отфильтровывается почками из крови и собирается в мочевой пузырь в течение нескольких часов или более перед его опорожнением. Из-за такого смешивания в мочевом пузыре уровни радионуклидов в пробах мочи, полученных вскоре после острого поступления, следует интерпретировать с осторожностью. Мочевой пузырь следует опорожнять вскоре после поступления, а затем следует произвести взятие второй и последующих проб. Все пробы следует анализировать.

V.22. По истечении первых нескольких дней 24-часовые пробы мочи обычно служат наилучшей основой для оценки поступления. В обстоятельствах, когда 24-часовые пробы не были получены, общая экскреция может быть оценена путем нормализации относительно содержания креатинина, времени взятия (т. е. продолжительности фактического интервала отбора проб), объема и удельного веса [221, 222]. В [223] сообщается, что методы, основанные на креатинине и нормализации удельного веса, не обеспечивают повышенной уверенности в нормализации по времени или объему и требуют дополнительных измерений (и затрат) для участвующих лабораторий.

V.23. При текущем мониторинге радионуклидов с быстрыми компонентами экскреции следует рассмотреть вопрос о дне взятия проб, поскольку могут существовать значительные различия между пробами, взятыми до и после даже коротких периодов, свободных от облучения.

V.24. Для поступлений насыщенной тритием воды концентрация трития в моче такая же, как и в воде в организме, и ее можно использовать для оценки содержания в организме и мощности дозы без ссылки на модель экскреции. Метод оценки дозы для поступлений насыщенной тритием воды приведен в приложении VI документа [224].

Кал

V.25. Пробы кала содержат воду, продукты распада клеток, отделившиеся от стенки желудочно-кишечного тракта, неабсорбированные отходы, транспортируемые через желудочно-кишечный тракт, включая нерастворимые материалы, выведенные из легких, и метаболические продукты, выведенные из печени в желчи. Масса и состав индивидуальных фекальных выделений могут быть весьма различными и сильно зависят от рациона. По этой причине надежные оценки суточной скорости фекальной экскреции радионуклидов, как правило, могут быть основаны только на суммарных сборах за 3–4 суток. Одиночные пробы в большинстве случаев следует использовать только для целей скрининга.

V.26. При наблюдении за работниками, хронически подвергающимися облучению от долгоживущих радионуклидов, отбор проб кала в идеале следует производить после отпуска (по крайней мере 10 суток отсутствия на работе) и до возвращения в рабочую среду. Такие измерения после отпуска позволяют проводить различие между фракцией вдыхаемых

радионуклидов, быстро удаляемых через желудочно-кишечный тракт, и замедленным выведением системной активности и долгосрочных отложений нерастворимых форм радионуклидов в легких.

Выдыхаемый воздух

V.27. Дыхание является важным путем экскреции только для тех немногих материалов, которые выдыхаются непосредственно или метаболизируются в газы или летучие жидкости. Однако для этих случаев пробы выдыхаемого воздуха могут являться удобным способом измерения активности экскреций, свободных от большинства других источников радиоактивного загрязнения.

V.28. Измерение ^{220}Rn в выдыхаемом воздухе использовалось в различных государствах для определения поступления тория у работников, участвующих в добыче и переработке торийсодержащих полезных ископаемых [225–230]. ^{220}Rn, содержащийся в выдыхаемом воздухе, используется в качестве меры ^{224}Ra и, следовательно, ^{232}Th, присутствующих в легких. Активность выдыхаемого ^{220}Rn выражается как активность свободно эманирующего исходного элемента ^{224}Ra, которая поддерживала бы концентрацию ^{220}Rn, измеренную во рту обследуемого лица. Данный метод является относительно недорогим и портативным способом обнаружения умеренных уровней ингалируемого тория в организме. Сообщается о двух основных методах измерения ^{220}Rn в выдыхаемом воздухе:

a) первый способ, как описано, например, в [225, 229], основан на системе «двойного фильтра». Воздух из легких выдыхается в цилиндр, снабженный фильтрами на обоих концах. Выдыхаемый ^{220}Rn распадается во время его перемещения, и дочерние продукты собираются на выходном фильтре. После задержки на 5 ч для того, чтобы дочерние продукты могли подвергнуться распаду, альфа-активность на фильтре измеряют путем счета альфа-излучения;
b) второй способ, как описано, например, в [227, 231], основан на электростатическом сборе дочерних продуктов ^{220}Rn, ^{212}Pb, 85–88% которых заряжены положительно, на отрицательно заряженный майларовый диск. После периода сбора можно посредством спектрометрии альфа-излучения низкого уровня измерить альфа-распады [228].

V.29. Одним из недостатков метода измерения ^{220}Rn в выдыхаемом воздухе является то, что измерения должны проводиться после перерыва в любой работе, связанной с облучением от тория после поступления, с тем чтобы учесть клиренс активности в верхних дыхательных путях и возможное наличие короткоживущих дочерних продуктов ^{220}Rn. Продолжительность перерыва должна составлять по меньшей мере 12 ч, но предпочтительно должна быть равной 72 ч, с тем чтобы он охватывал семь периодов полураспада ^{212}Pb.

V.30. Еще одним более серьезным недостатком является то, что измерения требуют знания взаимосвязи между количеством выдыхаемого ^{220}Rn, выраженном в виде выделяемой ^{224}Ra эквивалентной активности во рту, и легочной нагрузкой от тория. Эта взаимосвязь, называемая коэффициентом эманирования ^{220}Rn, по-видимому, зависит от характера радиоактивного загрязнения торием. Измерение выдыхаемого воздуха следует калибровать с учетом in vivo измерений нагрузки от тория на легкие [232]. Процедура калибровки требует наличия работников с легочной нагрузкой от тория, которая достаточно высока и может быть обнаружена методом подсчета гамма-излучения in vivo. Оценки коэффициента эманирования ^{220}Rn варьируются в широких пределах, от 3,7% до 20% [225, 229, 230, 233, 237]. Ввиду этого широкого разброса и связанной с ним неопределенности использование метода оценки ^{220}Rn в выдыхаемом воздухе имеет ограниченную ценность для текущей оценки дозы.

Кровь

V.31. Пробы крови являются наиболее прямым источником для оценки радионуклидов, присутствующих в системной циркуляции, но используются нечасто ввиду медицинских ограничений процесса взятия проб. Исследования концентрации тория в крови работников, занятых в добыче песков тяжелых минералов в Западной Австралии, и работников ториевого завода в Индии приведены соответственно в [238, 239]. Однако, за несколькими исключениями (например, при детектировании разбавленной воды, насыщенной тритием, ^{59}Fe и ^{51}Cr в меченых эритроцитах), пробы крови позволяют получить лишь весьма ограниченную информацию о суммарной активности в системе после поступления. Это связано с быстрым выведением из кровотока и отложением в тканях и органах.

Выдох через нос

V.32. Выдох через нос и мазки из носа не следует использовать для оценки поступления, но они могут быть полезны при выполнении задач и специальном мониторинге для идентификации компонентов в смеси радионуклидов. Выдох через нос и мазки из носа также могут быть использованы для указания на необходимость дополнительного взятия проб и анализа, особенно в тех случаях, когда могло произойти облучение от таких альфа-излучателей, как актиниды.

Пробы тканей

V.33. В случае локализованных отложений радионуклидов с высокой радиотоксичностью (например, трансурановых элементов) в ране, как правило, рекомендуется, с учетом медицинских рекомендаций, хирургически удалять радиоактивное загрязнение вскоре после поступления. Радиохимический анализ иссеченной ткани разрушающими и неразрушающими методами может давать информацию о радионуклидах и их относительных концентрациях и может помогать в оценке поступления в кровь и в определении характера дальнейших действий.

V.34. Другие биологические пробы, такие как материал волос и зубов, могут быть использованы для оценки поступления, хотя в целом они не могут быть использованы для количественных оценок дозы.

Пробы воздуха

V.35. Для соединений, которые легко рассеиваются в воздухе, таких как радиоактивные газы и пары (например, $^{14}CO_2$ и насыщенная тритием вода), пробы из стационарных пробоотборников воздуха могут обеспечивать разумное представление вдыхаемых радионуклидов, особенно в небольших помещениях. Стационарные пробоотборники воздуха могут устанавливаться в фиксированных позициях на рабочем месте и имеют относительно высокие скорости отбора проб, как правило, около 20 л/мин. Однако в отношении других источников, таких, как ресуспендированные частицы, такие пробы могут приводить к оценке активности вдыхаемого материала, которая является неправильной на порядок или более, в зависимости от относительного местоположения источника, пробоотборника и работника.

V.36. Более репрезентативные пробы можно получать от индивидуальных пробоотборников воздуха, представляющие собой системы с батарейным питанием, переносимые работником, которые отбирают пробы воздуха из зоны непосредственного дыхания с относительно низкой скоростью отбора проб, как правило, 2 л/мин. Однако даже эти пробы могут приводить к завышению или занижению показателей поступления в зависимости от допущений, сделанных в отношении размера частиц аэрозоля и интенсивности дыхания.

V.37. Обе формы отбора проб основаны на сборе радионуклидов из проходящего воздуха на фильтрующей среде. В некоторой степени эта среда будет специфической для материала, подлежащего сбору. Например, твердые частицы могут улавливаться на фильтрах из грубого волокна, в то время как для отбора проб газообразного радона и паров йода используются слои активированного угля. Насыщенную тритием воду можно собирать в водоуловитель.

Пыль в воздухе

V.38. При оценке внутреннего облучения следует учитывать эффективность отбора проб воздуха. Пробоотборники воздуха разработаны в соответствии с правилами отбора проб для конкретного размера частиц, которые основаны на критериях отбора проб для промышленной гигиены и относятся к отбираемой доле всех взвешенных в воздухе частиц. В соответствии с этими правилами отбора проб, существуют три фракции пыли, которые можно отбирать:

a) ингалируемая пылевая фракция – это фракция всех взвешенных в воздухе частиц, которая поступает в организм через нос или рот во время дыхания. Она включает частицы с аэродинамическими диаметрами менее чем приблизительно 100 мкм;
b) грудная пылевая фракция представляет собой субфракцию ингалируемой фракции, которая может проникать в трахео-альвеолярную область легкого. Она включает частицы с аэродинамическими диаметрами менее чем приблизительно 30 мкм;
c) вдыхаемая пылевая фракция представляет собой субфракцию ингалируемой фракции, которая проникает в альвеолярную область легкого, включая респираторные бронхиолы и альвеолярные протоки и мешки. Она включает частицы с аэродинамическими диаметрами менее чем приблизительно 10 мкм.

