Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

КОНТРОЛЬ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ОБЪЕКТА, В УСЛОВИЯХ ЕГО НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Методические указания
МР 2.6.1.0063-12

Москва
2012

Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии : методические рекомендации – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012 – 45 с.

1. Авторский коллектив:
– Федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (А.Н. Барковский, Н.К. Барышков, Г.Я. Брук, Б.Ф. Воробьев, В.Ю. Голиков, И.А. Звонова, А.С. Мишин, В.Н. Шутов, К.В. Шилова);
– Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ростовской области (М.Ю. Соловьев, М.В. Калинина).
2. Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 06 июня 2012 г.
3. Введены в действие с момента утверждения.

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Федеральной службы
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главный государственный санитарный врач Российской Федерации

_____ Г.Г. Онищенко

06 июня 2012 г.

Дата введения: с момента утверждения

2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность

КОНТРОЛЬ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ОБЪЕКТА, В УСЛОВИЯХ ЕГО НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Методические рекомендации
МР 2.6.1.0063 –12

1. Область применения

1.1. Настоящие методические рекомендации (МР) предназначены для органов и организаций Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, федеральных органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, организаций и специалистов, участвующих в разработке программ радиационного мониторинга и осуществляющих оценку и контроль доз облучения населения, проживающего в зонах наблюдения (ЗН) радиационных объектов. Они содержат рекомендации по исходным данным, алгоритмы и процедуру расчета доз облучения населения, проживающего в ЗН радиационных объектов в условиях их нормальной эксплуатации и радиационной аварии.

1.2. МР предназначены для использования в составе методического обеспечения автоматизированной системы контроля радиационного воздействия (АСКРВ), являющейся подсистемой Единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (ЕГАСКРО). Они также предназначены для получения информации, необходимой для заполнения радиационно-гигиенического паспорта радиационного объекта.

2. Термины и определения

В настоящем документе, кроме терминов, приведенных в СанПин 2.6.1. 2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) (НРБ-99/2009), дополнительно используются следующие термины:

2.1. **Радиационная обстановка** – совокупность радиационных факторов в пространстве и во времени, способных воздействовать на функционирование (использование) объекта, вызывать облучение персонала, населения и окружающей среды.

2.2. **Радиационный параметр** – физическая величина, характеризующая поля ионизирующих излучений, источники ионизирующих излучений и результаты взаимодействия ионизирующих излучений со средой, используемая для оценки состояния радиационной обстановки.

2.3. **Среда обитания человека** – совокупность физических, химических и биологических компонентов внешней (по отношению к организму человека) среды.

2.4. **Производственная среда** – часть среды обитания в пределах специально контролируемых производственных (рабочих) зон под юрисдикцией (ответственностью) администрации, осуществляющей производственную деятельность на территории промплощадки предприятия.

2.5. **Жилая среда** – часть среды обитания в пределах населенных пунктов (за исключением промплощадок предприятий и санитарно-защитных зон) под юрисдикцией (ответственностью) местных органов самоуправления: строения и помещения, предназначенные для проживания людей, а также общественный транспорт.

2.6. **Окружающая природная среда (ОПС)** – совокупность геофизических и биологических составляющих природной среды (атмосферный воздух, поверхностные воды, почва, растения, животные) в условиях естественных (вне сферы хозяйственной деятельности), а также частично или полностью освоенных экологических систем за пределами производственной и жилой среды обитания человека.

2.7. **Зона радиационной аварии** – территория, где уровни облучения населения или персонала, обусловленные аварией, превысили пределы доз, установленные для нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего облучения.

В документе используются следующие единицы системы СИ:

Величина	Символ	Единицы СИ
Поглощенная доза	D	мкГр, нГр
Эффективная доза	E	мЗв, мкЗв
Мощность поглощенной дозы	$\dot{D}$	нГр/час, мкГр/сут
Мощность эффективной дозы	$\dot{E}$	мкЗв/сут, мкЗв/год
Поверхностная активность радионуклида на почве	σ	кБк/м^2
Мощность поглощенной дозы, нормированная на поверхностную активность нуклида	d	(мкГр•м^2)/(кБк•год)
Мощность эффективной дозы, нормированная на поверхностную активность нуклида	e	(мкЗв•м^2)/(кБк•год)
Удельная активность радионуклида	S	Бк/кг
Объемная активность радионуклида	C	Бк/м^3, Бк/л

1 Ки/км^2 = 37 кБк/м^2; 1 мкР/час = 8,7 нГр/час;

3. Нормативные ссылки

Настоящие методические рекомендации подготовлены с учетом требований следующих документов:

3.1. Федеральный Закон от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».

3.2. Федеральный Закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

3.3. Федеральный закон от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии».

3.4. Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1. 2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

3.5. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010).

3.6. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.24-03. «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)».

3.7. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.07-03. «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации предприятий атомной промышленности (СПП ПУАП-03)».

3.8. Санитарные правила СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ».

3.9. Методические указания МУ 2.6.1.1868-04 «Внедрение показателей радиационной безопасности о состоянии объектов окружающей среды, в том числе продовольственного сырья и пищевых продуктов, в систему социально-гигиенического мониторинга».

3.10. Методические указания МУ 2.6.1.2005-05 «Установление категории потенциальной опасности радиационного объекта».

3.11. Методические указания МУ 2.6.1. 2153-06 «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем».

3.12. Методические рекомендации МР 2.6.1.27-03 «Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды».

3.13. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях. IAEA-TECDOC-1092/R. МАГАТЭ. 2002.

3.14. Руководство по радиационной защите при авариях на ядерных реакторах. IAEA-TECDOC-955/R. МАГАТЭ. 1998.

4. Сокращения, используемые в документе

АСКРВ – автоматизированная система контроля радиационного воздействия.

ЕГАСКРО – Единая государственная система контроля и учета доз облучения жителей Российской Федерации.

ЖКТ – желудочно-кишечный тракт.

ЗН – зона наблюдения радиационного объекта.

КП – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растительность и пищевые продукты.

ЛПХ – личное подсобное хозяйство.

МР – данные методические рекомендации.

НП – населенный пункт.

ОПС – окружающая природная среда.

ПГТ – поселок городского типа.

СГЭД – средняя для НП годовая эффективная доза.

СИЧ – счетчик излучения человека.

ТЛД – термолюминесцентные дозиметры.

5. Общие положения

5.1. Для предотвращения превышения предела дозы техногенного облучения населения, подвергающегося облучению от нескольких радиационных объектов, устанавливаются квоты на облучение населения. Сумма квот от различных источников излучения не должна превышать дозового предела облучения населения, установленного НРБ-99/2009.

5.2. Значение квоты рассматривается как верхняя граница возможного облучения населения от радиационных факторов при оптимизации радиационной защиты населения в режиме нормальной эксплуатации радиационного объекта. В качестве нижней границы дозы облучения от отдельного радиационного фактора при оптимизации радиационной защиты населения в режиме нормальной эксплуатации радиационного объекта принимается минимально значимая доза, равная 10 мкЗв в год.

5.3. В проекте зон наблюдения радиационного объекта (ЗН) I категории определяются ее размер и границы. По следующим критериям проводится анализ хозяйственной деятельности для определения основных путей облучения населения, проживающего и работающего в ЗН:

– устанавливается количество населённых пунктов (НП) и мест организованного пребывания населения вне территории НП, находящихся в ЗН, их расположение относительно радиационного объекта;

– численность жителей в НП, характер их занятий;

– наличие и расположение объектов сельскохозяйственного производства, включая личные подсобные хозяйства (ЛПХ) и садово-огородные участки. Виды сельскохозяйственной продукции, производимой на территории ЗН, включая продукцию, произведенную в личных подсобных хозяйствах и на садово-огородных участках;

– наличие и расположение водоемов, которые используются для хозяйственно-питьевых, культурно-бытовых нужд, полива и иных целей;

– рацион питания населения ЗН с учетом национальных особенностей;

– тип водоснабжения населения ЗН;

– типы жилищ в НП зоны наблюдения. Данная информация необходима при расчете доз внешнего облучения населения для оценки коэффициентов экранирования внешнего излучения зданиями.

На основании вышеуказанной информации устанавливается объем, периодичность и приборно-методическое обеспечение радиационного контроля, проводимого в ЗН.

5.4. Радиационный контроль на территории ЗН должен осуществляться службами радиационной безопасности организации, а также органами, уполномоченными осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор. Радиационный контроль в ЗН должен обеспечивать получение достоверной информации о параметрах радиационной обстановки, позволяющей принять решения, направленные на снижение уровня облучения людей, как при нормальной эксплуатации радиационного объекта, так и в случае аварии.

5.5. Согласно настоящим МР, оценка доз облучения населения, проживающего в ЗН радиационных объектов, производится как для нормальных условий эксплуатации радиационных объектов, так и для аварийных ситуаций.

5.6. В случае нормальных условий эксплуатации радиационного объекта оценка доз облучения населения осуществляется с целью:

– их сравнения с дозовой квотой облучения населения зоны наблюдения в случае одного техногенного источника или с пределом дозы в случае нескольких источников;

– выявления изменений и прогнозирования уровней облучения населения зоны наблюдения.

5.7. В случае возникновения аварийной ситуации положения МР предназначены для использования в системе аварийного реагирования органов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Они устанавливают способы интерпретации результатов измерений и алгоритмы оценки прогнозируемых доз внешнего и внутреннего облучения населения в отсутствии мер радиационной защиты в краткосрочной перспективе. Результаты измерений и основанные на них прогнозные оценки доз облучения населения за 1-й месяц и за 1-й год после аварии при отсутствии мер радиационной защиты должны, наряду с данными измерений других вед омств, использоваться:

– для радиологического обоснования введения защитных мероприятий на промежуточной фазе аварии (п. 6.4. НРБ-99/2009);

– для реконструкции доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения.

5.8. Исходными данными для выполнения расчетов доз являются концентрации радионуклидов техногенного происхождения в объектах внешней среды, продуктах питания и природных пищевых продуктах, а также мощности доз гамма-излучения в НП и его ареале. Иными словами, оценка дозы, главным образом, основывается на результатах радиационного мониторинга в местах проживания и хозяйственной деятельности населения, а не на результатах радиационного мониторинга за источником техногенного излучения.

5.9. Для идентификации возможных путей облучения человека рассматривается радиоактивное загрязнение среды его обитания путем выброса радионуклидов в атмосферу или сброса в поверхностные воды.

Радиоактивные вещества, выброшенные в атмосферу, распространяются в дальнейшем ветровым потоком от точки выброса на значительные расстояния, перемешиваясь и осаждаясь на подстилающую поверхность в соответствии с атмосферными процессами. Концентрация радиоактивной примеси в приземном слое воздуха является исходным параметром, определяющим ингаляционное поступление радионуклидов в организм человека и последующее внутреннее облучение, а также внешнее облучение человека от радиоактивного облака. Поверхностное радиоактивное загрязнение почвы и водных объектов является исходным звеном в дальнейшей цепочке путей облучения человека: внешнего облучения от подстилающей поверхности, внутреннего облучения от прямого и вторичного (ресуспензия) загрязнения растительности, а также за счет корневого поступления радионуклидов в растения. Кроме того, радионуклиды могут поступать в пищевую цепочку в результате полива сельскохозяйственных угодий или личных огородов загрязненной водой (рис. 1 а).

Радионуклиды могут поступать в реки и озера либо непосредственно от атмосферных выпадений, либо в результате их смыва с загрязненной почвы, либо от их прямого сброса в реки или озера. В любом случае водные объекты будут являться потенциальным источником как внешнего, так и внутреннего облучения человека. Внешнее облучение будет обусловлено радиоактивным загрязнением воды и берегов водоемов, а внутреннее облучение будет возникать за счет поступления радионуклидов в организм человека с питьевой водой и по водной пищевой цепочке. Доза внешнего облучения человека будет определяться концентрацией радионуклидов в воде. Доза внутреннего облучения определяется концентрацией радионуклидов и потребляемым количеством питьевой воды и продуктов водной пищевой цепочки (рис. 1 б).

5.10. Согласно настоящим МР, определяется средняя эффективная доза Е техногенного облучения у представителей выбранной группы жителей НП (критическая группа жителей, все жители НП, расположенного в зоне наблюдения) как сумма дозы внешнего E^{ext} и внутреннего E^{int} облучения:

$$E = E^{ext} + E^{int} \quad (5.1)$$

Доза внешнего облучения соответствует ее величине, накопленной в течение выбранного промежутка времени (месяц, год). Доза внутреннего облучения, обусловленная поступлением радионуклидов техногенного происхождения с пищевыми продуктами и вдыхаемым воздухом в течение выбранного промежутка времени (месяц, год), рассматривается как ожидаемая в предстоящие 50 лет для взрослых и от момента поступления до возраста 70 лет для детей.

5.11. Базовой административной структурой для оценки дозы является отдельный НП с окружающим его ареалом. Под ареалом понимается прилегающая к НП территория, на которой население ведет хозяйственную деятельность (огороды, поля, покосы и т.п.) или проводит свободное время (берег реки, озера, лес и т.п.). В настоящем документе используется следующая градация НП:

– село: НП с числом жителей не более 10 тысяч человек, в котором большинство домов одноэтажные с ЛПХ;

– поселок городского типа (далее – ПГТ): НП с числом жителей не более 100 тысяч человек, в котором, наряду с одноэтажными, имеются многоэтажные дома без ЛПХ и значительная часть пищевых продуктов приобретается в торговой сети;

– город: НП с числом жителей более 100 тысяч человек, в котором большая их часть проживает в многоэтажных домах без ЛПХ, приобретает пищевые продукты в торговой сети и большая часть улиц и дорог имеет твердое покрытие.

6. Оценка доз облучения населения зоны наблюдения при контролируемых условиях работы радиационного объекта

6.1. Введение

6.1.1. Приоритетными с точки зрения оценки дозы техногенного облучения населения являются данные радиационного мониторинга, собранные в НП и его ареале. Дополнительными данными могут служить результаты радиационного контроля на радиационном объекте, а также в его санитарно-защитной зоне. Достоверное обнаружение радиоактивного загрязнения в пробах окружающей среды в условиях нормальной работы радиационных объектов затруднено наличием в них радионуклидов естественного, глобального, а в ряде случаев и «чернобыльского» происхождения. По этой причине на территории с уже действующими объектами (вне зоны наблюдения) или на предпусковом этапе сооружаемых объектов необходимо провести предварительный мониторинг окружающей среды для получения фоновых значений

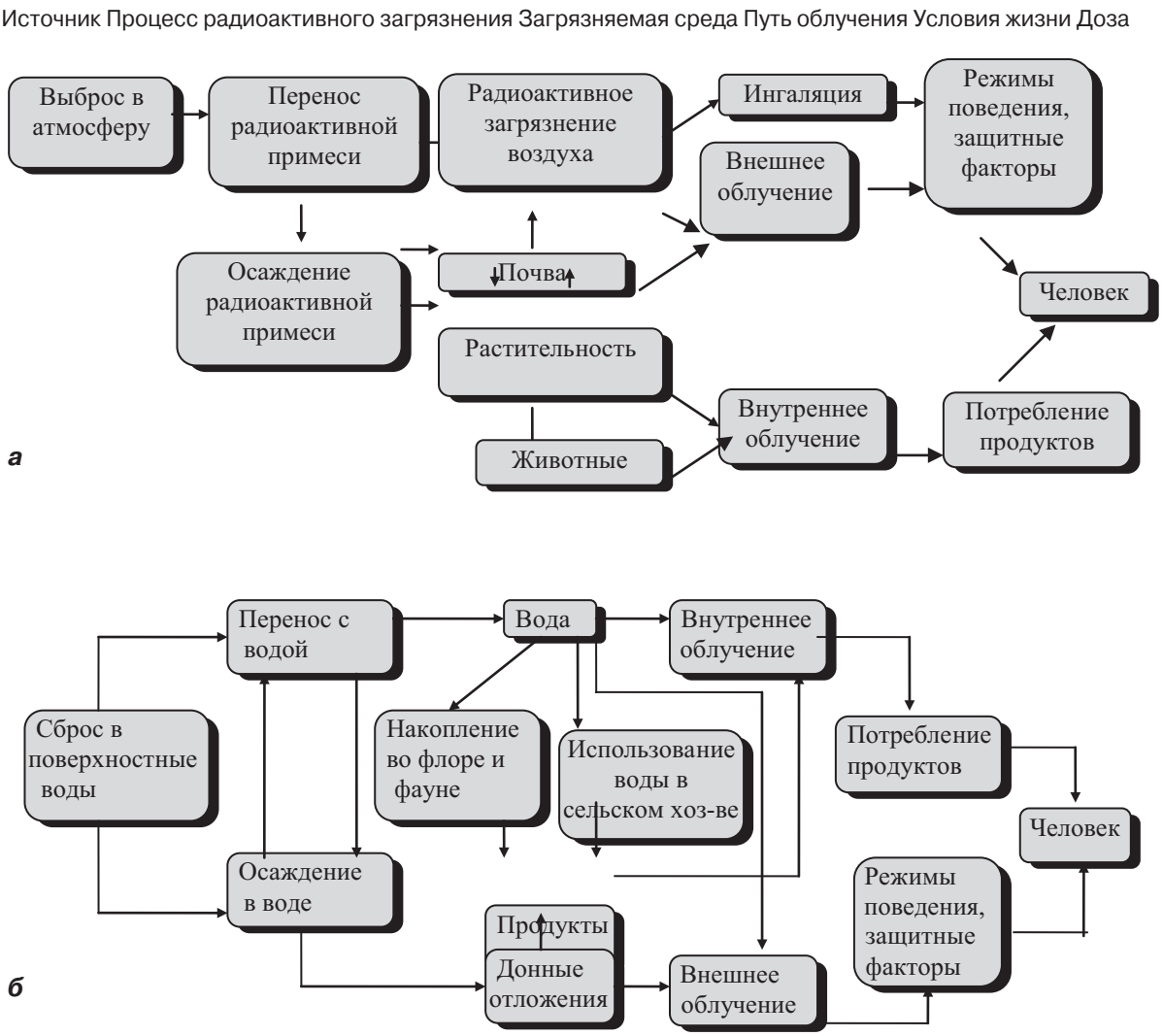

Рис. 1. Схема процессов облучения человека при радиоактивном загрязнении окружающей среды атмосферным (а) или водным (б) путем загрязнения окружающей среды

параметров радиационной обстановки. Кроме того, за пределами ЗН с наветренной стороны от радиационного объекта I категории должен дополнительно устанавливаться контрольный пост наблюдения.

6.1.2. При контролируемых условиях работы радиационного объекта производится оценка средней годовой эффективной дозы (СГЭД) у представителей критической группы населения. Согласно НРБ-99/2009, в качестве критической группы выбирается однородная по полу, возрасту, социальным и профессиональным признакам группа жителей НП численностью не менее 10 человек, которая по условиям жизни или профессиональной деятельности подвергается наибольшему текущему облучению по данному пути облучения и от данного источника излучения.

6.1.3. Пути и уровни облучения различных групп населения существенно зависят от изотопного состава радиоактивного загрязнения окружающей среды. При контролируемых условиях работы радиационного объекта для различных путей облучения ведущими радионуклидами являются:

– для внешнего облучения – Cs-137, Cs-134, I-131, Ru-106, Co-60;

– для внутреннего облучения (при поступлении радионуклидов в организм с продуктами питания и питьевой водой) – Cs-137, Cs-134, I-131, Sr-90, Ru-106;

– для внутреннего облучения (при поступлении радионуклидов в организм с вдыхаемым воздухом) – трансурановые элементы, Cs-137, Cs-134, I-131, Sr-90, Ru-106.

С учетом особенностей внешнего облучения, поступления и метаболизма радионуклидов в организме лиц разного возраста в качестве наиболее вероятных критических групп населения в случае загрязнения окружающей среды отдельными радионуклидами следует рассматривать:

– Sr-90 – дети до 2 лет, потребляющие молоко местного производства;

– Cs-134, Cs-137 – взрослые, работающие на открытой местности, особенно на целинной почве (пастухи, лесники и др.), а также лица, потребляющие большое количество молока местного производства и/или природных пищевых продуктов (рыба, грибы, лесные ягоды);

– изотопы Pu, Am-241, Ru-106 – взрослые, работающие на открытой местности, особенно на пылеобразующих операциях.

При наличии в окружающей среде нескольких радионуклидов выделить критическую группу жителей по величине СГЭД до проведения дозиметрических расчетов представляется затруднительным. Для этого необходимо выделить несколько потенциально критических групп по возрастным, социальным или профессиональным признакам или их сочетаниям и вычислить СГЭД для представителей каждой группы. По результатам вычислений группа жителей с наибольшей СГЭД определяется как критическая в данном НП, а значение дозы – как СГЭД в критической группе жителей данного НП.

6.2. Оценка доз внешнего облучения

6.2.1. Набор моделей, предназначенных для оценки дозы внешнего облучения населения, определяется и соответствует количеству путей внешнего облучения. Рассматриваются следующие потенциально возможные критические группы населения: представители взрослого населения (>17 лет), работающие преимущественно вне помещений, дети в возрасте 8–12 лет и дети младшего возраста (1–2 года). Весь процесс облучения разделяется на некоторые типичные ситуации облучения, для каждой из которых можно построить свою модель внешнего облучения. Каждая из этих частных моделей включает свой дозовый коэффициент, связывающий концентрацию радионуклидов в объектах окружающей среды с дозовой характеристикой поля внешнего излучения или непосредственно с характеристикой облучения человека – эффективной дозой. Этот набор ситуаций облучения в совокупности с набором режимных коэффициентов, характеризующих вероятности реализации каждой ситуации, определяет общую модель формирования эффективной дозы внешнего облучения для выбранных групп населения.