V.39. На рабочих местах, где существует облучение от радионуклидов цепочки ^{238}U и ^{232}Th в воздушной пыли, к оборудованию и методам отбора проб воздуха применяются следующие соображения:

a) пробоотборники воздуха, как правило, занижают концентрацию активности в воздухе и, следовательно, ингалируемую активность. Степень занижения оценки зависит от АМАД и геометрического стандартного отклонения размера аэрозольных частиц в окружающей среде, от пылевой нагрузки в воздухе и от типа используемого пробоотборника [103]. Для сведения к минимуму степени занижения может применяться поправочный коэффициент. Для АМАД 5 мкм и геометрического стандартного отклонения 2,5 (значения по умолчанию, рекомендованные в [133] для рабочих мест, на которых фактические значения неизвестны), этот поправочный коэффициент равен 1,18 для пробоотборников ингалируемой фракции, 1,41 для пробоотборников грудной фракции и 2,5 для пробоотборников вдыхаемой фракции [103]. Однако использование соответствующего поправочного коэффициента не устраняет всю неопределенность. Это связано с тем, что АМАД и геометрическое стандартное отклонение варьируются в зависимости от местоположения, времени и обстоятельств образования пыли и поэтому никогда не могут быть точно известны;
b) распределение частиц аэрозоля по размерам также оказывает значительное влияние на дозовый коэффициент, приводя к дополнительному источнику неопределенности при оценке эффективной дозы вследствие ингаляции частиц. Зависимость дозового коэффициента от АМАД особенно сильна для частиц, связанных с легочной абсорбцией типа S. При оценке эффективной дозы следует выбирать пробоотборник с эффективностью отбора проб, которая максимально следует зависимости от АМАД соответствующих дозовых коэффициентов [103];
c) знание типа легочной абсорбции следует использовать при определении не только наиболее подходящего коэффициента дозы, но и типа пробоотборника, который наилучшим образом минимизирует возможную систематическую ошибку, возникающую в результате неполного знания распределения частиц по размерам [103];
d) предпочтительным видом отбора проб для минимизации возможной систематической ошибки при оценке эффективной дозы является ингаляционный отбор проб частиц, связанных с легочной абсорбцией типа F, и грудной отбор проб частиц, связанных с поглощением в легких типов M и S [103]. Частицы, связанные с поглощением в легких

типов M или S, вероятно, встречаются во многих отраслях, имеющих дело с радиоактивными материалами природного происхождения. Однако в настоящее время пробоотборники для грудного отбора проб не так широко доступны, как пробоотборники для ингаляционного отбора, и зачастую они не подходят для счета альфа-излучения ввиду того, что частицы пыли собираются на поролоновых, а не на плоских фильтрах;

e) альфа-активность материала, вдыхаемого работниками, может быть занижена, если присутствует значительное самопоглощение альфа-частиц в крупных частицах или в многочисленных слоях или агломератах мелких частиц, осажденных на фильтре. В таких случаях может потребоваться соответствующее ограничение пылевых нагрузок на фильтры. Выпускаются различные типы фильтрующих сред и кассет для отбора проб. Если концентрация пыли относительно низка (около 1–2 мг/м^3) и отбор проб осуществляется в течение 4–6 часов, выбор фильтрующей среды и кассеты вряд ли является критическим. Однако когда концентрация пыли относительно высока (более чем приблизительно 3 мг/м^3) и отбор проб осуществляется в течение 8 часов или более, выбор оборудования требует более тщательного рассмотрения. Для некоторых типов фильтрующих сред, таких как поливинилхлорид, часть пробы может быть потеряна в результате неполного прилипания пыли к поверхности. В некоторых типах кассет для мониторинга пыль может прилипать к внутренней стенке и ее требуется удалять путем промывки и добавления к материалу, собранному на фильтре перед анализом [25];

f) для альфа-излучающих радионуклидов может потребоваться задержка между отбором проб и счетом, с тем чтобы обеспечить распад короткоживущих дочерних продуктов ^{222}Rn и ^{220}Rn, которые внесли бы вклад в результаты счета активности проб.

Радон

V.40. Устройства для индивидуального дозиметрического контроля (мониторинга) излучения радона и его дочерних продуктов являются либо пассивными, либо активными. Пассивные устройства представляют собой твердотельные трековые детекторы, носимые работниками в течение соответствующего периода времени. После облучения трековые детекторы обрабатываются путем химического или электрохимического травления. Процедура травления выявляет треки ядерных частиц, создаваемые альфа-частицами при распаде ^{222}Rn. Плотность треков пропорциональна суммарному облучению от ^{222}Rn за период воздействия. В активных

устройствах насос с батарейным питанием производит вытяжку воздуха через фильтр для отбора проб. Альфа-излучение дочерних продуктов ^{222}Rn, осажденных на фильтре, регистрируется:

a) дисковым детектором термолюминесцентного дозиметра, который предоставляет информацию об общей альфа-активности;
b) кремниевым твердотельным детектором с сопутствующей электроникой, который также предоставляет информацию об общей альфа-активности или предоставляет информацию о конкретном нуклиде;
c) твердотельным трековым детектором, который предоставляет информацию об индивидуальных дочерних продуктах ^{222}Rn.

V.41. При мониторинге ^{222}Rn в воздухе на рабочем месте концентрация определяется либо как измерение мгновенного значения на основе одной пробы воздуха (известной как выборочная проба), либо как измерение интегрированного по времени значения. Измерения мгновенного значения традиционно проводились с использованием сцинтилляционной ячейки для регистрации альфа-излучения (обычно называемой ячейкой Лукаса). При этом методе пробу воздуха вводят в камеру детектора. Внутренняя поверхность камеры имеет сцинтилляционное покрытие, содержащее слой активированного серебром сульфида цинка. Пробу воздуха фильтруют для удаления дочерних продуктов ^{222}Rn, оставляя внутри камеры только материнский радионуклид ^{222}Rn. По мере того, как ^{222}Rn и образующиеся дочерние продукты распадаются с испусканием альфа-частиц, сцинтилляции при альфа-распаде подсчитывают при известном равновесии с помощью фотоумножителя, установленного на верхней части камеры.

V.42. Известны и другие методы измерения мгновенного значения для ^{222}Rn. К ним относятся метод счетно-импульсной ионизационной камеры и метод пробоотборника с двойным фильтром, причем последний может использоваться для измерения как ^{222}Rn, так и ^{220}Rn. Воздух пропускается через камеру после удаления дочерних продуктов ^{222}Rn и дочерних продуктов ^{220}Rn входным фильтром. Распад ^{222}Rn и ^{220}Rn при прохождении через камеру приводит к образованию дочерних продуктов, которые собирают на выходном фильтре. Затем производится счет альфа-излучения дочерних продуктов на выходном фильтре. Его результаты используются для обратного расчета концентраций ^{222}Rn и ^{220}Rn. Интегрированные по времени измерения могут производиться с использованием трековых

детекторов, известных как радоновые чашки, термолюминесцентных дозиметров или устройств, известных как электретные пассивные мониторы содержания радона в окружающей среде.

V.43. Имеются так называемые «непрерывные» методы мониторинга. Они не обеспечивают подлинно непрерывных измерений, но либо основаны на частом мгновенном отборе проб с использованием адаптированных методов мгновенного отбора проб, описанных выше, либо основаны на других конкретных методах. Активная закачка или диффузия газообразного радона в чувствительный объем высоковольтной камеры позволяет осаждать образующиеся положительно заряженные дочерние продукты радона на поверхность кремниевого поверхностнобарьерного детектора для последующей альфа-спектроскопии. Этот способ позволяет разделять ^{222}Rn и ^{220}Rn. Имеются относительно устойчивые к внешним воздействиям и легкие переносные приборы. Они довольно широко используются в горнодобывающей промышленности, включая подземные рудники. Портативные приборы могут быть оснащены сигнализацией, которая срабатывает при превышении заданной концентрации ^{222}Rn.

V.44. Мониторинг на рабочем месте короткоживущих дочерних продуктов ^{222}Rn осуществляется путем пропускания воздуха через фильтр для захвата радионуклидов дочерних продуктов. Ввиду коротких периодов полураспада дочерних продуктов ^{222}Rn подсчет альфа- или бета-активности на фильтре следует проводить во время или вскоре после отбора проб.

V.45. Как и в случае мониторинга концентраций газообразного ^{222}Rn, мониторинг дочерних продуктов ^{222}Rn может быть осуществлен либо путем измерения мгновенных значений, либо путем измерений в течение заданного периода времени. Благодаря разработке автоматизированных методов отбора проб и анализа появились приборы для полунепрерывного мониторинга с использованием интегральных измерений и для непрерывного мониторинга. В некоторых приборах для проведения альфа- или бета-спектроскопии необработанные данные могут храниться на постоянной основе в приборе и впоследствии загружаться для обработки с целью определения индивидуальных концентраций радионуклидов в различные моменты времени.

V.46. Приборы и методы счета, используемые для измерения концентраций ^{222}Rn и его дочерних продуктов, могут, в принципе, по меньшей мере быть адаптированы для измерения концентраций ^{220}Rn и его дочерних продуктов с определенными ограничениями. Некоторые приборы для непрерывного

мониторинга могут измерять ^{220}Rn и его дочерние продукты. Для индивидуального мониторинга могут быть использованы интегрирующие трековые детекторы. В одном из исполнений индивидуальный альфа-дозиметр регистрирует альфа-излучение ^{212}Po отдельно, обеспечивая прямое измерение дочерних продуктов ^{220}Rn.

Поверхностные пробы

V.47. Поскольку моделирование переноса радионуклидов с поверхностей в организм является особенно неопределенным, пробы концентраций радионуклидов на поверхностях используются главным образом для выявления потенциальной возможности значительного поступления и необходимости проведения индивидуального мониторинга. Такие пробы также могут показывать относительные количества различных радионуклидов в смеси и наличие любых радионуклидов, не обнаруженных в биопробе.

V.48. Поверхностные пробы обычно получают путем протирания определенной области поверхности такими материалами, как фильтровальная бумага или ватные тампоны. Эти материалы выбирают с учетом их способности переносить ожидаемые загрязняющие вещества с поверхности для анализа. Эффективность отбора следует определять для конкретного сочетания поверхности и протирающего материала, но обычно предполагается, что она составляет около 10% для влажного тампона на умеренно пористой поверхности.

Обращение с пробами

V.49. Следует проявлять особую осторожность при обращении с пробами, которые будут использоваться для оценки внутреннего облучения, во-первых, во избежание переноса радиоактивного или биологического загрязнения при обращении и, во-вторых, для обеспечения прослеживаемой связи между аналитическим результатом и первоначальной пробой, как того требует программа обеспечения качества.

V.50. Что касается потенциальной опасности от загрязнения, то следует учитывать как радиоактивные, так и биологические загрязнители. Биологические пробы могут содержать патогены, такие как бактерии и вирусы. Эти патогены будут потенциально активны до тех пор, пока вся проба не превратится в золу или не будет стерилизована иным образом. Поэтому все такие пробы следует хранить при низкой температуре, предпочтительно

замороженными, до проведения анализа. Эта обработка также уменьшит нежелательное биологическое разложение определенных материалов, таких как органически связанный тритий, для которого молекулярная форма является важным фактором, который следует учитывать при последующем анализе. Еще одним способом предотвращения разложения является обработка пробы кислотой.

V.51. Для установления прослеживаемости следует поддерживать такую цепочку хранения, чтобы на каждом этапе отбора, транспортировки и анализа проб создавалась документация для описания и проверки произошедших передач.

V.52. Для обеспечения того, чтобы активность, измеренная в пробе, была репрезентативной только для клиренса организма, не следует производить взятие проб мочи, фекалий и других биологических проб в радиоактивно загрязненных зонах. Пробу следует четко маркировать, с тем чтобы были известны личность работника и дата и время отбора пробы.

V.53. Лиц, ответственных за принятие решений относительно типа(типов) анализа, который(ые) должен(должны) быть проведен(ы) на пробе, следует информировать о рабочих зонах, в которых работник мог подвергаться облучению, особенно если проба, вероятно, будет иметь высокий уровень активности, как это может быть в случае специального мониторинга. Лица, ответственные за это, должны быть осведомлены о применении любых лекарственных препаратов или методов лечения, которые могут препятствовать анализу пробы или ее интерпретации.

Методы анализа

V.54. Анализ биологических или физических проб включает детектирование и количественное определение излучения присутствующих радионуклидов с помощью соответствующих приборов. Во многих случаях радионуклиды сначала должны быть отделены от матрицы пробы, с тем чтобы обеспечить высокочувствительное и воспроизводимое детектирование. В тех случаях, когда детекторы не могут различать радионуклиды с похожим излучением (например, некоторые актиниды), пробы перед счетом следует подвергнуть химическому разделению элементов.

Детектирование

V.55. Приборы, используемые для радиометрической оценки, могут быть разделены на три класса на основе того, что измеряется: альфа-частицы, бета-частицы или фотонное излучение.

V.56. Альфа-частицы можно детектировать с помощью различных методов, каждый из которых имеет преимущества и недостатки. Самый простой общий подсчет суммарной альфа-активности может быть осуществлен с использованием детектора на основе сульфида цинка или газового проточного пропорционального счетчика. Эти методы эффективны, но они не обеспечивают дискриминации альфа-частиц разных энергий и не позволяют идентифицировать или количественно определять отдельные радионуклиды в смеси. Радиохимическое разделение отдельных радионуклидов (см. пункт V.63) с последующей альфа-спектроскопией с использованием кремниевых детекторов могут быть применены для количественной оценки отдельных радионуклидов при условии, что их энергии достаточно различны. Как правило, для достижения надлежащей чувствительности требуется длительное время счета. Радиометрический анализ отдельных радионуклидов вряд ли будет экономически эффективным в случае штатного анализа отдельных фильтров отбора проб воздуха, поскольку он является трудоемким и дорогостоящим. Однако на нерегулярной основе фильтры могут сохраняться, накапливаться в течение более длительного периода, и активность может определяться с помощью этих более чувствительных аналитических методов для получения агрегированного поступления отдельных радионуклидов в течение более длительного периода.