Вышеописанный подход предполагает использование в качестве набора исходных данных измеренные в ходе проведения радиационного мониторинга концентрации отдельных радионуклидов в объектах окружающей среды. Он реализуется, как правило, при контролируемых условиях эксплуатации радиационных объектов, т. к. в этом случае выбросы радионуклидов в окружающую среду столь малы, что их сложно будет обнаружить с помощью измерений мощности дозы.

При статистически значимом увеличении мощности дозы гамма-излучения, а также при проведении предварительного мониторинга окружающей среды с целью получения фоновых значений параметров радиационной обстановки в качестве альтернативного набора исходных для оценки СГЭД необходимо использовать результаты измерений мощности дозы в НП и в его ареале.

6.2.2. Рассматриваются следующие модели внешнего облучения:

– облучение от подстилающей поверхности;

– облучение от радиоактивного облака;

– прямое облучение при погружении в воду и при нахождении на поверхности воды (на лодке и т. п.);

– облучение от почвы, загрязненной при разливах рек и при использовании загрязненной воды для полива сельхозугодий и огородов.

6.2.3. Суммарная доза техногенного внешнего облучения от подстилающей поверхности определяется следующими основными компонентами:

– гамма-излучением Cs-137, выпавшего на поверхность земли в результате испытаний ядерного оружия (глобальные выпадения);

– гамма-излучением Cs-137 «чернобыльского» происхождения (остальные радионуклиды к настоящему времени либо распались либо их вкладом в дозу внешнего облучения можно пренебречь);

– гамма-излучением локального радиоактивного загрязнения за счет работы радиационных объектов.

В качестве базовой модели используется модель облучения человека на открытой местности. Величина СГЭД i-й группы населения при облучении от подстилающей поверхности гамма-излучением k-го радионуклида $E_{i,g}^{ext,k}$ определяется следующим образом:

$$E_{i,g}^{ext,k} = e_{i,g}^{k} \cdot \sigma_k \text{, мкЗв/год,} \qquad (6.1)$$

где: $e_{i,g}^{k}$ – дозовый коэффициент при внешнем облучении от подстилающей поверхности гамма-излучением *k*-го радионуклида (мкЗв/год)/(кБк/м^2);

σ_k – поверхностная активность k-го радионуклида на почве (кБк/м^2).

Значения дозовых коэффициентов $e_{i,g}^{k}$ для радионуклидов, перечисленных в п. 6.1.4., приведены в таблице 6.1. Они зависят не только от энергии гамма-излучения, но и от распределения активности в верхнем почвенном слое. Распределения активности глобального и «чернобыльского» Cs-137 достаточно хорошо изучены. Поэтому значения $e_{i,g}^{k}$ для этих двух компонентов техногенного облучения даны с учетом заглубления Cs-137 в почву. В случае дополнительного локального загрязнения от радиационного объекта радионуклид будет находиться в верхнем тонком (~1 см) слое почвы. Учитывая это, дозовые коэффициенты для свежих выпадений даны в предположении, что активность в виде тонкого слоя расположена на границе раздела воздух – земля, а шероховатость подстилающей поверхности учитывается коэффициентом 0,7.

Таблица 6.1

Значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД при облучении человека от подстилающей поверхности (на открытой местности)

Ei,g, мкЗв/год		$e_{i,g}^{k}$, (мкЗв/год)/(кБк/м^2)				
		Выпадения от радиационного объекта				
Глобальный Cs-137	Чернобыльский Cs-137	Cs-137	Cs-134	Ru-106	I-131	Co-60
8 / 9 / 10	6 / 6,5 /7,5	12/13/15	32/34/39	4,2/4,6/4,9	8/8,5/9,6	47/50/56

Первая цифра соответствует взрослому населению, вторая – школьникам, третья – дошкольникам; для оценки эффективной дозы от глобального цезия независимо от расположения НП поверхностное загрязнение полагалось равным 2,2 кБк/м^2 (0,06 Ки/км^2).

Для расчета $e^k_{i,g}$ от «чернобыльского» цезия необходимо использовать официальные данные Росгидромета о средней поверхностной активности Cs-137 в НП после Чернобыльской аварии. Оценка $e^k_{i,g}$ от радиоактивных выпадений вследствие работы радиационного объекта может быть основана на измерении выпадений на планшеты.

6.2.4. При облучении населения в антропогенной среде характеристики поля излучения изменяются. Учет этого в расчетных моделях производится с помощью факторов места L_j, определяемых как отношение мощности дозы в воздухе в точке *j* внутри НП или в его ареале, обусловленной техногенным гамма-излучением, к аналогичной величине над открытым целинным участком почвы.

Поведение человека в поле излучения описывается с помощью факторов поведения F_{ij}, представляющих собой долю времени, в течение которого представители i-й группы населения находятся в j-й точке НП. Сумма произведений L_j и F_{ij} по всем рассматриваемым точкам внутри НП и в его ареале $R_i = \sum_j L_j \cdot F_{ij}$ представляет собой общий фактор уменьшения дозы внешнего облучения у представителей i-й группы населения в антропогенной среде. Значения антропогенных факторов уменьшения дозы (предполагаются одинаковыми как для облучения от радиоактивного облака, так и от подстилающей поверхности для излучения всех вышеуказанных радионуклидов) для трех групп населения и трех типов НП приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Значения антропогенных факторов уменьшения дозы R_i

Тип НП	R_i, отн. ед.		
	Взрослые	Подростки	Дети младшего возраста
Село	0,60	0,50	0,50
ПГТ	0,50	0,40	0,35
Город	0,40	0,35	0,30

Значения антропогенных факторов уменьшения дозы R_i, приведенные в таблице, соответствуют условиям проживания и работы в 1-этажном деревянном доме. Иными словами, эти значения соответствуют наиболее консервативным ожидаемым значениям доз для данной группы населения.

Расчет величины СГЭД у представителей i-й группы населения в антропогенной среде, обусловленной гамма-излучением k-го радионуклида $E^k_{i,g,a}$, производится согласно соотношению:

$$E^{ext,k}_{i,g,a} = E^{ext,k}_{i,g} \cdot R_i \text{, мкЗв/год,} \quad (6.2)$$

При радиоактивном загрязнении подстилающей поверхности несколькими радионуклидами их вклады в СГЭД суммируются:

$$E^{ext}_{i,g,a} = \sum_k E^{ext,k}_{i,g,a} \text{ , мкЗв/год,} \quad (6.3)$$

6.2.5. Величина СГЭД i-й группы населения при облучении на открытой местности гамма-излучением k-го радионуклида при погружении в радиоактивное облако $E^{ext,k}_{i,c}$,с определяется следующим образом:

$$E^{ext,k}_{i,c} = e^k_{i,c} \cdot C_{k,a} \text{ , мкЗв/год,} \quad (6.4)$$

где: $e^k_{i,c}$ – дозовый коэффициент при облучении от радиоактивного облака гамма-излучением k-го радионуклида (мкЗв/год)/(Бк/м^3);

$C_{k,a}$ – среднегодовая объемная активность k-го радионуклида в приземном слое воздуха (Бк/м^3).

Значения дозовых коэффициентов $e^k_{i,c}$ приведены в таблице 6.3.

Расчет величины СГЭД от радиоактивного облака у представителей i-й группы населения в антропогенной среде, обусловленной гамма-излучением k-го радионуклида $E^k_{i,g,c}$, производится согласно соотношению:

$$E^{ext,k}_{i,c,a} = E^{ext,k}_{i,c} \cdot R_i \text{ , мкЗв/год,} \quad (6.5)$$

где: R_i – антропогенные факторы уменьшения дозы для i-й группы населения, приведенные в таблице 6.2.

При радиоактивном загрязнении воздуха несколькими радионуклидами их вклады в СГЭД суммируются:

$$E^{ext}_{i,c,a} = \sum_k E^{ext,k}_{i,c,a} \text{ , мкЗв/год,} \quad (6.6)$$

6.2.6. Величина СГЭД внешнего облучения при погружении в воду и при нахождении на поверхности воды (на лодке и т.п.) гамма-излучением k-го радионуклида $E^{ext}_{w,1}$, определяется следующим образом:

$$E^{ext,k}_{w,1} = e^k_{w,1} \cdot C_{w,k} \text{ , мкЗв/год,} \quad (6.7)$$

где: e^k_{w1} – дозовый коэффициент при данном пути облучении для k-го радионуклида (мкЗв/год)/(Бк/м^3),

$C_{w,k}$ – среднегодовая объемная активность k-го радионуклида в воде (Бк/м^3).

Значения дозовых коэффициентов e^k_{w1} приняты одинаковыми для всех трех рассматриваемых групп и рассчитаны с учетом времени пребывания на поверхности воды (принято равным 200 часов в году). Их значения приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.3

Значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД при облучении человека от радиоактивного облака (на открытой местности)

$e^k_{i,c}$, (мкЗв/год)/(Бк/м3)					
Cs-137	Cs-134	Ru-106	I-131	I-132	Co-60
0,8/1,0/1,1	2,3/2,5/2,8	0,29/0,32/0,37	0,5/0,6/0,7	3,2/3,7/4,0	3,8/4,2/4,6

Первая цифра соответствует взрослому населению, вторая – школьникам, третья – дошкольникам.

Таблица 6.4

Значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД при погружении в воду и при нахождении на поверхности воды

e^k_{w1}, (мкЗв/год)/(Бк/м^3)			
Cs-137	Cs-134	Ru-106	Co-60
$3 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	10^{-5}	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$

6.2.7. Величина СГЭД внешнего облучения от почвы на берегах рек, подвергшейся загрязнению при их разливах, и при использовании загрязненной воды для полива сельхозугодий и огородов E^k_{w2} определяется следующим образом:

$$E^{ext,k}_{w,2} = e^k_{w,2} \cdot C_{w,k}\text{, мкЗв/год,} \quad (6.8)$$

где: e^k_{w2} – дозовый коэффициент при данном пути облучении для k-го радионуклида (мкЗв/год)/(Бк/м^3),

$C_{w,k}$ – среднегодовая объемная активность k-го радионуклида в воде (Бк/м^3).

Значения дозовых коэффициентов e^k_{w2} приняты одинаковыми для всех трех рассматриваемых групп и рассчитаны с учетом времени облучения (принято 400 часов в году). Их значения приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5

Значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД внешнего облучения от почвы на берегах рек, подвергшихся загрязнению, и при использовании загрязненной воды для полива сельхозугодий и огородов

e^k_{w2}, (мкЗв/год)/(Бк/м^3)			
Cs-137	Cs-134	Ru-106	Co-60
$5{,}6 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$8{,}3 \cdot 10^{-2}$

6.2.8. При радиоактивном загрязнении воды несколькими радионуклидами их вклады в СГЭД суммируются:

$$E^{ext}_w = \sum_k C_{w,k} \cdot (e^k_{w,1} + e^k_{w,2})\text{, мкЗв/год,} \quad (6.9)$$

6.2.9. Суммарная СГЭД внешнего облучения представителей i-й группы населения за счет всех путей внешнего облучения при загрязнении окружающей среды N радионуклидами определяется следующим выражением:

$$E^{ext}_i = 10^{-3} \cdot \sum_{k=1}^{N} \left[R_i \cdot (e^k_{i,g} \cdot \sigma_k + e^k_{i,c} \cdot C_{k,a}) + C_{k,w} \cdot (e^k_{w1} + e^k_{w2}) \right]\text{, мЗв/год,} \quad (6.10)$$

Далее среди рассматриваемых групп населения выбирается группа с наибольшим значением дозы внешнего облучения, которая и будет критической группой населения по отношению к внешнему облучению от данного радиационного объекта.

6.2.10. Вторым набором исходных данных для оценки СГЭД внешнего облучения населения являются результаты измерений мощности дозы гамма-излучения в различных точках НП и в его ареале. Эти данные могут быть использованы в следующих случаях:

– когда величина мощности дозы внешнего излучения в зоне наблюдения статистически значимо отличается от фонового значения;

– когда наблюдается увеличение мощности дозы более чем на 100 нГр/час (~10 мкР/час).

В первом случае величина СГЭД внешнего облучения представителей i-й группы оценивается с помощью следующих выражений:

– если среднегодовая мощность дозы гамма-излучения оценена по результатам измерений только над открытыми целинными участками почвы:

$$E^{ext}_i = 8{,}76 \cdot 10^{-3} \cdot K^E_i \cdot R_i \cdot (P_{art} - P^0_{art})\text{, мЗв,} \quad (6.11)$$

– если среднегодовая мощность дозы гамма-излучения оценена по результатам измерений в ряде точек НП:

$$E^{ext}_i = 8{,}76 \cdot 10^{-3} \cdot K^E_i \cdot \sum_j F_{ij} \cdot (P_{j,art} - P^0_{j,art})\text{, мЗв,} \quad (6.12)$$

где: P_{art} и $P_{j,art}$ (нГр/час) – значения среднегодовой мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м над подстилающей поверхностью для целинных участков почвы и других j-х точек в НП и в его ареале;

P^0_{art} и $P^0_{j,art}$ (нГр/час) – аналогичные фоновые значения;

F_{ij} – факторы поведения, представляющие собой долю времени, в течение которого представители i-й группы населения находятся в j-й точке НП;

R_i – антропогенные факторы уменьшения дозы для i-й критической группы (см. табл. 6.2);

K^E_i (нЗв/нГр) – коэффициенты перехода от значения поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м к величине эффективной дозы для i-й критической группы (равны 0,75 нЗв/нГр для взрослых, 0,80 нЗв/нГр для школьников и 0,90 нЗв/нГр для дошкольников).

Значения среднегодовых факторов F_{ij} для рассматриваемых критических групп сельского и городского населения представлены в таблицах 6.6 и 6.7.

Таблица 6.6

Значения среднегодовых факторов F_{ij} для групп сельского населения

Место пребывания	Группа населения (i)		
	Взрослые	Подростки	Дети младшего возраста
Жилая зона			
Помещение	0,45	0,48	0,47
Приусадебный участок	0,10	0,18	0,12
Улица	0,05	0,07	0,07
Рабочая зона			
Помещение	0,06	0,20	0,25
Целина	0,20	–	–
Пашня	0,04	–	–
Хозяйственный двор	0,07	0,01	0,07
Зона отдыха			
Лес, луг, река	0,03	0,06	0,02

Таблица 6.7

Значения среднегодовых факторов F_{ij} для групп городского населения

Место пребывания	Группа населения (i)		
	Взрослые	Подростки	Дети младшего возраста
Помещение	0,60	0,80	0,80
Улица (асфальт)	0,20	0,15	0,15
Целина	0,20	0,05	0,05

Далее, как и в п. 6.2.9, среди рассматриваемых групп населения выбирается группа с наибольшим значением дозы внешнего облучения, которая и будет критической группой населения по отношению к внешнему облучению от данного радиационного объекта.

Во втором случае, т.е. когда в период времени между t_1 и t_2 имелось кратковременное превышение уровня мощности дозы, на основании результатов измерений оценивается величина:

$$\Delta \boldsymbol{D}_{art} = 2{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot \sum_{t_1}^{t_2} \Delta \boldsymbol{P}_{art}(\boldsymbol{t}) \cdot \Delta \boldsymbol{t}\text{, мГр,} \quad (6.13)$$

где: $\Delta P_{art}(t)$ (нГр/час) – среднесуточное различие между новым значением мощности дозы в период времени между t_1 и t_2 и значением мощности дозы до момента времени t_1;

t_1 и t_2 (дни) – время начала и окончания изменений мощности дозы.

Эффективная доза внешнего облучения i-й критической группы населения за этот период времени оценивается следующим образом:

$$E_i^{ext}(t_1 \rightarrow t_2) = K_i^E \cdot R_i \cdot \Delta D_{art}\text{, мЗв,} \quad (6.14)$$

В оставшийся промежуток времени года E_i^{ext} оценивается с помощью расчетных моделей, описанных выше.

6.3. Оценка доз внутреннего облучения

6.3.1. Набор моделей, предназначенных для оценки дозы внутреннего облучения населения ЗН, определяется и соответствует количеству путей внутреннего облучения. Рассматриваются следующие потенциально возможные критические группы населения: представители взрослого населения (>17 лет), дети в возрасте 8–12 лет и дети младшего возраста (1–2 года). Каждая из моделей включает свой дозовый коэффициент, связывающий концентрацию радионуклидов в объектах окружающей среды с характеристикой облучения человека – эффективной дозой. Дополнительными данными для расчета ингаляционного поступления радионуклидов в организм человека является среднегодовой объем вдыхаемого воздуха, а для расчета поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания и водой – их годовое потребление. Годовое потребление продуктов питания должно быть оценено на основании региональных данных.

6.3.2. Рассматриваются следующие модели внутреннего облучения:

– пероральный путь, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов при потреблении питьевой воды из источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, использующих воду поверхностных водоемов, а также при потреблении пищевых продуктов, загрязненных в данной местности вследствие выбросов радиационного объекта;

– ингаляционный путь облучения, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов в организм человека через органы дыхания;

– ингаляционный путь облучения в результате вторичного подъема выпавших радионуклидов (ресуспензия).

6.3.1. По результатам анализа сведений об источниках выброса устанавливают перечень радионуклидов, выбрасываемых в атмосферный воздух, химическую форму веществ, в виде которых эти радионуклиды поступают в окружающую среду, и дисперсный состав выбрасываемых аэрозолей. Элементный состав выброса, дисперсный состав выбрасываемых аэрозолей и химическую форму радионуклидов следует принимать во внимание при последующих оценках их миграционной способности в окружающей среде, а также в ряде случаев при определении дозовых коэффициентов.

6.3.2. Дозу внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов с пищей и водой оценивают по формуле:

$$E_{i,ing}^{\text{int}} = \sum_k \sum_j e_{i,ing}^k \cdot V_{ij} \cdot S_{kj}\text{, мЗв/год,} \quad (6.15)$$

где: $e_{i,ing}^k$, мЗв/Бк – зависящий от возраста дозовый коэффициент для k-го радионуклида в случае его перорального поступления в организм человека;

V_j, кг/год – годовое потребление j-го продукта (питьевой воды и основных пищевых продуктов) для i-й группы населения – (пример такого рода данных представлен в таблице 6.8);

S_{kj}, Бк/кг – среднегодовая удельная активность k-го радионуклида в j-ом пищевом продукте.

Значения дозовых коэффициентов представлены в «НРБ-99/2009» (таблица приложения 2 к МР) для критических возрастных групп. Для других возрастных групп эффективная доза от ингаляции рассматриваемого нуклида будет меньше.

Таблица 6.8

Усредненные данные потребления (кг/год) основных пищевых продуктов взрослыми сельскими жителями средней полосы России

Продукт	Потребление, кг/год
Вода	730
Молоко	250
Говядина	15
Свинина	55
Зерно (хлеб)	150
Грибы	10
Лесные ягоды	5
Рыба	15
Картофель	250

6.3.3. При отсутствии результатов измерений ожидаемая удельная активность k-го радионуклида в j-м пищевом продукте (S_{ij}, Бк/кг), производимом в ЗН радиационного объекта, может быть оценена на основе данных о поверхностной активности k-го радионуклида на почве (σ_k, Бк/м^2) и численных значений коэффициентов перехода k-го радионуклида ($КП_{kj}$, м^2/кг) из почвы в растительность и пищевые продукты:

$$S_{kj} = КП_{kj} \bullet, \sigma_k \text{ Бк/кг,} \quad (6.16)$$

где: σ_k – поверхностная активность k-го радионуклида в корнеобитаемом слое почвы.

Численные значения КП в растительность и пищевые продукты в зависимости от типа почв для наиболее значимых и биологически активных (т.е. включающихся в миграционную цепочку почва – растение – животное – человек) долгоживущих радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr приведены в таблицах 6.9 и 6.10.

Таблица 6.9

Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в основные пищевые продукты

Продукт	КП, $\cdot 10^{-3}$ м^2/кг			
	Торфяные почвы	Дерново-подзолистые песчаные почвы	Дерново-подзолистые супесчаные почвы	Черноземные почвы
Молоко	1,2	0,4	0,2	0,1
Говядина	4,0	1,5	0,7	0,4
Свинина	0,5	0,2	0,1	0,05
Зерно	0,5	0,2	0,1	0,04
Картофель	0,1	0,04	0,01	0,01

Таблица 6.10

Коэффициенты перехода ^{90}Sr из почвы в основные пищевые продукты

Продукт	КП, $\cdot 10^{-3}$ м^2/кг			
	Торфяные почвы	Дерново-подзолистые песчаные почвы	Дерново-подзолистые супесчаные почвы	Черноземные почвы
Молоко	0,02	0,2	0,15	0,07
Зерно	0,01	0,7	0,5	0,1
Картофель	–	0,15	0,1	0,008

В качестве численных значений КП ^{137}Cs из почвы в грибы и лесные ягоды используют $10 \cdot 10^{-3}$ м^2/кг и $6 \cdot 10^{-3}$ м^2/кг соответственно. Расчеты по другим радионуклидам не производят, так как их вклад в дозу внутреннего облучения населения за счет потребления указанных продуктов незначителен.

Коэффициенты перехода из почвы в пищевые продукты для других наиболее значимых долгоживущих радионуклидов представлены в таблице 6.11.