V.57. Промышленная деятельность, связанная с радиоактивными материалами природного происхождения, может приводить к образованию частиц пыли, содержащих альфа-излучающие радионуклиды в цепочке распада ^{238}U и/или цепочке распада ^{232}Th. Детектирование этой альфа-активности на фильтрах для отбора проб воздуха включает следующие соображения:

a) для радиоактивных материалов природного происхождения, которые не были подвергнуты химической или термической обработке, равновесие цепочки распада ^{238}U и цепочки распада ^{232}Th в недавно образовавшихся частицах пыли вряд ли будет существенно нарушено. Помимо любого последующего выхода ^{222}Rn или ^{220}Rn из захваченных

частиц пыли (см. (c)), при анализе фильтров для отбора проб воздуха с помощью общего счета альфа-излучения, как правило, можно предполагать существование равновесных условий;

b) в случае радиоактивных материалов природного происхождения, подвергшихся химической или термической обработке, нельзя исходить из предположения о существовании равновесных условий для частиц взвешенной в воздухе пыли, и поэтому перед анализом фильтров для отбора проб воздуха с помощью общего альфа-счета следует определять радионуклидный состав;

c) вполне возможно, что часть ^{222}Rn или ^{220}Rn может высвободиться из улавливаемых частиц пыли в период между временем отбора проб и временем проведения анализа. Исследования, проведенные для частиц рудной пыли, позволяют предположить, что потери ^{222}Rn и ^{220}Rn находятся в диапазоне 0–50% [240]. Для частиц пыли, связанных с минералами с весьма низкими коэффициентами эманации ^{222}Rn или ^{220}Rn, такими как циркон и моназит, следует исходить из нулевых потерь ^{222}Rn или ^{220}Rn. Для частиц пыли, связанных с другими минералами, такими как урановая руда или уран-ториевая руда, следует ожидать некоторых потерь ^{222}Rn или ^{220}Rn. Для частиц пыли с цепочкой распада ^{238}U и цепочкой распада ^{232}Th, находящихся в равновесии на момент отбора проб, измеренную общую альфа-активность следует умножить на поправочный коэффициент в диапазоне 1-1,23 для учета потерь ^{222}Rn или ^{220}Rn и связанных с ними короткоживущих дочерних продуктов. Для типичных потерь 25% ^{222}Rn или ^{220}Rn[241] следует использовать значение поправочного коэффициента около 1,10.

V.58. Бета-частицы чаще всего детектируют методом жидкостного сцинтилляционного счета, особенно для низкоэнергетических бета-излучателей. В некоторых случаях разделение двух или более бета-излучателей в смеси, таких как тритий, ^{14}C и ^{32}P, может быть достигнуто путем задания полос дискриминации по энергии в отклике детектора. Измерения суммарных количеств бета-излучателей высокой энергии, осажденных на планшетах или фильтрах, могут быть проведены с помощью газовых проточных пропорциональных детекторов. Высокоэнергетические бета-частицы можно детектировать путем счета черенковского излучения с помощью жидкостного сцинтилляционного спектрометра.

V.59. Для определения концентраций отдельных дочерних продуктов ^{222}Rn на фильтре обычно используется альфа- и/или бета-спектроскопия. В одном из альфа-бета спектроскопических методов используется пассивированный

имплантированный планарный кремниевый детектор. В зависимости от требуемого объема информации об отдельных дочерних продуктах ^{222}Rn используются различные методы счета. Счет может выполняться только один раз (т. е. методами однократного счета) или в виде последовательности счетов через определенные промежутки времени после отбора проб (т. е. методами двукратного и трехкратного счета). Решая соответствующие уравнения для распада и накопления радионуклидов, можно определить либо общую активность дочерних продуктов ^{222}Rn, либо активность отдельного дочернего продукта.

V.60. Эмиссию фотонов из физических проб или биологических проб обычно детектируют с помощью обычной гамма-спектрометрии.

V.61. Имеются также нерадиометрические методы. Например, для анализа урана, независимо от степени обогащения, могут быть использованы методы люминесценции, такие как ультрафиолетовая флуориметрия и кинетический фосфоресцентный анализ. При измерении биопроб на нижних пределах детектирования масс-спектроскопия с индуктивно связанной плазмой обладает значительными преимуществами в точности, скорости и подготовке проб в случае определения урана и тория в моче [242], так же как и масс-спектрометрия с термической ионизацией в случае ^{239}Pu [243]. Для измерения конкретных радионуклидов могут быть использованы и другие методы, такие как анализ треков деления и нейтронно-активационный анализ, но они трудоемки, дорогостоящи и необходимы только в особых обстоятельствах.

V.62. Время счета для всех методов, указанных в пунктах V.55–V.61, будет зависеть от активности в пробе, используемого измерительного оборудования и требуемой точности.

Радиохимическое разделение

V.63. Во многих случаях радионуклиды следует отделять от матрицы пробы или от радиоизотопов других элементов до счета, с тем чтобы обеспечить надежную количественную оценку активности. Этот процесс в значительной степени специфичен для отделяемых элементов, но обычно он включает подготовку и предварительное концентрирование проб, очистку, подготовку источника и определение выхода. Как правило, с целью изоляции конкретного радионуклида от источников помех в целях улучшения обнаружения могут использоваться различные подходы. Важным элементом процесса является отслеживание извлечения радионуклида

на каждом этапе, с тем чтобы конечный результат мог быть использован для надежного определения концентрации в исходной пробе. Для целей измерения фона следует подготавливать соответствующие холостые пробы.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

[1] ЕВРОПЕЙСКОЕ СООБЩЕСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Основополагающие принципы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).

АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3, МАГАТЭ, Вена (2015).

[2] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ, Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите, Публикация 103, Москва (2009).

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Justification of Practices, Including Non-medical Human Imaging, IAEA Safety Standards Series No. GSG-5, IAEA, Vienna (2014).

[4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, МАГАТЭ, Вена (2017).

[5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение системы управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2009).

[6] МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, Руководство по системам управления безопасностью и гигиеной труда, ILO-OSH2001, МОТ, Женева (2001).

[7] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation (Revised), ICRU Report 85a, ICRU, Bethesda, MD (2011).

[8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation, Publication 74, Pergamon Press, Oxford and New York (1996).

[9] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources, ICRU Report 39, ICRU, Bethesda, MD (1985).
[10] BEHRENS, R., DIETZE, G., Monitoring the eye lens: Which dose quantity is adequate? Phys. Med. Biol. **55** (2010) 4047–4062.
[11] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51, ICRU, Bethesda, MD (1993).
[12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, Publication 78, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
[13] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Compendium of Dose Coefficients Based on ICRP Publication 60, Publication 119, Elsevier (2012).
[14] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ, Рекомендации 1990 года Международной комиссии по радиационной защите, Публикация 60, Москва, Энергоиздат (1994).
[15] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, Publication 137, SAGE (2017).
[16] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала, Серия докладов по безопасности № 21, МАГАТЭ, Вена (2003 год).
[17] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 4 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).
[18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Generators and Sealed Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.10, IAEA, Vienna (2006).
[19] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Work Management to Optimise Occupational Radiological Protection at Nuclear Power Plants, NEA No. 6399, OECD, Paris (2009).
[20] Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Official Journal of the European Communities No. L 159, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1996).
[21] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Повышение компетентности в области радиационной защиты и безопасного использования источников излучения, Серия изданий по безопасности МАГАТЭ № RS.G-1.4, МАГАТЭ, Вена (2005).

[22] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Vol. I: Sources, United Nations, New York (2008) Annex B.
[23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials, Safety Reports Series No. 49, IAEA, Vienna (2006).
[24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and NORM Residue Management in the Production of Rare Earths from Thorium Containing Minerals, Safety Reports Series No. 68, IAEA, Vienna (2011).
[25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry, Safety Reports Series No. 34, IAEA, Vienna (2003).
[26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and NORM Residue Management in the Titanium Dioxide and Related Industries, Safety Reports Series No. 76, IAEA, Vienna (2012).
[27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Management of NORM Residues in the Phosphate Industry, Safety Reports Series No. 78, IAEA, Vienna (2013).
[28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries, Safety Reports Series No. 51, IAEA, Vienna (2007).
[29] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЕЯ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ИНТЕРПОЛ, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ КОМИССИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПО ДОГОВОРУ О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО КООРДИНАЦИИ ГУМАНИТАРНЫХ ВОПРОСОВ, Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 7, МАГАТЭ, Вена (2016).
[30] ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО ТРУДА, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSG-2, МАГАТЭ, Вена (2012).

[31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Generic Procedures for Medical Response during a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Medical 2005, IAEA, Vienna (2005).
[32] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Использование цитогенетической дозиметрии для обеспечения готовности и реагирования при радиационных аварийных ситуациях, EPR-Biodosimetry 2011, МАГАТЭ, Вена (2014).
[33] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-3.1, IAEA, Vienna (2007).
[34] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Vol. II, United Nations, New York (2009) Annex E.
[35] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, Safety Reports Series No. 33, IAEA, Vienna (2003).
[36] WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, WHO, Geneva (2009).
[37] EUROPEAN COMMISSION, Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew: Compilation of Measured and Calculated Data, Radiation Protection 140, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2004).
[38] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Radiation Protection Guidance for Activities in Low-Earth Orbit, NCRP Report No. 132, NCRP, Bethesda, MD (2000).
[39] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Operational Radiation Safety Program for Astronauts in Low-Earth Orbit: A Basic Framework, NCRP Report No. 142, NCRP, Bethesda, MD (2002).
[40] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Assessment of Radiation Exposure of Astronauts in Space, Publication 123, Elsevier (2013).
[41] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother, Publication 88, Pergamon Press, Oxford and New York (2002). (Supporting CD-ROM CD2, Database of Dose Coefficients: Embryo and Fetus).
[42] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Doses to Infants from Ingestion of Radionuclides in Mothers' Milk, Publication 95, Elsevier (2004). (Supporting CD-ROM CD3, Database for Dose Coefficients: Dose to Infants from Mothers' Milk).
[43] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection of Itinerant Workers, Safety Reports Series No. 84, IAEA, Vienna (2015).
[44] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Electronic Counting Dosemeters for Pulsed Fields of Ionizing Radiation, IEC TS 62743:2012, IEC, Geneva (2012).

[45] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Use of Personal Monitors to Estimate Effective Dose Equivalent and Effective Dose to Workers for External Exposure to Low-LET Radiation, NCRP Report No. 122, NCRP, Bethesda, MD (1995).
[46] JÄRVINEN, H., et al., Comparison of double dosimetry algorithms for estimating the effective dose in occupational dosimetry of interventional radiology staff, Radiat. Prot. Dosim. **131** (2008) 80–86.
[47] ATOMIC ENERGY COMMISSION, "Report of EURADOS CONRAD WP7/SG 2: Double dosimetry with recommendations", Radiation Protection Dosimetry in Medecine: Report of the Working Group No. 9 of the European Radiation Dosimetry Group (EURADOS) Coordinated Network for Radiation Dosimetry (CONRAD — Contract EC No. FP6-12684), CEA-R-6220, Commissariat à l'énergie atomique, Gif-sur-Yvette (2009) 59–77.
[48] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiological Protection: Procedures for Monitoring the Dose to the Lens of the Eye, the Skin and the Extremities, ISO 15382:2015, ISO, Geneva (2015).
[49] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, IAEA-TECDOC-1731, IAEA, Vienna (2013).
[50] MANGER, R.P., BELLAMY, M.B., ECKERMANN, K.F., Dose conversion coefficients for neutron exposure to the lens of the human eye, Radiat. Prot. Dosim. **148** (2012) 507–513.
[51] BEHRENS, R., "Monitoring the eye lens", Living with Radiation — Engaging with Society (Proc. 13th Int. Congr. International Radiation Protection Association, Glasgow, 2012), IRPA, Fontenay-aux-Roses (2012).
[52] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Dosimetry for Exposures to Cosmic Radiation in Civilian Aircraft, Part 1: Conceptual Basis for Measurements, ISO 20785-1:2012, ISO, Geneva (2012).
[53] Там же, Part 2: Characterization of Instrument Response, ISO 20785-2:2011 (2011).
[54] Там же, Part 3: Measurements at Aviation Altitudes, ISO 20785-3:2015 (2015).
[55] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, General Principles for the Radiation Protection of Workers, Publication 75, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
[56] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Determination of Dose Equivalents from External Radiation Sources: Part II, ICRU Report 43, ICRU, Bethesda, MD (1988).
[57] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations, ICRU Report 47, ICRU, Bethesda, MD (1992).
[58] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Determination of Operational Dose Equivalent Quantities for Neutrons, ICRU Report 66, ICRU, Bethesda, MD (2001).