Таблица 6.11

Коэффициенты перехода долгоживущих радионуклидов из почвы в пищевые продукты

Радионуклид	КП, $\cdot 10^{-3}$ м^2/кг		
	Овощи	Зерно	Картофель
^{60}Co	0,6	0,01	0,1
^{106}Ru	0,12	0,015	–
U	0,025	0,004	0,04
Th	0,006	0,0001	0,0002
^{226}Ra	0,033	0,004	0,004
^{210}Po	0,012	0,02	0,02
^{210}Pb	0,033	0,015	0,004

6.3.4. При отсутствии измерений для оценки значения ожидаемой удельной активности k-го радионуклида $S_{F,k}$, в рыбе в водоемах ЗН используют следующее соотношение:

$$S_{F,k} = \frac{C_{w,k} \cdot B_k}{1000}, \text{ Бк/кг}, \quad (6.17)$$

где: $C_{w,k}$, Бк/м^3 – объемная активность k-го радионуклида в воде;

B_k, (Бк/кг)/(Бк/л) – равновесное отношение значения удельной активности радионуклида в пресноводной рыбе и его объемной активности в воде (табл. 6.12);

1000 – количество литров в м^3.

Таблица 6.12

Равновесное отношение значения удельной активности радионуклида в пресноводной рыбе и его объемной активности в воде (коэффициент накопления)

Элемент	B_k, (Бк/кг)/(Бк/л)
Cs	2000
Sr	60
Co	300
Ru	10
U	10
Th	100
Ra	50
Po	50
Pb	300
Pu	30
Am	30

6.3.5. Для оценки дозы внутреннего облучения по ингаляционному пути поступления радионуклидов в организм человека используют формулу:

$$E^{\text{int}}_{i,inh} = \sum_k C_{k,a} \cdot Br_i \cdot e^k_{i,inh} \cdot \left[(1 - F_i) + 0{,}3 \cdot F_i\right], \text{мЗв/год} \quad (6.18)$$

где: $e^k_{i,inh}$ мЗв/Бк, – дозовый коэффициент для k-го радионуклида и представителей i-й группы населения в случае ингаляционного поступления;

Br_i, м^3/год – зависящий от возраста человека среднегодовой объем вдыхаемого воздуха (принимается равным 1900 м^3/год для детей 1–2 лет, 5200 м^3/год для детей в возрасте 8–12 лет и 8100 м^3/год для взрослых);

$C_{k,a}$, Бк/м^3 – среднегодовая объемная активность k-го радионуклида в приземном слое воздуха;

F_i, отн. ед. – годовая доля времени, в течение которого представитель i-й группы населения находится внутри помещений (см. табл. 6.6, 6.7);

0,3 – принятое отношение объемных активностей радионуклидов в воздухе внутри помещения и вне помещения.

Значения дозовых коэффициентов $e^{k}_{i,inh}$ представлены в «НРБ-99/2009» (таблица приложения 2 к МР) для критических возрастных групп. Для других возрастных групп эффективная доза от ингаляции рассматриваемого нуклида будет меньше.

6.3.6. Суммарная СГЭД представителей i-й группы населения в ЗН за счет всех путей внутреннего облучения при радиоактивном загрязнении окружающей среды определяется следующим выражением:

$$E_i^{\text{int}} = E_{i,ing}^{\text{int}} + E_{i,inh}^{\text{int}}, \quad (6.19)$$

где компонент дозы внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов в организм человека $E_{i,ing}^{\text{int}}$ и компонент дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления $E_{i,inh}^{\text{int}}$ определяются формулами (6.15) и (6.18) соответственно.

Далее среди рассматриваемых групп населения выбирается группа с наибольшим значением дозы внутреннего облучения, которая и будет критической группой населения по отношению к внутреннему облучению от данного радиационного объекта.

6.4. Оценка суммарной дозы облучения

Суммарная СГЭД облучения жителей ЗН для целей сравнения с квотой или пределом дозы определяется суммированием доз внешнего и внутреннего облучения у критических групп населения (п. 6.2.9, 6.2.10 и п. 6.3.8).

7. Оценка доз облучения населения зоны наблюдения при радиационной аварии

7.1. Введение

7.1.1. В соответствии с п. 6.18 Санитарных правил и нормативами СанПиН 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ- 99/2010)» (ОСПОРБ-99/2010) органы и организации государственной санитарно-эпидемиологической службы должны принимать участие в гигиенической оценке радиационной обстановки и индивидуальных доз облучения персонала и отдельных групп населения, а также лиц, принимавших участие в аварийных работах.

7.1.2. Оценка доз облучения населения, прогноз радиологических последствий аварии, планирование и осуществление необходимых мероприятий по защите населения должны проводиться с учетом времени, прошедшего после радиационной аварии (фазы аварии). Выделяют следующие фазы радиационной аварии: ранняя, промежуточная и восстановительная.

Ранняя фаза аварии охватывает период времени от начала аварии до момента прекращения выбросов радиоактивных веществ в атмосферу и окончания формирования радиоактивного следа в местах проживания или нахождения населения. Продолжительность этого периода может быть от нескольких часов до нескольких недель. На ранней фазе радиационной аварии путями облучения населения являются:

– внешнее облучение от радиоактивного облака и от осевших на подстилающую поверхность радионуклидов;

– внутреннее облучение за счет вдыхания радиоактивных аэрозолей и газов при погружении в радиоактивное облако, а также при вторичном подъеме радионуклидов в результате пылеобразования (ингаляционный компонент дозы внутреннего облучения);

– внутреннее облучение за счет поступления радионуклидов в организм с пищевыми продуктами (пероральный компонент дозы внутреннего облучения).

Все виды радиационной защиты населения на ранней фазе радиационной аварии (эвакуация, укрытие, ограничение режима поведения и питания, йодная профилактика) носят срочный характер и основаны, в основном, на классификации произошедшей аварии, аварийных планах радиационного объекта, на котором произошла авария, и на моделировании процессов распространения и осаждения радиоактивной примеси с учетом метеоусловий в районе выброса. В этот период времени данных реальных измерений параметров радиационной обстановки для принятия решений мало, и они могут существенно изменяться во времени и пространстве.

Промежуточная фаза аварии охватывает период времени, когда уже нет дополнительного поступления радионуклидов в окружающую среду от источника выброса. После прохождения радиоактивного облака и окончания процесса радиоактивных выпадений путями облучения населения являются:

– внешнее облучение от радионуклидов, находящихся в окружающей природной и антропогенной средах;

– внутреннее облучение за счет поступления радионуклидов в организм с пищевыми продуктами;

– внутреннее облучение за счет вдыхания радиоактивных аэрозолей при вторичном подъеме радионуклидов в результате пылеобразования.

В течение этого периода времени принимаются решения о введении новых или продолжении ранее принятых срочных мер радиационной защиты уже с учетом результатов проведенных измерений уровней содержания радиоактивных веществ в окружающей среде и вытекающих из них оценок доз внешнего и внутреннего облучения населения с учетом других факторов.

Восстановительная фаза аварии характеризуется комплексом мер, осуществляемых для возврата к условиям нормальной жизнедеятельности населения. Пути облучения населения на этой фазе аварии те же, что и на промежуточной фазе аварии.

7.1.3. Органы и организации Роспотребнадзора контролируют и проводят радиационные измерения в населенном пункте и его ареале. Объекты и параметры радиационного мониторинга в населенном пункте, подлежащие контролю, перечислены в таблице 7.1.

На ранней фазе радиационной аварии (во время выброса) проводятся измерения только мощности дозы гамма-излучения в воздухе на открытой местности для обнаружения и фиксации момента прихода радиоактивного облака. Значение измеренной мощности дозы на высоте 1 м над подстилающей поверхностью 0,1 мЗв·час-1 (~10 мР·час-1) является нижним граничным значением мощности дозы в облаке, при достижении которого необходимо рассмотреть вопрос о введении таких защитных мероприятий, как блокирование щитовидной железы и временное укрытие жителей. Перечень типичных радионуклидов, содержащихся в радиоактивных выбросах при различных ядерных авариях, и характеристики их распада представлены в приложении 3 к МР.

Таблица 7.1

Объекты и параметры радиационного мониторинга в населенном пункте и его ареале на промежуточной фазе радиационной аварии

Объект контроля	Параметры измерений	Технические средства
Подстилающая поверхность населенных пунктов и их ареалов	Мощность дозы гамма-излучения	Носимые дозиметры
Здания	Мощность дозы гамма-излучения	Носимые дозиметры
Пробы почвы	Поверхностная активность радионуклидов	Гамма- и бета-спектрометры, радиохимическое выделение, бета-радиометры
Пробы питьевой воды	Удельная активность радионуклидов	Радиохимическое выделение, бета-радиометры, гамма-спектрометры
Пробы пищевых продуктов (включая природные)	Удельная активность радионуклидов	Гамма- и бета-спектрометры, радиохимическое выделение, бета-радиометры
Население	Индивидуальные дозы внешнего облучения за период контроля; содержание радионуклидов в организме	Индивидуальные термолюминесцентные дозиметры (ТЛД); счетчики излучения человека (СИЧ)

На промежуточной фазе аварии (после окончания радиоактивных выпадений) в полной мере начинаются измерения параметров радиационной обстановки на всех объектах, перечисленных в таблице 7.1.

Результаты измерений, полученные в это время, используют для проведения прогнозных оценок доз облучения населения в отсутствии мер радиационной защиты за 1-й месяц и за 1-й год после аварии. Кроме того, результаты этих измерений должны использоваться в качестве исходных данных для реконструкции доз аварийного облучения населения.

7.1.4. Уровень облучения представителей различных групп населения (в зависимости от возраста, профессии, типа жилого помещения) может существенно зависеть от изотопного состава радиоактивного загрязнения окружающей среды. При наличии в окружающей среде спектра радионуклидов необходимо оценивать дозы у представителей нескольких групп населения для принятия обоснованных решений в отношении проведения тех или иных защитных мероприятий. В данном документе рассматриваются следующие группы населения: представители взрослого населения, дети в возрасте 8–12 лет и дети младшей возрастной группы 1–2 года.

7.2. Оценка доз внешнего облучения

7.2.1. Набор моделей, предназначенных для оценки дозы внешнего облучения населения, определяется и соответствует количеству путей внешнего облучения. Рассматриваются следующие пути внешнего облучения:

– облучение от радиоактивного облака;

– облучение от подстилающей поверхности.

В качестве набора исходных данных используют измеренные в ходе проведения радиационного мониторинга:

– концентрации отдельных радионуклидов в приземном слое воздуха;

– поверхностные загрязнения подстилающей поверхности отдельными радионуклидами;

– результаты измерений мощности дозы в НП и в его ареале.

7.2.2. Значение эффективной дозы внешнего облучения представителей i-й группы населения при облучении на открытой местности гамма-излучением смеси радионуклидов при погружении в радиоактивное облако $E_{i,c}^{ext}$ определяется следующим образом:

$$E_{i,c}^{ext} = K_{i,c}^{E} \cdot T \cdot \sum_{k} e_c^k \cdot C_{k,a}, \text{ мЗв}, \qquad (7.1)$$

где: e^k_c – дозовый коэффициент, определяемый как мощность поглощенной дозы гамма-излучения k-го радионуклида на высоте 1 м над подстилающей поверхностью от источника в виде радиоактивного облака, (мГр/час)/(кБк/м^3);

$C_{k,a}$ – средняя концентрация k-го радионуклида в приземном слое воздуха за время прохождения радиоактивного облака, (кБк/м^3);

$K_{i,c}^{E}$ – коэффициент перехода от дозы в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью к эффективной дозе для представителей i-й группы населения при облучении от радиоактивного облака, мЗв/мГр (принимается равным 0,7 мЗв/мГр для взрослого населения, 0,75 мЗв/мГр – для детей школьного возраста и 0,85 мЗв/мГр – для дошкольников);

T – время облучения от данного источника, ч.

Значения дозовых коэффициентов e^k_c для отдельных радионуклидов приведены в Приложении 1 к МР.

Пример 1:

Измерены концентрации в приземном слое воздуха:

^{137}Cs – 10^4 (кБк/м^3),

^{134}Cs – $5 \cdot 10^3$ (кБк/м^3).

Определить эффективную дозу облучения взрослого человека на открытой местности, если время прохождения облака составило 2 ч.

Исходные данные для расчета:

K^E = 0,7 мЗв/мГр;

t = 2 часа;

$e_c(^{137}Cs) = 1{,}3 \cdot 10^{-4}$ (мГр/час)/(кБк/м^3);

$e_c(^{134}Cs) = 3{,}4 \cdot 10^{-4}$ (мГр/час)/(кБк/м^3).

Подставляем исходные данные в формулу (6.1):

$E_c^{ext} = 0{,}7 \cdot 2 \cdot (1{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 + 5 \cdot 10^3 \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-4}) = 4{,}2$ мЗв.

7.2.3. Если известны значения поверхностных активностей в почве отдельных радионуклидов (например, по результатам гамма-спектрометрических измерений образцов почвы), то значение мощности эффективной дозы внешнего облучения в момент времени «t» (как правило, время проведения измерений поверхностной активности) представителей i-й группы населения при облучении на открытой местности гамма-излучением смеси радионуклидов $E_{i,g}^{ext}(t)$ определяется следующим образом:

$$E_{i,g}^{ext}(t) = K_{i,g}^{E} \cdot \sum_{k} e_g^k \cdot \sigma_k \text{, мЗв/час,} \qquad (7.2)$$

где:

e^k_g – дозовый коэффициент, определяемый как мощность поглощенной дозы гамма-излучения k-го радионуклида на высоте 1 м от плоского изотропного источника, расположенного на границе воздух – земля, (мГр/час)/(кБк/м²);

σ_k – поверхностная активность k-го радионуклида на почве на момент измерений, (кБк/м²);

$K_{i,g}^{E}$ – коэффициент перехода от дозы в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью к эффективной дозе для представителей i-й группы населения, мЗв/мГр (принимается равным 0,75 мЗв/мГр для взрослого населения, 0,80 мЗв/мГр – для детей школьного возраста и 0,90 мЗв/мГр – для дошкольников);

t – время, прошедшее с момента окончания радиоактивных выпадений.

Значения дозовых коэффициентов e^k_g для отдельных радионуклидов приведены в Приложении 2 к МР.

Пример 2:

Измерены значения поверхностных активностей следующих радионуклидов:

^{137}Cs – 1000 кБк/м²,

^{134}Cs – 500 кБк/м².

Определить мощность эффективной дозы облучения взрослого человека на открытой местности.

Исходные данные для расчета:

K^E = 0,75 мЗв/мГр,

$e_g(^{137}Cs) = 2{,}55 \cdot 10^{-6}$ (мГр/час)/(кБк/м²),

$e_g(^{134}Cs) = 6{,}85 \cdot 10^{-6}$ (мГр/час)/(кБк/м²).

Подставляем исходные данные в формулу (6.2):

$E_g^{ext} = 0{,}75 \cdot (2{,}55 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^2 \cdot 6{,}85 \cdot 10^{-6}) = 4{,}5$ мкЗв/час.

7.2.4. Эффективную дозу внешнего облучения представителей i-й группы населения при облучении на открытой местности гамма-излучением смеси радионуклидов, выпавших на подстилающую поверхность, за произвольный промежуток времени от момента проведения измерения поверхностной активности до момента времени T (час) определяют по формуле:

$$E_{i,g}^{ext} = K_i^E \cdot \sum_k \{\frac{1}{\lambda_k}(1 - \exp(-\lambda_k \cdot T))\} \cdot e_g^k \cdot \sigma_k \text{, мЗв} \quad (7.3)$$

где: λ_k – постоянная радиоактивного распада k-го радионуклида (ч$^{-1}$), остальные обозначения те же, что и раньше.

$$\lambda_k = \frac{Ln(2)}{T_k^{1/2}} = \frac{0{,}693}{T_k^{1/2}} \text{, ч}^{-1} \qquad (7.4)$$

где: $T_k^{1/2}$ – период полураспада k-го радионуклида (ч).

Пример 3:

Измерены значения поверхностных активностей следующих радионуклидов:

^{137}Cs – 1 000 (кБк/м²),

^{134}Cs – 500 (кБк/м²),

^{131}I – 10 000 (кБк/м²).

Определить накопленное за год значение эффективной дозы облучения взрослого человека на открытой местности.

Исходные данные для расчета:

K^E = 0,75 мЗв/мГр;

$e_g(^{137}Cs) = 2{,}55 \cdot 10^{-6}$ (мГр/час)/(кБк/м²),

$e_g(^{134}Cs) = 6{,}85 \cdot 10^{-6}$ (мГр/час)/(кБк/м²),

$e_g(^{131}I) = 1{,}33 \cdot 10^{-6}$ (мГр/час)/(кБк/м²),

T = 8760 часов,

$\lambda_{137} = 0{,}693/30/365/24 = 2{,}637 \cdot 10^{-6}$ час$^{-1}$,

$\lambda_{134} = 0{,}693/2{,}06/365/24 = 3{,}84 \cdot 10^{-5}$ час$^{-1}$;

$\lambda_{131} = 0{,}693/8{,}04/24 = 3{,}59 \cdot 10^{-3}$ час$^{-1}$.

Подставляем исходные данные в формулу (6.3):

$E_g^{ext} = 0{,}75 \cdot (8661 \cdot 2{,}55 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 + 7439 \cdot 5 \cdot 10^2 \cdot 6{,}85 \cdot 10^{-6} + 279 \cdot 1{,}33 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4) = 0{,}75 \cdot (22{,}1 + 25{,}5 + 3{,}7) = 38{,}5$ мЗв.

7.2.5. При облучении населения в антропогенной среде характеристики поля излучения изменяются. Учет этого при расчетах производится с помощью факторов места L_j, определяемых как отношение мощности дозы в воздухе в точке j внутри населенного пункта или в его ареале, обусловленной техногенным гамма-излучением, к аналогичной величине над открытым целинным участком почвы. Поведение человека в поле излучения описывается с помощью факторов поведения F_{ij} (зависят от времени года), представляющих собой долю времени, в течение которого представители i-й группы населения находятся в j-й точке НП. Сумма произведений L_j и F_{ij} по всем рассматриваемым точкам внутри НП и в его ареале $R_i = \sum_j L_j \cdot F_{ij}$ представляет собой общий фактор уменьшения дозы внешнего облучения у представителей i-й группы населения в антропогенной среде. Значения факторов L_j, F_{ij}, и R_i для выбранных групп сельского и городского населения приведены в таблицах 7.2–7.5.

Таблица 7.2

Значения факторов места L_j для источника в виде радиоактивных выпадений со спектром гамма-излучения, типичным для смеси радионуклидов при аварии на ядерном реакторе

Село		Город	
Тип места (j)	Lj	Тип места (j)	Lj
Жилая зона		**Жилые дома**	
Одноэтажный деревянный дом	0,40	Одноэтажный деревянный дом	0,20
Одноэтажный кирпичный дом	0,20	Одноэтажный кирпичный дом	0,10
Многоэтажный дом	0,03	Многоэтажный дом	0,02
Вне помещений	0,80		
Дороги	0,75	**Вне помещений**	
Производственная зона		Грунтовые участки	0,75
Одноэтажный деревянный дом	0,20	Асфальт	0,60
Одноэтажный кирпичный дом	0,12	Целина (внутри города)	0,85
Многоэтажный дом	0,03	Огороды	0,45
Рабочие дворы	0,75	**Производственные здания**	
Пашня	0,50	Одноэтажный деревянный дом	0,11
Целина (вне НП)	1,00	Одноэтажный кирпичный дом	0,06
Лес	1,00	Многоэтажный дом	0,02
Зона отдыха		**Зона отдыха**	
Луг, лес (вне НП)	1,00	Луг, лес (вне НП)	1,00

Таблица 7.3

Значения факторов поведения F_{ij} для сельского населения

Тип места (j)	Значения факторов поведения F_{ij}*			
	Лесники	Служащие	Подростки	Дети (1–2 года)
Жилая зона				
Одноэтажный деревянный дом	0,47/0,63	0,42/0,60	0,55/0,64	0,40/0,58
Одноэтажный кирпичный дом	0,47/0,63	0,42/0,60	0,55/0,64	0,40/0,58
Многоэтажный дом	0,47/0,63	0,42/0,60	0,55/0,64	0,40/0,58
Вне помещений	0,20/0,04	0,20/0,04	0,29/0,13	0,22/0,06
Дороги	0,08/0,08	0,04/0,04	0,10/0,03	0,02/0,02
Производственная зона				
Одноэтажный деревянный дом	0,04/0,13	0,30/0,32	0,02/0,20	0,24/0,30
Одноэтажный кирпичный дом	0,04/0,13	0,30/0,32	0,02/0,20	0,24/0,30
Многоэтажный дом	0,04/0,13	0,30/0,32	0,02/0,20	0,24/0,30
Рабочие дворы	0/0	0,02/0	0/0	0,12/0,04
Пашня	0/0	0/0	0/0	0/0
Целина	0/0	0/0	0/0	0/0
Лес	0,21/0,12	0/0	0/0	0/0
Зона отдыха				
Лес, луг	0/0	0,02/0	0,04/0	0/0

* – цифра до знака дроби соответствует летнему периоду времени, а после знака дроби – зимнему.