[59] EUROPEAN COMMISSION, Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation, Radiation Protection 160, Office of the European Union, Luxembourg (2009).
[60] SCHUHMACHER, H., et al., Evaluation of Individual Dosimetry in Mixed Neutron and Photon Radiation Fields, PTB-N-49, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (2006).
[61] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Determination of the Characteristic Limits (Decision Threshold, Detection Limit and Limits of the Confidence Interval) for Measurements of Ionizing Radiation: Fundamentals and Application, ISO 11929:2010, ISO, Geneva (2010).
[62] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers, Publication 35, Pergamon Press, Oxford and New York (1982).
[63] BOEHM, J., "Some remarks on accuracy and precision in individual monitoring", Intercomparison for Individual Monitoring (Proc. IAEA Research Coordination Mtg Vienna, 1989), PTB-DOS-20, Vol. 2, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (1991) 317.
[64] JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY, International Vocabulary of Metrology: Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), JCGM 200:2008, JCGM (2008).
[65] JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY, Evaluation of Measurement Data: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, JCGM 100:2008, JCGM (2008).
[66] JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY, Evaluation of Measurement Data: An Introduction to the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" and Related Documents, JCGM 104:2009, JCGM (2009).
[67] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Uncertainty of Measurement, Part 1: Introduction to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO/IEC Guide 98-1:2009, ISO, Geneva (2009).
[68] Там же, Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO/IEC Guide 98-3:2008 (2008).
[69] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Measurement Quality Assurance for Ionizing Radiation Dosimetry, ICRU Report 76, ICRU, Bethesda, MD (2006).
[70] EUROPEAN COOPERATION FOR ACCREDITATION, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02 M, EA, Paris (1999).
[71] TAYLOR, B.N., KUYATT, C.E., Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (1994).
[72] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Determination of Uncertainty in Measurement, IEC TR 62461:2015, IEC, Geneva (2015).

[73] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosemeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy, Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods, ISO 4037-1:1996, ISO, Geneva (1996).
[74] Там же, Part 2: Dosimetry for Radiation Protection over the Energy Ranges from 8 keV to 1.3 MeV and 4 MeV to 9 MeV, ISO 4037-2:1997 (1997).
[75] Там же, Part 3: Calibration of Area and Personal Dosemeters and the Measurement of Their Response as a Function of Energy and Angle of Incidence, ISO 4037-3:1999 (1999).
[76] Там же, Part 4: Calibration of Area and Personal Dosemeters in Low Energy X Reference Radiation Fields, ISO 4037-4:2004 (2004).
[77] МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, Ядерная энергия: Reference Beta-particle Radiation, Part 1: Methods of Production, ISO 6980-1:2006, ISO, Geneva (2006).
[78] Там же, Part 2: Calibration Fundamentals Related to Basic Quantities Characterizing the Radiation Field, ISO 6980-2:2004 (2004).
[79] Там же, Part 3: Calibration of Area and Personal Dosemeters and the Determination of Their Response as a Function of Beta Radiation Energy and Angle of Incidence, ISO 6980-3:2006 (2006).
[80] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Reference Neutron Radiations, Part 1: Characteristics and Methods of Production, ISO 8529-1:2001, ISO, Geneva (2001).
[81] Там же, Part 2: Calibration Fundamentals of Radiation Protection Devices Related to the Basic Quantities Characterizing the Radiation Field, ISO 8529-2:2000 (2000).
[82] Ibid., Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and Determination of Response as a Function of Energy and Angle of Incidence, ISO 8529-3:1998 (1998).
[83] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Measurement of Personal Dose Equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0.07)$ for X, Gamma, Neutron and Beta Radiations — Direct Reading Personal Dose Equivalent Meters, IEC 61526:2010, IEC, Geneva (2010).
[84] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Passive Integrating Dosimetry Systems for Personal and Environmental Monitoring of Photon and Beta Radiation, IEC 62387:2012, IEC, Geneva (2012).
[85] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Passive Neutron Dosimetry Systems, Part 1: Performance and Test Requirements for Personal Dosimetry, ISO 21909-1:2015, ISO, Geneva (2015).
[86] BEHRENS, R., On the operational quantity $H_p(3)$ for eye lens dosimetry, J. Radiol. Prot. **32** (2012) 455-464.
[87] BEHRENS, R., et al., $H_p(0.07)$ photon dosemeters for eye lens dosimetry: Calibration on a rod vs a slab phantom, Radiat. Prot. Dosim. **148** (2011) 139-142.
[88] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures, Publication 116, Elsevier (2010).

[89] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, ISO/IEC 17025:2017, ISO, Geneva (2017).
[90] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection: Criteria and Performance Limits for the Periodic Evaluation of Processors of Personal Dosemeters for X and Gamma Radiation, ISO 14146:2000, ISO, Geneva (2000).
[91] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Installed Dose Rate Meters, Warning Assemblies and Monitors — X and Gamma Radiation of Energy between 50 keV and 7 MeV, IEC 60532:2010, IEC, Geneva (2010).
[92] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Nuclear Power Plants: Instrumentation and Control Important to Safety — Classification of Instrumentation and Control Functions, IEC 61226:2009, IEC, Geneva (2009).
[93] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Ambient and/or Directional Dose Equivalent (Rate) Meters and/or Monitors for Beta, X and Gamma Radiation, Part 1: Portable Workplace and Environmental Meters and Monitors, IEC 60846-1:2009, IEC, Geneva (2009).
[94] Там же, Part 2: High Range Beta and Photon Dose and Dose Rate Portable Instruments for Emergency Radiation Protection Purposes, IEC 60846-2:2015 (2015).
[95] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Neutron Ambient Dose Equivalent (Rate) Meters, IEC 61005:2014, IEC, Geneva (2014).
[96] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Transportable, Mobile or Installed Equipment to Measure Photon Radiation for Environmental Monitoring, IEC 61017:2016, IEC, Geneva (2016).
[97] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Safety Reports Series No. 16, IAEA, Vienna (2000).
[98] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Reference Radiation Fields: Simulated Workplace Neutron Fields, Part 1: Characteristics and Methods of Production, ISO 12789-1:2008, ISO, Geneva (2008).
[99] Там же, Part 2: Calibration Fundamentals Related to the Basic Quantities, ISO 12789-2:2008 (2008).
[100] JULIUS, H.W., Some remaining problems in the practical application of the ICRU concepts of operational quantities in individual monitoring, Radiat. Prot. Dosim. **66** (1996) 1–8.
[101] SWINTH, K.L., SISK, D.R., Recent developments and performance of survey instruments for the monitoring of weakly penetrating radiations, Radiat. Prot. Dosim. 39 (1991) 149–156.
[102] VAN DER STEEN, J., et al., Strategies and Methods for Optimisation of Protection against Internal Exposures of Workers from Industrial Natural Sources (SMOPIE), NRG Report 20790/04.60901, Nuclear Research Group, Petten (2004).

[103] ETHERINGTON, G., et al., "OMINEX: Development of guidance on monitoring for internal exposure", Widening the Radiation Protection World (Proc. 11th Int. Congr. International Radiation Protection Association, Madrid, 2004), IRPA, Fontenay-aux-Roses (2004) 359–369.
[104] EUROPEAN COMMISSION, Optimisation of Monitoring for Internal Exposure (OMINEX), https://cordis.europa.eu/publication/rcn/8870_en.html
[105] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection: Monitoring of Workers Occupationally Exposed to a Risk of Internal Contamination with Radioactive Material, ISO 20553:2006, ISO, Geneva (2006).
[106] LIPSZTEIN, J.L., GRYNSPAN, D., DANTAS, B.M., BERTELLI, L., WRENN, M.E., Thorium exposure: Problems in bioassay interpretation, J. Radioanal. Nucl. Chem. **156** (1992) 389–400.
[107] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection: Dose Assessment for the Monitoring of Workers for Internal Radiation Exposure, ISO 27048:2011, ISO, Geneva (2011).
[108] CASTELLANI, C.M., et al., IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data, EURADOS Report 2013-01, European Radiation Dosimetry, Braunschweig (2013).
[109] STRADLING, N., HODGSON, A., PHIPPS, A.W., FELL, T.P., ETHERINGTON, G., "Can low doses from inhaled natural thorium be confirmed by personal monitoring?", Health Effects of Incorporated Radionuclides: Emphasis on Radium, Thorium, Uranium and their Daughter Products (Proc. 9th Int. Conf. Neuherberg, 2004), GSF–National Research Center for Environment and Health, Neuherberg (2005) 261–268.
[110] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Direct Determination of the Body Content of Radionuclides, ICRU Report 69, ICRU, Bethesda, MD (2005).
[111] WEISE, K., et al., Bayesian decision threshold, detection limit and confidence limits in ionising-radiation measurement, Radiat. Prot. Dosim. **121** (2006) 52–63.
[112] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection: Performance Criteria for Radiobioassay, ISO 28218:2010, ISO, Geneva (2010).
[113] CURRIE, L.A., Limits for qualitative detection and quantitative determination: Application to radiochemistry, Anal. Chem. **40** (1968) 586-593.
[114] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection, ICRU Report 48, ICRU, Bethesda, MD (1992).
[115] KRAMER, G.H., BURNS, L., NOEL, L., The BRMD BOMAB phantom family, Health Phys. **61** (1991) 895–902.
[116] THIEME, M., HUNT, E.L., KÖNIG, K., SCHMITT-HANNIG, A., GÖDDE, R., European whole body counter measurement intercomparison, Health Phys. **74** (1998) 465-471.

[117] COHEN, N., SPITZ, H.B., WRENN, M.E., Estimation of skeletal burden of 'bone-seeking' radionuclides in man from in vivo scintillation measurements of the head, Health Phys. **33** (1977) 431–441.
[118] NEWTON, D., et al., "The Livermore phantom as a calibration standard in the assessment of plutonium in lungs", Assessment of Radioactive Contamination in Man 1984 (Proc. Int. Symp. Paris, 1984), IAEA, Vienna (1985) 183–199.
[119] PALMER, H.E., BREITENSTEIN, B.D., DURBIN, P.W., HEID, K.R., McINROY, J.F., "Calibration of whole body counters for transuranic radionuclides by using total-body donations to the United States transuranium registry", Ibid., 201.
[120] HICKMAN, D.P., COHEN, N., Reconstruction of a human skull calibration phantom using bone sections from an ^{241}Am exposure case, Health Phys. **55** (1988) 59–65.
[121] NETON, J., A Method for the In Vivo Measurement of Americium-241 at Long Times Post-Exposure, PhD Thesis, New York Univ. (1988).
[122] KRAMER, G.H., GAMARNIK, K., NOËL, L., BURNS, L., MEYERHOF, D., The BRMD thyroid-neck phantom: Design and construction, Health Phys. **71** (1996) 211–214.
[123] KRAMER, G.H., CAPELLO, K., SUNG, J., The LLNL voxel phantom: Comparison with the physical phantom and previous virtual phantoms, Health Phys. **93** (2007) 696–700.
[124] KRAMER, G.H., CAPELLO, K., The StandFast whole body counter: Efficiency as a function of BOMAB phantom size and energy modeled by MCNP5, Health Phys. **92** (2007) 290–296.
[125] KRAMER, G.H., CAPELLO, K., Effect of lung volume on counting efficiency: A Monte Carlo investigation, Health Phys. **88** (2005) 357–363.
[126] FRANCK, D., Potential of modern technologies for improving internal exposure monitoring, Radiat. Prot. Dosim. **127** (2007) 233–239.
[127] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Indirect Methods for Assessing Intakes of Radionuclides Causing Occupational Exposure, Safety Reports Series No. 18, IAEA, Vienna (2000).
[128] MILLER, G., Statistical modelling of Poisson/log-normal data, Radiat. Prot. Dosim. **124** (2007) 155-163.
[129] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, Publication 68, Pergamon Press, Oxford and New York (1994).
[130] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Statement on Radon, ICRP Ref. 00/902/09, ICRP, Ontario (2009).
[131] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Vol. I: Sources, United Nations, New York (2000).
[132] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, Publication 66, Pergamon Press, Oxford and New York (1994).