Таблица 7.4

Значения факторов поведения F_{ij} для городского населения

Тип места (j)	Значения факторов поведения Fij*			
	Группа 1**	Группа 2***	Подростки	Дети (1–2 года)
Жилая зона				
Одноэтажный деревянный дом	0,40/0,60	0,40/0,60	0,55/0,64	0,40/0,58
Одноэтажный кирпичный дом	0,40/0,60	0,40/0,60	0,55/0,64	0,40/0,58
Многоэтажный дом	0,40/0,60	0,40/0,60	0,55/0,64	0,40/0,58
Вне помещений				
Грунтовые участки	0,05/0,02	0,30/0,27	0,20/0,06	0,20/0,06
Асфальт	0,05/0,02	0,07/0,03	0,10/0,07	0,05/0,03
Целина (внутри города)	0,02/0,00	0,02/0,00	0,05/0,03	0,05/0,03
Огороды	0,15/0,04	0,15/0,04	0,05/0,00	0,04/0,00
Производственные здания				
Одноэтажный деревянный дом	0,30/0,32	0,03/0,06	0,01/0,20	0,24/0,30
Одноэтажный кирпичный дом	0,30/0,32	0,03/0,06	0,01/0,20	0,24/0,30
Многоэтажный дом	0,30/0,32	0,03/0,06	0,01/0,20	0,24/0,30
Зона отдыха				
Лес, луг	0,03/0,00	0,03/0,00	0,04/0,00	0,02/0,00

* – цифра до знака дроби соответствует летнему периоду времени, а после знака дроби – зимнему;
** – лица, работающие преимущественно внутри помещений;
*** – лица, работающие преимущественно вне помещений.

Таблица 7.5

Значения антропогенных факторов уменьшения дозы R_i для сельского и городского населения

Группа населения	Значения фактора R_i	
	Летний период	Зимний период
Сельское население		
Лесники	0,63	0,52
Служащие	0,51	0,43
Школьники	0,58	0,46
Дошкольники	0,54	0,45
Городское население		
Группа 1	0,32	0,23
Группа 2	0,47	0,37
Школьники	0,43	0,28
Дошкольники	0,39	0,26

Значения антропогенных факторов уменьшения дозы R_i, приведенные в таблице 7.5, соответствуют условиям проживания и работы в одноэтажном деревянном доме. Иными словами, эти значения соответствуют наиболее консервативным ожидаемым значениям доз для данной группы населения.

7.2.6. Расчет эффективной дозы внешнего облучения для представителей i-й группы населения в антропогенной среде, как от радиоактивного облака $E^{ext}_{i,c,a}$ (7.5), так и от загрязненной подстилающей поверхности $E^{ext}_{i,g,a}$ (7.5) производится путем умножения значений эффективных доз, рассчитанных для условий облучения на открытой местности (формулы (7.2) и (7.3)), на значения антропогенных факторов уменьшения дозы R_i, из таблицы 7.5:

$$E^{ext}_{i,c,a} = E^{ext}_{i,c} \cdot R_i \text{, мкЗв} \qquad (7.5)$$

$$E^{ext}_{i,g,a} = E^{ext}_{i,g} \cdot R_i \text{, мкЗв} \qquad (7.6)$$

Для расчета доз у представителей выбранных групп населения, проживающих в домах другого типа, используют данные таблиц 7.2–7.4. При наличии данных о значениях факторов места и значениях факторов поведения населения для конкретного НП при проведении расчетов используют именно эти данные.

7.2.7. Используя в качестве набора исходных данных мощности доз гамма-излучения, измеренные в различных точках населенного пункта и в его ареале, расчет эффективной дозы внешнего облучения $E^{ext,k}_{i,g}$ от подстилающей поверхности, загрязненной k-м радионуклидом, у представителей i-й группы населения за произвольный промежуток времени от момента проведения измерения мощности дозы до момента времени T (час) осуществляют по формуле:

$$E^{ext,k}_{i,g} = K^E_i \cdot \left[\frac{1}{\lambda_k}(1-\exp(-\lambda_k \cdot T))\right] \cdot \cdot \sum_j F_{ij} \cdot (P^k_j - P^0_j), \text{ мкЗв,} \qquad (7.7)$$

где: P^k_j (мкГр/ч) – значение мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью в j-й точке в населенном пункте и в его ареале, обусловленное радиоактивными выпадениями k-го радионуклида [1 мкР/ч = 8,7 нГр/ч = 0,0087 мкГр/ч];

P^0_j – фоновое значение;

F_{ij} – факторы поведения (см. табл. 7.3 и 7.4);

λ_k – постоянная распада k-го радионуклида ($ч^{-1}$).

Значение эффективной дозы внешнего облучения от подстилающей поверхности, загрязненной смесью радионуклидов, у представителей i-й группы населения рассчитывают по формуле:

$$E^{ext}_{i,g} = \sum_k E^{ext,k}_{i,g} \text{, мЗв} \qquad (7.8)$$

7.3. Оценка доз внутреннего облучения

7.3.1. Исходными данными для оценки эффективной дозы внутреннего облучения и эквивалентной дозы на щитовидную железу за счет ингаляции радионуклидов являются:

– концентрация радионуклидов в воздухе;

– продолжительность ингаляции.

Значение ожидаемой эффективной дозы от ингаляции рассчитывают с помощью выражения:

$$E^{inh}_{i,int} = 10^{-6} \cdot \sum_k C_{k,a} \cdot e^k_{i,inh} \cdot V_i \cdot T \qquad (7.9)$$

где: $E^{\text{int}}_{i,inh}$ – ожидаемая эффективная доза у представителей i-й группы населения от ингаляции (мЗв);

$C_{k,a}$ – средняя объемная активность k-го радионуклида в приземном слое воздухе за время прохождения радиоактивного облака (кБк/м^3);

$e^k_{i,inh}$ – дозовый коэффициент для i-й группы населения и k-го радионуклида, Зв/Бк;

V_i – интенсивность дыхания представителей i-й группы населения, м^3/час;

T – продолжительность облучения (ч).

Средняя интенсивность дыхания для лиц из населения разного возраста при легкой физической нагрузке представлена в таблице 7.6. Следует иметь в виду, что при тяжелой работе интенсивность дыхания увеличивается в среднем в два раза, а при очень тяжелой до четырех – пяти раз.

Таблица 7.6

Интенсивность дыхания у лиц разного возраста при легкой физической нагрузке, м^3/час

Возраст	Старше 17 лет	10 лет	1 год
Скорость дыхания	1,4	1,1	0,35

Значения дозовых коэффициентов представлены в «НРБ-99/2009» (таблица приложения 2 к МР) для наиболее облучаемых критических возрастных групп. Для других возрастных групп эффективная доза от ингаляции рассматриваемого нуклида будет меньше.

Значение ожидаемой эквивалентной дозы в щитовидной железе у представителей i-й группы населения от ингаляции $H^{inh}_{i,th}$ рассчитывают с помощью выражения:

$$H_{i,th}^{inh} = \sum_k C_{k,a} \cdot h_{i,th}^k \cdot V_i \cdot T \quad (7.10)$$

где: $H_{i,th}^{inh}$ – ожидаемая эквивалентная доза облучения щитовидной железы, (мЗв);

$C_{k,a}$ – средняя объемная активность k-го радионуклида в приземном слое воздухе за время прохождения радиоактивного облака (кБк/м^3);

$h_{i,th}^k$ – дозовый коэффициент для i-й группы населения и k-го радионуклида (теллур или йод), мЗв/кБк, (см. приложение 4 к МР);

T – продолжительность облучения (час).

7.3.2. Эффективную дозу внутреннего облучения населения, обусловленную пероральным поступлением k-го радионуклида в организм, рассчитывают с использованием результатов измерений его удельной активности в потребляемых населением пищевых продуктах. Отбор проб и измерения проводят в моменты времени t_1 и t_2, где t_1 и t_2 – время в сутках, прошедшее с момента t_0 начала потребления радиоактивно загрязненного пищевого продукта (предполагается, что этот момент совпадает с моментом окончания радиоактивных выпадений; t_2 должно быть больше t_1 на 7–10 суток).

По результатам двух серий измерений определяют эффективный период полуочищения $T_{эфф,p,k}$ за счет экологических процессов и радиоактивного распада k-го радионуклида в p-м пищевом продукте:

$$T_{эфф,p,k} = \ln 2 \cdot (t_2 - t_1) / \ln[S_{k,p}(t_1)/S_{k,p}(t_2)], \text{ сут}, \quad (7.11)$$

где: $S_{k,p}(t_1)$ и $S_{k,p}(t_2)$ – средняя удельная активность k-го радионуклида в p-м пищевом продукте в моменты времени t_1 и t_2, соответственно, кБк/кг.

Затем рассчитывают удельную активность k-го радионуклида в p-м пищевом продукте на момент окончания выпадений $S_{k,p}(t_0)$:

$$S_{k,p}(t_0) = S_{k,p}(t_1) \cdot \exp(\ln 2 \cdot (t_1 - t_0)/T_{эфф,p,k}), \text{ кБк/кг}. \quad (7.12)$$

Ожидаемую эффективную дозу $E_{i,ing}^{int,k}$ внутреннего облучения представителей i-й группы населения, обусловленную пероральным поступлением k-го радионуклида в организм жителей, рассчитывают по формулам:

За первый месяц после выпадений:

$$E_{i,ing}^{int,k} = e_{i,ing}^k \cdot \sum_p S_{k,p}(t_0) \cdot (T_{эфф,p,k}/\ln 2) \cdot \cdot (1 - \exp(-\ln 2 \cdot 30 / T_{эфф,p,k})) \cdot V_p \cdot K_{k,p}, \text{ мЗв}, \quad (7.13)$$

За первый год после выпадений:

$$E_{i,ing}^{int,k} = e_{i,ing}^k \cdot \sum_p S_{k,p}(t_0) \cdot (T_{эфф,p,k}/\ln 2) \cdot \cdot (1 - \exp(-\ln 2 \cdot 365 / T_{эфф,p,k})) \cdot V_p \cdot K_{k,p}, \text{мЗв}, \quad (7.14)$$

где: $S_{k,p}$ – средняя удельная активность k-го радионуклида в p-м пищевом продукте на момент окончания радиоактивных выпадений, кБк/кг;

V_p – среднее суточное потребление p-го пищевого продукта, кг/сут;

$e_{i,ing}^k$ – дозовый коэффициент для поступления k-го радионуклида в организм жителей с пищей (см. НРБ-99/2009: приложение 5 – для трех рассматриваемых в данном документе возрастных групп, или приложение 2 – для наиболее облучаемой возрастной группы), мЗв/кБк;

$K_{k,p}$ – коэффициент снижения содержания k-го радионуклида в готовом p-м пищевом продукте по сравнению с исходным, вследствие его кулинарной обработки, отн. ед. (см. табл. 7.7);

30 – количество дней в календарном месяце;

365 – количество дней в календарном году.

В таблице 7.7 приведены средние значения суточного потребления пищевых продуктов для взрослого населения средней полосы России. Для двух других возрастных групп населения, рассматриваемых в данном документе, значения суточного потребления молока представлены в таблице 7.8. Суточное потребление других продуктов необходимо оценить на основании местных данных.