[133] HARIDASAN, T.K., SURENDRAN, T., SHARMA, R.C., KRISHNAMONY, S., Detection systems for monitoring intakes of actinides at Trombay, Radiat. Prot. Dosim. **51** (1994) 47–58.
[134] SURENDRAN, T., HARIDASAN, T.K., SHARMA, R.C., KRISHNAMONY, S., Experiences at Trombay in monitoring actinide intakes by occupational workers by direct external counting, Radiat. Prot. Dosim. **59** (1995) 15–24.
[135] GUILMETTE, R.A., MUGGENBURG, B.A., Modelling the effect of continuous infusion DTPA therapy on the retention and dosimetry of inhaled actinides, Radiat. Prot. Dosim. **26** (1989) 359–364.
[136] PIECHOWSKI, J., et al., Model and practical information concerning the radiotoxicological assessment of a wound contaminated by plutonium, Radiat. Prot. Dosim. **26** (1989) 265–270.
[137] JECH, J.J., ANDERSEN, B.V., HEID, K.R., Interpretation of human urinary excretion of plutonium for cases treated with DTPA, Health Phys. **22** (1972) 787–792.
[138] HALL, R.M., PODA, G.A., FLEMING, R.R., SMITH, J.A., A mathematical model for estimation of plutonium in the human body from urine data influenced by DTPA therapy, Health Phys. **34** (1978) 419–431.
[139] LA BONE, T., A Comparison of Methods Used to Evaluate Intakes of Transuranics Influenced by Chelation Therapy, WSRC-MS-2002-00417 (2002).
[140] BAILEY, B.R., ECKERMAN, K.F., TOWNSEND, L.W., An analysis of a puncture wound case with medical intervention, Radiat. Prot. Dosim. **105** (2003) 509–512.
[141] FRITSCH, P., et al., Modelling of bioassay data from a Pu wound treated by repeated DTPA perfusions: Biokinetics and dosimetric approaches, Radiat. Prot. Dosim. **127** (2007) 120–124.
[142] JAMES, A.C., SASSER, L.B., STUIT, D.B., GLOVER, S.E., CARBAUGH, E.H., USTUR whole body Case 0269: Demonstrating effectiveness of IV Ca-DTPA for Pu, Radiat. Prot. Dosim. **127** (2007) 449–455.
[143] BREUSTEDT, B., et al., "Modeling of DTPA decorporation therapy: Still puzzling after all these years", Living with Radiation — Engaging with Society (Proc. 13th Int. Congr. International Radiation Protection Association, Glasgow, 2012), IRPA, Fontenay-aux-Roses (2012).
[144] BIRCHALL, A., PUNCHER, M., MARSH, J.W., Avoiding biased estimates of dose when nothing is known about the time of intake, Radiat. Prot. Dosim. **127** (2007) 343–346.
[145] PUNCHER, M., BIRCHALL, A., Estimating uncertainty on internal dose assessments, Radiat. Prot. Dosim. **127** (2007) 544-547.
[146] LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, A Review of Criticality Accidents: 2000 Revision, LA-13638, LANL, Los Alamos, NM (2000).
[147] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dosimetry for Criticality Accidents, Technical Reports Series No. 211, IAEA, Vienna (1982).
[148] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Опасные количества радиоактивного материала (D-величины), Аварийная готовность и реагирование, EPR-D-VALUES 2006, МАГАТЭ, Вена (2010).

[149] AINSBURY, E.A., et al., Review of retrospective dosimetry techniques for external ionising radiation exposures, Radiat. Prot. Dosim. **147** (2011) 573–592.
[150] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Retrospective Assessment of Exposures to Ionising Radiation, ICRU Report 68, ICRU, Bethesda, MD (2002).
[151] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin, Publication 59, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
[152] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Measurement of Radioactivity: Measurement and Evaluation of Surface Contamination, Part 1: General Principles, ISO 7503-1:2016, ISO, Geneva (2016).
[153] Там же, Part 2: Test Method Using Wipe-test Samples, ISO 7503-2:2016 (2016).
[154] Там же, Part 3: Apparatus Calibration, ISO 7503-3:2016 (2016).
[155] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Alpha, Beta and Alpha/Beta (Beta Energy >60 keV) Contamination Meters and Monitors, IEC 60325:2002, IEC, Geneva (2002).
[156] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation: Installed Personnel Surface Contamination Monitoring Assemblies, IEC 61098:2003, IEC, Geneva (2003).
[157] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-8, IAEA, Vienna (2010).
[158] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Decontamination of Radioactively Contaminated Surfaces: Method for Testing and Assessing the Ease of Decontamination, ISO 8690:1988, ISO, Geneva (1988).
[159] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Decontamination of Radioactively Contaminated Surfaces: Testing of Decontamination Agents for Textiles, ISO 9271:1992, ISO, Geneva (1992).
[160] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Radiation Dose Management for Fluoroscopically Guided Interventional Medical Procedures, NCRP Report No. 168, NCRP, Bethesda, MD (2010).
[161] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Health Surveillance of Persons Occupationally Exposed to Ionizing Radiation: Guidance for Occupational Physicians, Safety Reports Series No. 5, IAEA, Vienna (1998).
[162] INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Technical and Ethical Guidelines for Workers' Health Surveillance, Occupational Safety and Health Series No. 72, ILO, Geneva (1998).
[163] INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, Recommendations concerning Prevention and Control of Occupational Hazards caused by Carcinogenic Substances and Agents, Recommendation No. 147, ILO, Geneva (1974).
[164] ROED, H., FIGEL, M., Comparing different error-conditions in film dosemeter evaluation, Radiat. Prot. Dosim. **125** (2007) 23–27.
[165] AMBROSI, P., et al., Results of the IAEA intercomparison for individual monitoring, Radiat. Prot. Dosim. **54** (1994) 5-17.

[166] BORDY, J.M., et al., Performance test of dosimetric services in the EU Member States and Switzerland for the routine assessment of individual doses (photon, beta and neutron), Radiat. Prot. Dosim. **89** (2000) 107–154.
[167] OLKO, P., Advantages and disadvantages of luminescence dosimetry, Radiat. Measur. **45** (2010) 506–511.
[168] GINJAUME, M., et al., Extremity ring dosimetry intercomparison in reference and workplace fields, Radiat. Prot. Dosim. **131** (2008) 67–72.
[169] LUO, L.Z., VELBECK, K.J., ROTUNDA, J.E., Experience of type testing Harshaw advanced TLD system to new IEC-61066 standard, Radiat. Measur. **43** (2008) 594–598.
[170] BURGKHARDT, B., UGI, S., VILGIS, M., PIESCH, E., Experience with phosphate glass dosemeters in personal and area monitoring, Radiat. Prot. Dosim. **66** (1996) 83–88.
[171] YAMAMOTO, T., et al., The recent investigations of radiophotoluminescence and its application, Radiat. Measur. **46** (2011) 1554–1559.
[172] HSU, S.-M., et al., Synthesis and physical characteristics of radiophotoluminescent glass dosimeters, Radiat. Measur. **42** (2007) 621–624.
[173] MILLER, S.D., YODER, C., Cooled optical luminescence dosimetry in plastic matrices, Radiat. Prot. Dosim. **66** (1996) 89–93.
[174] AKSELROD, M.S., BØTTER-JENSEN, L., McKEEVER, S.W.S., Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry, Radiat. Measur. **41** Suppl. 1 (2006) S78–S99.
[175] PERKS, C.A., LE ROY, G., PRUGNAUD, B., Introduction of the InLight monitoring service, Radiat. Prot. Dosim. **125** (2007) 220–223.
[176] SOMMER, M., JAHN, A., HENNIGER, J., A new personal dosimetry system for $H_p(10)$ and $H_p(0.07)$ photon dose based on OSL-dosimetry of beryllium oxide, Radiat. Measur. **46** (2011) 1818–1821.
[177] YUKIHARA, E.G., Luminescence properties of BeO optically stimulated luminescence (OSL) detectors, Radiat. Measur. **46** (2011) 580–587.
[178] WERNLI, C., KAHILAINEN, J., Direct ion storage dosimetry systems for photon, beta and neutron radiation with instant readout capabilities, Radiat. Prot. Dosim. **96** (2001) 255–259.
[179] BOSCHUNG, M., FIECHTNER, A., WERNLI, C., A legally approved personal dosemeter for photon and beta radiation based on direct ion storage, Radiat. Prot. Dosim. **101** (2002) 271–274.
[180] BOLOGNESE-MILSZTAJN, T., et al., Active personal dosemeters for individual monitoring and other new developments, Radiat. Prot. Dosim. **112** (2004) 141–168.
[181] CLARKE, P.W., WEEKS, A.R., Implementation of an electronic personal dosimetry system (EPD) at Oldbury-on-Severn power station, J. Radiol. Prot. **21** (2001) 45–55.
[182] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, EUROPEAN RADIATION DOSIMETRY GROUP, Intercomparison of Personal Dose Equivalent Measurements by Active Personal Dosimeters: Final Report of a Joint IAEA–EURADOS Project, IAEA-TECDOC-1564, IAEA, Vienna (2007).
[183] GINJAUME, M., et al., Overview of active personal dosemeters for individual monitoring in the European Union, Radiat. Prot. Dosim. **125** (2007) 261–266.

[184] BARTLETT, D.T., Electronic dosemeters: Use in personal dosimetry, Radiat. Prot. Dosim. **47** (1993) 335–339.
[185] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Neutron Monitoring for Radiological Protection, Technical Reports Series No. 252, IAEA, Vienna (1985).
[186] HÖFERT, M., PIESCH, E., Neutron dosimetry with nuclear emulsions, Radiat. Prot. Dosim. **10** (1985) 189–195.
[187] GRIFFITH, R.V., TOMMASINO, L., "Etch track detectors in radiation dosimetry", The Dosimetry of Ionizing Radiation, Vol. III (KASE, K.R., BJÄRNGARD, B.E., ATTIX, F.H., Eds), Academic Press, San Diego, CA (1990) 323–426.
[188] HARRISON, K.G., TOMMASINO, L., Damage track detectors for neutron dosimetry, II: Characteristics of different detection systems, Radiat. Prot. Dosim. **10** (1985) 219–235.
[189] BURGKHARDT, B., et al., Experience in long-term neutron dose equivalent measurements using etched track detectors with (n, α) converters in moderators, Radiat. Prot. Dosim. **101** (2002) 579–584.
[190] GILVIN, P.J., BARTLETT, D.T., SHAW, P.V., STEELE, J.D., TANNER, R.J., The NRPB PADC neutron personal dosimetry service, Radiat. Prot. Dosim. **96** (2001) 191–195.
[191] TANNER, R.J., BARTLETT, D.T., HAGER, L.G., Operational and dosimetric characteristics of etched-track neutron detectors in routine neutron radiation protection dosimetry, Radiat. Measur. **40** (2005) 549–559.
[192] PIESCH, E., BURGKHARDT, B., Albedo neutron dosimetry, Radiat. Prot. Dosim. **10** (1985) 175–188.
[193] SCHWARTZ, R.B., EISENHAUER, C.M., Calibration of neutron albedo dosemeters, Radiat. Prot. Dosim. **102** (2002) 23-30.
[194] VANHAVERE, F., D'ERRICO, F., Standardisation of superheated drop and bubble detectors, Radiat. Prot. Dosim. **101** (2002) 283–287.
[195] LUSZIK-BHADRA, M., Compliance of electronic personal neutron dosemeters with the new International Standard IEC 61526, Radiat. Prot. Dosim. **125** (2007) 15–18.
[196] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Instrumentation and Monitoring Methods for Radiation Protection, NCRP Report No. 57, NCRP, Washington, DC (1978).
[197] KIEFER, H., MAUSHART, R., MEJDAHL, V., "Radiation protection dosimetry", Radiation Dosimetry, Vol. III: Sources, Fields, Measurements, and Applications, 2nd edn (ATTIX, F.H., TOCHILIN, E., Eds), Academic Press, New York (1969) 557–615.
[198] RAMM, W.J., "Scintillation detectors", Radiation Dosimetry, Vol. II: Instrumentation, 2nd edn (ATTIX, F.H., ROESCH, W.C., Eds), Academic Press, New York (1966) Ch. 11.
[199] BURGESS, P.H., MARSHALL, T.O., PIESCH, E.K.A., The design of ionisation chambers for the measurement of weakly penetrating radiations, Radiat. Prot. Dosim. **39** (1991) 157–160.
[200] COSACK, M., LESIECKI, H., Dose equivalent survey meters, Radiat. Prot. Dosim. **10** (1985) 111–119.

[201] BRAMBLETT, R.I., EWING, R.I., BONNER, T.W., A new type of neutron spectrometer, Nucl. Instrum. Methods **9** (1960) 1–12.
[202] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes, Technical Reports Series No. 318, IAEA, Vienna (1990).
[203] ANDERSSON, I.O., BRAUN, J., "A neutron rem counter with uniform sensitivity from 0.025 eV to 10 MeV", Neutron Dosimetry (Proc. Symp. Harwell, 1962), Vol. 2, IAEA, Vienna (1963).
[204] MOURGUES, M., CAROSSI, J.C., PORTAL, G., "A light REM-counter of advanced technology", Neutron Dosimetry (Proc. 5th Symp. Munich, 1984), Vol. 2, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1984).
[205] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model, ICRP Supporting Guidance 3, Pergamon Press, Oxford and New York (2002).
[206] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, Publication 30, Part 1, Pergamon Press, Oxford and New York (1979).
[207] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection, Publication 100, Elsevier (2006).
[208] TOOHEY, R.E., BERTELLI, L., SUGARMAN, S.L., WILEY, A.L., CHRISTENSEN, D.M., Dose coefficients for intakes of radionuclides via contaminated wounds, Health Phys. **100** (2011) 508–514.
[209] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds and Procedures for Their Assessment, Dosimetry and Treatment, NCRP Report No. 156, NCRP, Bethesda, MD (2007).
[210] EAKINS, J.D., HUTCHINSON, W.P., LALLY, A.F., The radiological hazard from tritium sorbed on metal surfaces, Health Phys. **28** (1975) 213–224.
[211] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, Publication 56, Pergamon Press, Oxford and New York (1990).
[212] Там же, Part 2: Ingestion Dose Coefficients, Publication 67 (1993).
[213] Там же, Part 3: Ingestion Dose Coefficients, Publication 69 (1995).
[214] Там же, Part 4: Inhalation Dose Coefficients, Publication 71 (1995).
[215] NAVARRO, J.F., LÓPEZ, M.A., NAVARRO, T., GOMEZ ROS, J.M., MORALEDA, M., Assessment of the internal dose of ^{241}Am in bone by in vivo measurements of activity deposited in knee, Radiat. Prot. Dosim. **127** (2007) 531–534.
[216] HANINGER, T., et al., In vivo measurements on the human skull for retrospective assessment of individual intakes of natural radionuclides, Int. Congr. Series **1225** (2002) 95–100.
[217] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Adult Reference Computational Phantoms, Publication 110, Elsevier (2009).
[218] HEGENBART, L., Numerical Efficiency Calibration of In Vivo Measurement Systems, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe (2010).

[219] LOPEZ, M.A., et al., EURADOS intercomparison on measurements and Monte Carlo modelling for the assessment of americium in a USTUR leg phantom, Radiat. Prot. Dosim. **144** (2011) 295–299.
[220] BOENIGER, M.F., LOWRY, L.K., ROSENBERG, J., Interpretation of urine results used to assess chemical exposure with emphasis on creatinine adjustments: A review, Am. Ind. Hyg. C.н.c. J. **54** (1993) 615–627.
[221] GRAUL, R.J., STANLEY, R.L., Specific gravity adjustment of urine analysis results, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. **43** (1982) 863.
[222] CARBAUGH, E.H., BIHL, D.E., MACLELLAN, J.A., ANTONIO, C.L., HILL, R.L., Methods and Models of the Hanford Internal Dosimetry Program, PNNL-MA-860, PNNL-15614, Rev. 1, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (2009).
[223] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methods for Assessing Occupational Radiation Doses due to Intakes of Radionuclides, Safety Reports Series No. 37, IAEA, Vienna (2004).
[224] JAISWAL, D.D., DANG, H.S., SHARMA, R.C., "Internal dosimetry of thorium for occupational workers" (IARP Top. Mtg Bombay, 1992).
[225] MAYYA, Y.S., PRASAD, S.K., NAMBIAR, P.P., KOTRAPPA, P., SOMASUNDARAM, S., Measurement of ^{220}Rn in exhaled breath of Th plant workers, Health Phys. **51** (1986) 737–744.
[226] CHEN, X.-An, et al., "A twenty-year follow-up study on health effects following long-term exposure to thorium dusts", (Proc. 11th Int. Congr. International Radiation Protection Association, Madrid, 2004).
[227] EISENMENGER, A., TSCHAMMER, A., RIEDEL, W., Monitoring of thorium incorporation by thoron in breath measurement: Methodology improvements and determination of burdens of workers, Radiat. Prot. Dosim. **89** (2000) 203–206.
[228] TERRY, K.W., HEWSON, G.S., Thorium lung burdens of mineral sands workers, Health Phys. **69** (1995) 233–242.
[229] TERRY, K.W., HEWSON, G.S., BURNS, P.A., Further thorium lung burden data on mineral sands workers, Radiat. Prot. Dosim. **71** (1997) 297–304.
[230] GENICOT, J.L., BRUGGEMAN, M., The in vivo assessment of thorium body burden by gamma ray spectrometry, Radiat. Prot. Dosim. **97** (2001) 173–176.
[231] PILLAI, P.M.B., MANIYAN, C.G., RADHAKRISHNAN, S., KHAN, A.H., NAIR, M.G., Thorium in urine and thoron (^{220}Rn) in exhaled breath as indicators of internal exposures in monazite and thorium processing, Radiat. Prot. Environ. **24** (2001) 105–108.
[232] STEHNEY, A.F., et al., Health Status and Body Radioactivity of Former Thorium Workers, NUREG/CR-1420 ANL-80-37, Argonne National Laboratory, IL (1980).
[233] TOOHEY, R.E., KEANE, A.T., RUNDO, J., Measurement techniques for radium and the actinides in man at the Center for Human Radiobiology, Health Phys. **44** (1983) 323–341.
[234] STEBBINGS, J.H., "Personal factors affecting thoron exhalation from occupationally acquired thorium body burdens", Environmental Research Division, Annual Report: Center for Human Radiobiology (Jul. 1983–Jul. 1984), ANL-84-103, Part II, Argonne National Laboratory, IL (1985) 60–73.

[235] CHEN, XING-AN, CHENG, YONG-E., RONG, ZHEN, Recent results from a study of thorium lung burdens and health effects among miners in China, J. Radiol. Prot. **25** (2005) 451–460.
[236] MANIYAN, C.G., PILLAI, P.M.B., KHAN, A.H., Studies on clearance of thorium from lungs and chest of occupationally exposed persons in a thorium/monazite processing facility, Radiat. Prot. Environ. **24** (2001) 109–112.
[237] HEWSON, G.S., FARDY, J.J., Thorium metabolism and bioassay of mineral sands workers, Health Phys. **64** (1993) 147–156.
[238] SUNTA, C.M., DANG, H.S., JAISWAL, D.D., SOMAN, S.D., Thorium in human blood serum, clot, and urine comparison with ICRP excretion model, J. Radioanal. Nucl. Chem. **138** (1990) 139–144.
[239] DUPORT, P., HORVATH, F., Practical aspects of monitoring and dosimetry of long-lived dust in uranium mines and mills: Determination of the annual limit on intake for uranium and uranium/thorium ore dust, Radiat. Prot. Dosim. **26** (1989) 43–48.
[240] DUPORT, P.J, EDWARDSON, E., "Characterization of radioactive long-lived dust present in uranium mines and mills atmospheres", Occupational Radiation Safety in Mining (Proc. Int. Conf. Toronto, 1984) (STOCKER, H., Ed.), Vol. 1, Canadian Nuclear Association, Ontario (1985) 189–195.
[241] OEH, U., et al., Implementation of bioassay methods to improve assessment of incorporated radionuclides, Radiat. Prot. Dosim. **125** (2007) 444–448.
[242] ELLIOT, N.L., BICKEL, G.A., LINAUSKAS, S.H., PATERSON, L.M., Determination of femtogram quantities of ^{239}Pu and ^{240}Pu in bioassay samples by thermal ionization mass spectrometry, J. Radioanal. Nucl. Chem. **267** (2006) 637–650.

Приложение

МЕТОДЫ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

А-1. Настоящее приложение представляет собой сокращенный вариант обзора 2011 года [А–1].

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

А-2. Подсчет отдельных видов лейкоцитов является первым количественным биоиндикатором, который может быть применен после облучения. Метод легко доступен, автоматизирован и недорог, поскольку он является стандартным диагностическим инструментом для исследования многих клинических состояний. Измерения занимают всего лишь часть часа для нескольких проб.

А-3. В случае облучения пробу подвергают количественному анализу с целью обнаружения острого облучения и облучения всего тела (или облучения почти всего тела), которое могло привести к гематологическому компоненту острого радиационного синдрома.

А-4. Нормальные межиндивидуальные и внутрииндивидуальные вариации счета создают такой фоновый «шум», что для отклонения значений от нормальных диапазонов требуется доза 1 Гр или выше. Наиболее информативными ранними откликами являются количества лимфоцитов и гранулоцитов. Количество тромбоцитов реагирует медленнее ввиду большей продолжительности жизни тромбоцитов в циркулирующей крови.

А-5. Часто повторяемый отбор проб производится на протяжении всего периода клинического лечения, и на графике отображается изменение дифференциального счета по отношению к значению в первой пробе, которое предполагаются близким к фоновым значениям до облучения. Поэтому первую пробу крови следует брать как можно скорее после облучения.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

А-6. Цитогенетическое повреждение лимфоцитов периферической крови включает дицентрические хромосомы, хромосомные аберрации, микроядра и транслокации. Дицентрический хромосомный анализ, метод преждевременной хромосомной конденсации и микроядерный анализ лучше всего применять для оценки дозы от более недавнего облучения, тогда как флуоресцентная гибридизация in situ (метод FISH) является предпочтительным методом анализа для обнаружения стабильных транслокаций в случае облучения, которое имело место годами или десятилетиями ранее или которое носит хронический характер.

Дицентрический хромосомный анализ

А-7. Дицентрические хромосомы индуцируются почти исключительно ионизирующим излучением. Спонтанная частота дицентриков в здоровой общей популяции очень низка (около 1 дицентрика на 1000 клеток). Частоты дицентриков в лимфоцитах периферической крови при остром фотонном облучении могут демонстрировать четкую линейно-квадратичную зависимость доза-эффект до уровней около 5 Гр. Благодаря этим характеристикам дицентрический анализ способен обнаруживать на основе анализа 500–1000 метафазных пластинок дозы облучения всего тела вплоть до приблизительно 0,1 Гр. Дицентрический анализ лучше всего выполнять на пробах крови в течение нескольких дней после облучения.

А-8. Продолжительность выполнения этого анализа зависит от числа анализируемых клеток, уровня автоматизации и опыта персонала. Анализ занимает 3 дня или более, включая по меньшей мере 51 час для подготовки проб. Оценки дозы, основанные на анализе 20–50 клеток (1-2,5 ч), достаточны для оценки порядка величины облучения, хотя и с большой неопределенностью (±0,5 Гр). Имеются математические процедуры для учета частичного облучения организма или растягивания дозы во времени [А–2, А–3].

Метод преждевременной хромосомной конденсации

А-9. Метод преждевременной хромосомной конденсации позволяет визуализировать хромосомные аберрации во время интерфазы как в циклических, так и в нециклических клетках. Частота спонтанно возникающих фрагментов преждевременной хромосомной конденсации находится в диапазоне 1–3 на 1000 клеток. Как правило, для излучения

с низкой линейной передачей энергии наблюдается 4–5 избыточных фрагментов на клетку на грей. Для анализа преждевременной хромосомной конденсации нестимулированные лимфоциты следует немедленно выделять после облучения, с тем чтобы выполнить слияние с митотическими клетками яичников китайского хомячка. При задержке отбора проб следует учитывать кинетику восстановления фрагментов преждевременной хромосомной конденсации.