Таблица 7.7

Структура рациона питания взрослого населения в средней полосе России и значения коэффициента снижения содержания радионуклидов цезия в готовом пищевом продукте вследствие его кулинарной обработки (K)

Продукт	V, кг/сут	K, отн. ед.
Хлеб пшеничный, включая муку, макаронные изделия	0,27	1,0
Хлеб ржаной	0,12	1,0
Молоко и молокопродукты в пересчете на молоко*	0,60	1,0
Мясо и мясопродукты	0,18	1,0
Рыба и рыбопродукты	0,04	1,0
Картофель	0,30	0,8
Овощи и бахчевые	0,26	0,8
Фрукты и ягоды	0,10	1,0
Грибы сырые	0,02	0,5

* Исключая сливочное масло.

Таблица 7.8

Среднее суточное потребление молока в зависимости от возраста, л/сут.

Возраст, лет	Сельское население	Городское население
1–2	0,60	0,40
8–12	0,45	0,30
Более 17	0,60	0,30

С учетом местных условий, этот рацион необходимо корректировать как по составу, так и по величине потребления.

Следует обратить внимание на то, что по пищевым цепочкам мигрируют и поступают в организм человека лишь ограниченное число радионуклидов. Это радионуклиды йода, цезия, стронция. Они быстро всасываются в кровь при прохождении через желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Большинство остальных радионуклидов, поступающих с поверхностно загрязненными продуктами, проходят транзи-

том через ЖКТ, облучая лишь стенки желудка и кишечника. Поэтому расчеты ведут в первую очередь по трем указанным радионуклидам, как основным, потенциально опасным.

Чтобы оценить полную дозу, необходимо просуммировать результаты расчетов по всем радионуклидам:

$$E_{i,ing}^{\text{int}} = \sum_k E_{i,ing}^{\text{int},k} \text{, мЗв} \qquad (7.15)$$

7.3.3. Средняя ожидаемая у жителей i-й группы населения эквивалентная доза облучения щитовидной железы $H_{i,th}^{ing}$ за счет поступления ^{131}I в организм человека с пищевыми продуктами оценивается на основе результатов измерения концентрации ^{131}I в молоке. Так как значения ожидаемой $H_{i,th}^{ing}$ за счет поступления ^{131}I в организм человека за месяц и за год отличаются незначительно, оценивается одно значение $H_{i,th}^{ing}$.

Предварительная оценка ожидаемой эквивалентной дозы облучения щитовидной железы $H_{i,th}^{ing}$ выполняется на основе измерений концентрации ^{131}I в молоке, выполненных в момент времени t_1 (3–5 суток после окончания радиоактивных выпадений в НП). Расчет значения $H_{i,th}^{ing}$ выполняют по формуле:

$$H_{i,th}^{\text{ing}} = 12 \cdot h_{i,131} \cdot V_{i,m} \cdot C_{131,m}(t_1) \text{, мЗв,} \qquad (7.16)$$

где: $C_{131,m}(t_1)$ – средняя объемная активность ^{131}I в пробах молока, измеренная в течение 3–5 дней после окончания радиоактивных выпадений, кБк/л;

$V_{i,m}$ – среднее суточное потребление молока представителями i-ой группы населения, л/сут. (см. табл. 7.7)

$h_{i,131}$ – дозовый коэффициент для представителей i-й группы населения, мЗв/кБк ($h_{i,131}$ = 3,6 мЗв/кБк для детей возраста 1–2 года; $h_{i,131}$ = 1,0 мЗв/кБк для детей возраста 7–12 лет; $h_{i,131}$ = 0,43 мЗв/кБк для взрослых).

Окончательная оценка ожидаемой эквивалентной дозы облучения щитовидной железы $H_{i,th}^{ing}$ выполняется на основе не менее 3 дополнительных измерений объемной активности ^{131}I в молоке ($C_{131,m}(t_2)$, $C_{131,m}(t_3)$, $C_{131,m}(t_4)$), выполненных в течение 10–20 дней после окончания радиоактивных выпадений в НП с интервалом 3–5 дней.

Алгоритм оценки $H_{i,th}^{ing}$ на основе этих трех измерений концентрации ^{131}I в молоке состоит в следующем:

1. По результатам измерений в моменты времени t_2, t_3 и t_4 определяется значение эффективного периода полуочищения молока за счет экологических процессов и радиоактивного распада ^{131}I $T_{эфф}^1$:

$$T_{эфф}^1 = \frac{T_{эфф}(t_2 \to t_3) + T_{эфф}(t_2 \to t_4) + T_{эфф}(t_3 \to t_4)}{3} \text{, сут.} \qquad (7.17)$$

$$T_{эфф}(t_2 \to t_3) = \frac{\ln 2 \cdot (t_3 - t_2)}{\ln[C_{131,m}(t_2)/C_{131,m}(t_3)]} \text{, сут.} \qquad (7.18)$$

$$T_{эфф}(t_2 \to t_4) = \frac{\ln 2 \cdot (t_4 - t_2)}{\ln[C_{131,m}(t_2)/C_{131,m}(t_4)]} \text{, сут.} \qquad (7.19)$$

$$T_{эфф}(t_3 \to t_4) = \frac{\ln 2 \cdot (t_4 - t_3)}{\ln[C_{131,m}(t_3)/C_{131,m}(t_4)]} \text{, сут.} \qquad (7.20)$$

где: $C_{131,m}(t)$ – средняя объемная активность ^{131}I в пробах молока, измеренная в моменты времени t_2, t_3 и t_4, кБк/л;

t_2, t_3 и t_4 – время, прошедшее с момента окончания радиоактивных выпадений в НП, сут. ($t_2 < t_3 < t_4$).

2. Далее на основании измерений объемной активности ^{131}I в молоке ($C_{131,m}(t_2)$, $C_{131,m}(t_3)$, $C_{131,m}(t_4)$) вычисляются три значения $H_{i,th}^{ing}$ согласно выражению:

$$H_{i,th}^{\text{ing}} = 1{,}6 \cdot h_{i,131} \cdot V_{i,m} \cdot \frac{C_{131}(t_k) \cdot (T_{эфф}^1 - T_{эфф}^2)}{\exp(-0{,}693 \cdot t_k / T_{эфф}^1) - \exp(-0{,}693 \cdot t_k / T_{эфф}^2)} \text{, мЗв,} \qquad (7.21)$$

где: t_k принимает значения, соответствующие значениям t_2, t_3 и t_4, сут.; а $T_{эфф}^2 = 1{,}5\ сут.$

Окончательное значение $H_{i,th}^{ing}$ рассчитывается как среднее арифметическое из трех значений, полученных по формуле (7.21) на основе трех измеренных значений концентрации ^{131}I в пробах молока.

Пример 4:

Определить предварительное и окончательное значение эквивалентной дозы в щитовидной железе у взрослых жителей сельского НП по результатам измерений объемной активности ^{131}I в пробах молока через 3, 12, 15 и 20 суток после окончания радиоактивных выпадений:

C(3)=4,5 кБк/л ,
C(12)=1,5 кБк/л ,
C(15)=0,6 кБк/л ,
C(20)=0,45 кБк/л .

Определяем предварительное значение $H_{i,th}^{ing}$ на основании измеренной средней объемной активности ^{131}I в пробах молока через 3 дня после окончания радиоактивных выпадений по формуле (7.16):

$H_{i,th}^{ing}$ = 12 (сут.) · 0,43 (мЗв/кБк) · 0,6 (л/сут.) · · 4,5 (кБк/л) = 13,9 мЗв

Определяем окончательное значение $H_{i,th}^{ing}$ на основании измеренной средней концентрации ^{131}I в пробах молока через 12, 15 и 20 дней после окончания радиоактивных выпадений.

Сначала определяем значение $T_{эфф}^1$:

$T_{эфф}(12 \to 15)$ = (0,693·3)/ln (1,5/0.6) = 2,3 дня;
$T_{эфф}(12 \to 20)$ = (0,693·8)/ln (1,5/0.45) = 4,6 дня;
$T_{эфф}(15 \to 20)$ = (0,693·5)/ln (0,6/0.45) = 12 дней;

$T_{эфф}^1$ = (2,3 + 4,6 + 12)/3 = 6,3 дня.

Далее определяем три значения $H_{i,th}^{ing}$ по формуле (7.21):

$$H_{i,th}^{\text{ing}}(1) = 1{,}6 \cdot 0{,}43 \cdot 0{,}6 \cdot \frac{1{,}5 \cdot (6{,}3 - 1{,}5)}{\exp(-0{,}693 \cdot 12/6{,}3) - \exp(-0{,}693 \cdot 12/1{,}5)} =$$

$$= \frac{2.97}{0{,}2671 - 0.0039} = 11{,}3 \text{ мЗв}$$

$$H_{i,th}^{\text{ing}}(2) = 1{,}6 \cdot 0{,}43 \cdot 0{,}6 \cdot$$
$$\cdot \frac{0{,}6 \cdot (6{,}3 - 1{,}5)}{\exp(-0{,}693 \cdot 15/6{,}3) - \exp(-0{,}693 \cdot 15/1{,}5)} =$$
$$= \frac{1.19}{0{,}1920 - 0.0001} = 6{,}2 \text{ мЗв}$$

$$H_{i,th}^{\text{ing}}(3) = 1{,}6 \cdot 0{,}43 \cdot 0{,}6 \cdot$$
$$\cdot \frac{0{,}45 \cdot (6{,}3 - 1{,}5)}{\exp(-0{,}693 \cdot 20/6{,}3) - \exp(-0{,}693 \cdot 20/1{,}5)} =$$
$$= \frac{0.892}{0{,}1108} = 8{,}1 \text{ мЗв}$$

Окончательное значение эквивалентной дозы в щитовидной железе у взрослых жителей сельского НП по результатам измерений концентрации ^{131}I в пробах молока $H_{i,th}^{ing}$ = (11,3 +6,2 + 8,1)/3 = 8,6 мЗв.

7.4. Оценка суммарной дозы облучения

Суммарная эффективная доза (доза облучения всего тела) за заданный промежуток времени у представителей i-й группы жителей вследствие проживания на территории ЗН, подвергшейся загрязнению смесью радионуклидов, вычисляется как сумма доз внешнего облучения от радиоактивного облака и выпадений (в зависимости от типа исходных данных эти компоненты вычисляются по формулам 7.5 и 7.6 либо по формуле 7.8, дозы внутреннего облучения за счет ингаляции радионуклидов (формула 7.9) и дозы внутреннего облучения за счет их поступления в организм с продуктами питания (формулы 7.13, 7.14 и 7.15):

$$E_i = E_{i,c}^{ext} + E_{i,g}^{ext} + E_{i,inh}^{\text{int}} + E_{i,ing}^{\text{int}}, \text{ мЗв} \qquad (7.22)$$

Эквивалентная доза облучения щитовидной железы за заданный промежуток времени у представителей i-й группы жителей вычисляется как