А-10. Весь процесс от взятия крови до подготовки микропрепаратов занимает максимум 3 часа. Количественная оценка окрашенных по Гимзе препаратов под микроскопом является трудоемкой операцией. Однако использование автоматизированных систем оценки фрагментов преждевременной хромосомной конденсации, которые в настоящее время находятся на стадии разработки, может ускорить проведение анализа.

А-11.При анализе химически индуцированной преждевременной хромосомной конденсации используются ингибиторы фосфатазы каликулин А и окадайовая кислота, которые индуцируют хромосомную конденсацию в S- и G2-фазных клетках, но не в нестимулированных лимфоцитах. Поэтому такой анализ занимает по меньшей мере 40 часов. Было обнаружено, что он подходит для анализа кольцевых хромосом, особенно при более высоких дозах [А–4].

Микроядерный тест

А-12. Микроядра возникают из ацентрических фрагментов или целых хромосом, которые не включены в дочерние ядра во время деления клеток. Микроядра не являются радиационно-специфическими; они могут быть вызваны воздействием многих кластогенных и анеугенных агентов. Как и дицентрики, микроядра представляют собой нестабильные хромосомные аберрации, которые исчезают со временем после облучения, и, таким образом, их использование ограничено случаями относительно недавнего облучения.

А-13. По сравнению с дицентрическим анализом количественная оценка микроядер проста и быстра и не требует обширного опыта в цитогенетике. Наряду с тем, что оценка микроядер может быть автоматизирована, этот метод привлекателен для крупномасштабного анализа и был валидирован как хороший дозиметрический инструмент в ограниченном количестве

радиационных аварий [A–2]. Однако он не позволяет оценивать частичное облучение организма, поскольку микроядра по своей природе чрезмерно рассеяны.

A-14. Наибольшими ограничениями методики микроядерных тестов являются время, необходимое для получения первой оценки дозы (по меньшей мере 75 ч в связи с тем, что для входа лимфоцитов в цитокинез после стимуляции требуются 3 сут) и относительно высокий и вариабельный спонтанный выход микроядер, который, как правило, увеличивается с возрастом и более выражен у женщин [A–5]. Предел обнаружения может быть снижен до 0,05-0,1 Гр путем ограничения оценки центромерными отрицательными микроядрами, поскольку на их частоту не влияет возрастное увеличение [A–6].

Флуоресцентная гибридизация in situ (FISH)

A-15. Наиболее часто используется метод одноцветного FISH-анализа, который позволяет обнаруживать взаимообмены, такие как дицентрики и транслокации. Для оценки индуцированных транслокаций между различными мечеными хромосомами были разработаны многоцветный FISH-анализ и, для анализа всего генома, мультиплексный FISH-анализ. Мультиплексный FISH-анализ является предпочтительным методом для изучения сложных межхромосомных перестроек. Это 24-цветный метод идентификации и оценки размера, формы и количества хромосом в пробе клеток организма.

A-16. Было показано, что частоты транслокации сохраняются в циркулирующих лимфоцитах в течение многих лет [A–7 – A–10], что делает этот метод весьма привлекательным в случаях длительного облучения или для оценки давних облучений. Методы FISH-анализа наиболее широко используются для индивидуумов, подвергшихся воздействию излучения с низкой линейной передачей энергии, но они также используются для индивидуумов, подвергшихся воздействию излучения с высокой линейной передачей энергии.

A-17. Время обработки составляет около 5 суток после получения пробы крови ввиду длительных протоколов гибридизации. Фоновые частоты значительно увеличиваются с возрастом [A–11, A–12], и они могут сильно варьироваться между лицами, имеющими аналогичный возраст и анамнез доз. Предполагается, что привычки курения являются существенным дополнительным искажающим фактором [A–12].

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Анализ соматических мутаций

A-18. Два анализа соматических мутаций, которые были предложены для использования в качестве альтернативных биодозиметров с целью анализа хромосомных аберраций, представляют собой анализ мутаций гликофорина А и гипоксантингуанинфосфорибозилтрансферазы. В нескольких исследованиях сравнивали один или оба этих анализа с анализом хромосомных аберраций, и все пришли к выводу, что последний является предпочтительным методом ретроспективной биодозиметрии [A–13 – A–15].

Анализ экспрессии генов

A-19. Уровни экспрессии многих генов модулируются в ответ на воздействие ионизирующего излучения. Была проведена оценка профилей экспрессии генов у лиц, работающих в радиационно-опасных условиях, и пациентов, получающих лучевую терапию [A–16 - A–19]. Ключевыми этапами применения анализа в формате массива являются экстракция РНК, мечение и гибридизация РНК. Для получения оценки дозы в случае менее чем десяти проб может потребоваться около 2 суток.

БЕЛКОВЫЕ БИОМАРКЕРЫ

A-20. В результате биологических реакций на облучение на клеточном, тканевом или системном уровне происходят многочисленные изменения в количестве и локализации белка, а также ферментативные модификации. Такие изменения могут быть выявлены в пробах мочи или крови с помощью ряда протеомных подходов. Для этих видов анализа время между получением пробы и результатом обычно составляет порядка нескольких часов.

Гамма-H2AX

A-21. Иммунофлуоресцентное микроскопическое обнаружение очагов фосфорилированного гистона гамма-H2AX, которые образуются в местах разрывов двухцепочечной ДНК, было протестировано в нескольких клинических условиях и показало, что он является чувствительным биомаркером облучения. Очаги гамма-H2AX образуются дозозависимым

образом в течение минут после облучения. Уровни очагов достигают пика менее чем через час, а затем быстро спадают, возвращаясь к исходным уровням в течение периода от одних до нескольких суток, в зависимости от полученной дозы.

А-22. Чувствительность этого массива снижается вследствие значительных межиндивидуальных колебаний исходных уровней и быстрого уменьшения числа очагов с течением времени. Таким образом, он может быть надежно применен только к весьма недавнему облучению (менее чем за 1 сутки). Автоматизированные методы оценки очагов обеспечивают более воспроизводимые критерии оценки [А–20].

С-реактивный белок

А-23. Высокий уровень облучения вызывает воспалительную реакцию, которая через цитокины приводит к появлению С-реактивного белка в течение нескольких дней после облучения. Учитывая, что уровень С-реактивного белка повышается при многих острых или хронических заболеваниях, он не является специфичным для облучения и поэтому непригоден в качестве отдельного биодозиметрического инструмента.

А-24. Преимущество анализа С-реактивного белка заключается в том, что он уже полностью автоматизирован и может быть выполнен быстро (в течение нескольких часов) в любой современной больнице с отделением клинической биохимии. Кроме того, регулярно используются ручные развертываемые системы анализа С-реактивного белка, и поэтому их можно применять в качестве инструмента ускоренного скрининга.

Сывороточная амилаза

А-25. Повышенная активность амилазы в сыворотке крови (гиперамилаземия) наблюдается после воздействия на слюнную ткань, как следствие индукции острых воспалительных и дегенеративных изменений. Так же, как в случае С-реактивного белка, уровни амилазы в сыворотке увеличиваются дозозависимым образом, достигая пика через 18–30 ч после облучения и возвращаясь к исходным уровням в течение нескольких дней [А–21]. Одним из очевидных ограничений метода является то, что он ограничен дозой, полученной слюнной железой, поскольку воздействие других тканей не приведет к значительному изменению уровней

амилазы. Кроме того, как и в случае С-реактивного белка, он не является специфичным для облучения и поэтому также непригоден в качестве отдельного биодозиметрического инструмента.

А-26. Были предложены различные другие белковые маркеры для облучения человека [А–22, А–23].

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

А-27. Физические методы – это методы, которые включают изучение физических эффектов, вызываемых излучением, а не биологических эффектов, даже если они применяются в отношении биологических тканей, таких как волосы, ногти, зубная эмаль и кости. Как правило, время от получения пробы до оценки дозы составляет от 1 ч до 48 ч, в зависимости от требуемой точности.

Электронная парамагнитно-резонансная дозиметрия

А-28. Метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) дает оценку поглощенной дозы путем обнаружения парамагнитных центров, таких как радикалы или точечные дефекты, которые специфически генерируются ионизирующим излучением. Типичными областями применения являются ЭПР-спектроскопия по зубной эмали [А–24, А–25] или, при наличии костной биопсии, по костной ткани [А–26]. Однако для обоих этих применений требуется инвазивный отбор проб. К другим подходящим материалам, отбор проб которых может быть произведен с помощью неинвазивных процедур, относятся сахар, пласмассы, стекло, шерсть, хлопок, волосы и ногти.

А-29. Стабильность сигнала ЭПР во времени широко варьируется для разных материалов и характеризуется диапазоном от 5 суток до 7 суток для пластмасс [А–27] и приблизительно до 106 лет для зубной эмали [А–28]. Наличие в ЭПР фоновых нерадиационных индуцированных сигналов влияет на пределы детектирования этого метода, которые лежат в широком диапазоне между приблизительно 100 мГр для зубной эмали и 10 Гр для хлопка.

А-30. Подготовка проб для ЭПР-дозиметрии обычно относительно проста. В зависимости от материала, одно измерение может занять от нескольких минут до нескольких часов. Показания являются неразрушающими, что позволяет проводить повторные измерения

одной и той же пробы. Недостатком является то, что спектрометры для ЭПР являются дорогостоящими и для их эксплуатации необходим высококвалифицированный персонал.

А-31. Методы in vivo измерений на зубах с помощью ЭПР используют микроволновые частоты 1 ГГц [А–29], которые ниже, чем частоты, используемые для обычных измерений in vitro (~10 ГГц). При использовании низкочастотных микроволн ожидается снижение чувствительности в 5-10 раз по сравнению со спектрометрией в диапазоне X; поэтому ожидается, что предел обнаружения находится в диапазоне 0,5 – 1 Гр.

Люминесцентная дозиметрия

А-32. Основа для методов люминесценции в ретроспективной дозиметрии такая же, как описана в Добавлении II для методов люминесценции в проспективной дозиметрии. Кварц, извлеченный из кирпича и других подвергаемых обжигу строительных материалов, в настоящее время является основным минералом, используемым для ретроспективной люминесцентной дозиметрии. Помимо кварца, недавно были изучены другие люминофоры, которые можно найти либо в городской среде, либо в материалах, носимых на теле или близко к телу лиц из населения [А–30].

А-33. Примерами таких материалов являются модули чипов памяти из телефонных карт, удостоверений личности, карт медицинского страхования, платежных карт и кредитных карт [А–30 – А–34]; керамические резисторы портативных электронных устройств, таких как мобильные телефоны [А–34, А–35]; материалы, используемые для восстановления зубов [А–31, А–36]; зубная эмаль [А–37, А–38]; бытовые и промышленные химикаты [А–39, А–40]; и стекло [А–41].

А-34. Процедуры подготовки проб и протоколы измерений различаются, но они относительно быстры и просты для большинства материалов: проба предмета личного пользования может быть обработана менее чем за час. Большая часть этих элементов демонстрирует линейную дозозависимость в широком диапазоне доз, и для большинства материалов могут быть достигнуты пределы обнаружения порядка 10 мГр.

Активационные методы

А-35. Нейтронно-активационные методы основаны на измерении активности, вызванной взаимодействием нейтронов с биологическими тканями, такими как кровь, волосы или ногти, или металлическими элементами, которые носят объекты воздействия, такими как монеты, ювелирные изделия или пряжки ремня.

А-36. Активационные методы могут быть использованы при управлении аварийным реагированием в случае аварии с возникновением критичности и при реконструкции доз через много лет после облучения нейтронами. На ранней стадии управления аварией с возникновением критичности быстрая и эффективная сортировка пострадавших может быть выполнена с использованием измерения активации натрия у человека. На месте аварии можно проводить очень быстрые измерения гамма-излучения, излучаемого ^{24}Na (образующегося при активации ^{24}Na в организме и испускающего гамма-излучение с пиками на энергиях 1,36 МэВ и 2,75 МэВ, с периодом полураспада 14,96 ч) с помощью простого прибора для прямой гамма-съемки, расположенного у брюшной области пострадавшего. Более точная оценка связанной с натрием активности у пострадавшего может быть выполнена позднее с помощью счетчика излучения человека или гамма-спектрометрии проб крови.

А-37. Измерения содержания активированной серы в волосах и ногтях также использовались для целей реконструкции доз после аварий. В этом случае измерение испускаемых ^{32}P бета-частиц, образующихся в результате активации ^{32}S в организме, может быть проведено непосредственно с помощью счетчика Гейгера-Мюллера или с помощью жидкостных сцинтилляционных методов, следуя простым химическим процедурам.

А-38. Другая возможность заключается в определении доз путем измерения долгоживущих активированных ядер в пробах окружающей среды (например, ^{63}Ni в пробах меди и ^{152}Eu, ^{60}Co, ^{59}Ni, ^{41}Ca, ^{39}Ar, ^{36}Cl, ^{14}C или ^{10}Be в граните) или в биологических материалах (например, ^{41}Ca в зубной эмали), как это было сделано для выживших жертв атомных бомбардировок в Японии.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К ПРИЛОЖЕНИЮ

[A–1] AINSBURY, E.A., et al., Review of retrospective dosimetry techniques for external ionising radiation exposures, Radiat. Prot. Dosim. **147** (2011) 573–592.

[A–2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Использование цитогенетической дозиметрии для обеспечения готовности и реагирования при радиационных аварийных ситуациях, Аварийная готовность и реагирование, EPR-Biodosimetry 2011, МАГАТЭ, Вена (2014).

[A–3] AINSBURY, E.A., BARQUINERO, J.F., Biodosimetric tools for a fast triage of people accidentally exposed to ionising radiation: Statistical and computational aspects, Ann. Ist. Super. Sanità **45** (2009) 307–312.

[A–4] HAYATA, I., KANDA, R., MINAMIHISAMATSU, M., FURUKAWA, M., SASAKI, M.S., Cytogenetical dose estimation for 3 severely exposed patients in the JCO criticality accident in Tokai-mura, J. Radiat. № **42** Suppl. (2001) S149–S155.

[A–5] FENECH, M., The cytokinesis-block micronucleus technique: A detailed description of the method and its application to genotoxicity studies in human populations, Mutat. № **285** (1993) 35–44.

[A–6] THIERENS, H., VRAL, A., The micronucleus assay in radiation accidents, Ann. Ist. Super. Sanità **45** (2009) 260–264.

[A–7] TAWN, E.J., WHITEHOUSE, C.A., Persistence of translocation frequencies in blood lymphocytes following radiotherapy: Implications for retrospective radiation biodosimetry, J. Radiol. Prot. **23** (2003) 423–430.

[A–8] LLOYD, D.C., MOQUET, J.E., ORAM, S., EDWARDS, A.A., LUCAS, J.N., Accidental intake of tritiated water: A cytogenetic follow-up case on translocation stability and dose reconstruction, Int. J. Radiat. Biol. **73** (1998) 543–547.

[A–9] LINDHOLM, C., EDWARDS, A., Long-term persistence of translocations in stable lymphocytes from victims of a radiological accident, Int. J. Radiat. Biol. **80** (2004) 559–566.

[A–10] EDWARDS, A.A., et al., Review of translocations detected by FISH for retrospective biological dosimetry applications, Radiat. Prot. Dosim. **113** (2005) 396–402.

[A–11] WHITEHOUSE, C.A., et al., Translocation yields in peripheral blood lymphocytes from control populations, Int. J. Radiat. Biol. **81** (2005) 139–145.

[A–12] SIGURDSON, A.J., et al., International study of factors affecting human chromosome translocations, Mutat. № **652** (2008) 112–121.

[A–13] KLEINERMAN, R.A., ROMANYUKHA, A.A., SCHAUER, D.A., TUCKER, J.D., Retrospective assessment of radiation exposure using biological dosimetry: Chromosome painting, electron paramagnetic resonance and the glycophorin A mutation assay, Radiat. № **166** (2006) 287–302.

[A–14] JONES, I.M., et al., Three somatic genetic biomarkers and covariates in radiation exposed Russian cleanup workers of the Chernobyl nuclear reactor 6–13 years after exposure, Radiat. № **158** (2002) 424–442.

[A–15] EDWARDS, A., et al., Biological estimates of dose to inhabitants of Belarus and Ukraine following the Chernobyl accident, Radiat. Prot. Dosim. **111** (2004) 211–219.

[A–16] SAKAMOTO-HOJO, E.T., et al., Gene expression profiles in human cells submitted to genotoxic stress, Mutat. № **544** (2003) 403–413.

[A–17] MORANDI, E., et al., Gene expression changes in medical workers exposed to radiation, Radiat. № **172** (2009) 500–508.

[A–18] MEADOWS, S.K., et al., Gene expression signatures of radiation response are specific, durable and accurate in mice and humans, PLoS One **3** (2008) e1912.

[A–19] FACHIN, A.L., et al., Gene expression profiles in radiation workers occupationally exposed to ionizing radiation, J. Radiat. № **50** (2009) 61–71.

[A–20] ROTHKAMM, K., HORN, S., Gamma-H2AX as protein biomarker for radiation exposure, Ann. Ist. Super. Sanità **45** (2009) 265–271.

[A–21] CHEN, I.W., KEREIAKES, J.G., SILBERSTEIN, E.B., ARON, B.S., SAENGER, E.L., Radiation-induced change in serum and urinary amylase levels in man, Radiat. № **54** (1973) 141–151. [A–22] MARCHETTI, F., COLEMAN, M.A., JONES, I.M., WYROBEK, A.J., Candidate protein biodosimeters of human exposure to ionizing radiation, Int. J. Radiat. Biol. **82** (2006) 605–639.

[A–23] GUIPAUD, O., BENDERITTER, M., Protein biomarkers for radiation exposure: Towards a proteomic approach as a new investigation tool, Ann. Ist. Super. Sanità **45** (2009) 278–286.

[A–24] FATTIBENE, P., CALLENS, F., EPR dosimetry with tooth enamel: A review, Appl. Radiat. Isot. **68** (2010) 2033–2116.

[A–25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Use of Electron Paramagnetic Resonance Dosimetry with Tooth Enamel for Retrospective Dose Assessment, IAEA-TECDOC-1331, IAEA, Vienna (2002).

[A–26] CLAIRAND, I., HUET, C., TROMPIER, F., BOTTOLLIER-DEPOIS, J.-F., Physical dosimetric reconstruction of a radiological accident due to gammagraphy equipment that occurred in Dakar and Abidjan in summer 2006, Radiat. Meas. **43** (2008) 698–703.

[A–27] TROMPIER, F., BASSINET, C., CLAIRAND, I., Radiation accident dosimetry on plastics by EPR spectrometry, Health Phys. **98** (2010) 388–394.

[A–28] SCHWARCZ, H.P., ESR studies of tooth enamel, Nucl. Tracks Radiat. Meas. (1982) **10** (1985) 865–867.

[A–29] IWASAKI, A., GRINBERG, O., WALCZAK, T., SWARTZ, H.M., In vivo measurements of EPR signals in whole human teeth, Appl. Radiat. Isot. **62** (2005) 187–190.

[A–30] CORRECHER, V., GARCIA-GUINEA, J., RIVERA, T., Thermoluminescence sensitivity of daily-use materials, Radiat. Eff. Defects Solids **164** (2009) 232–239.

[A–31] GÖKSU, H.Y., BAILIFF, I.K., Luminescence dosimetry using building materials and personal objects, Radiat. Prot. Dosim. **119** (2006) 413–420.

[A–32] WODA, C., SPÖTTL, T., On the use of OSL of wire-bond chip card modules for retrospective and accident dosimetry, Radiat. Meas. **44** (2009) 548–553.

[A–33] GÖKSU, H.Y., Telephone chip-cards as individual dosemeters, Radiat. Meas. **37** (2003) 617–620.

[A–34] BASSINET, C., TROMPIER, F., CLAIRAND, I., Radiation accident dosimetry on electronic components by OSL, Health Phys. **98** (2010) 440–445.
[A–35] INRIG, E.L., GODFREY-SMITH, D.I., KHANNA, S., Optically stimulated luminescence of electronic components for forensic, retrospective, and accident dosimetry, Radiat. Meas. **43** (2008) 726–730.
[A–36] VERONESE, I., et al., Study of TSL and OSL properties of dental ceramics for accidental dosimetry applications, Radiat. Meas. **45** (2010) 35–41.
[A–37] GODFREY-SMITH, D.I., Toward in vivo OSL dosimetry of human tooth enamel, Radiat Meas. **43** (2008) 854–858.
[A–38] DEWITT, R., KLEIN, D.M., YUKIHARA, E.G., SIMON, S.L., McKEEVER, S.W., Optically stimulated luminescence (OSL) of tooth enamel and its potential use in post-radiation exposure triage, Health Phys. **98** (2010) 432–439.
[A–39] THOMSEN, K.J., BØTTER-JENSEN, L., MURRAY, A.S., Household and workplace chemicals as retrospective luminescence dosemeters, Radiat. Prot. Dosim. **101** (2002) 515–518.
[A–40] BERNHARDSSON, C., CHRISTIANSSON, M., MATTSSON, S., RÄÄF, C.L., Household salt as a retrospective dosemeter using optically stimulated luminescence, Radiat. Environ. Biophys. **48** (2009) 21–28.
[A–41] BASSINET, C., TROMPIER, F., CLAIRAND, I., Radiation accident dosimetry on glass by TL and EPR spectrometry, Health Phys. **98** (2010) 400–405.

СОКРАЩЕНИЯ

АМАД	медианный по активности аэродинамический диаметр
ДТПА	диэтилентриаминпентауксусная кислота
МКРЕ	Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
МЭК	Международная электротехническая комиссия
ОБЭ	относительная биологическая эффективность
ЭПР	электронный парамагнитный резонанс
FISH	флуоресцентная гибридизация in situ
HEPA	высокоэффективный воздушный фильтр

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Cruz Suarez, R.	Международное агентство по атомной энергии
Delves, D.	Международное агентство по атомной энергии
Doty, R.	Консультант
Gaunt, M.R.	Компания «Роллс-Ройс, публичная компания с ограниченной ответственностью», Великобритания
Giussani, A.	Федеральное ведомство по радиационной защите, Германия
Hajek, M.	Международное агентство по атомной энергии
Haridasan, P.P.	Международное агентство по атомной энергии
Кутьков, В.	Международное агентство по атомной энергии
Ma, J.	Международное агентство по атомной энергии
Nestoroska, M.S.	Международное агентство по атомной энергии
Niu, S.	Международное бюро труда
Okyar, H.B.	Международное агентство по атомной энергии
Pradeepkumar, K.S.	Центр атомных исследований им. Бхабхи, Индия
Pushparaja, P.	Radiation Protection and Environment, India (Журнал «Радиационная защита и окружающая среда», Индия)
Saigusa, S.	Национальный институт радиологических наук, Япония
Shaw, J.	Организация «Public Health England» («Общественное здравоохранение в Англии»), Соединенное Королевство
Suzuki, T.	Национальный институт радиологических наук, Япония

Vanhavere, F.	Бельгийский центр ядерных исследований, Бельгия
Wymer, D.G.	Консультант
Xia, Y.	Китайский институт атомной энергии, Китай
Zodiates, T.	Компания «ЭДФ энерджи ньюклеар дженерейшн лтд», Соединенное Королевство

ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня.

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

Bernan / Rowman & Littlefield
15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA
Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550
Эл. почта: orders@rowman.com • Сайт: http://www.rowman.com/bernan

ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

Eurospan Group
Gray's Inn House
127 Clerkenwell Road
London EC1R 5DB
United Kingdom

Торговые заказы и справочная информация:
Тел.: +44 (0)176 760 4972 • Факс: +44 (0)176 760 1640
Эл. почта: eurospan@turpin-distribution.com

Индивидуальные заказы:
www.eurospanbookstore.com/iaea

Дополнительная информация:
Тел.: +44 (0)207 240 0856
Факс: +44 (0)207 379 0609
info@eurospangroup.com
Сайт: www.eurospangroup.com

Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)
Международное агентство по атомной энергии
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Тел.: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529
Эл. почта: sales.publications@iaea.org • Сайт: www.iaea.org/publications

Обеспечение безопасности с помощью международных норм

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА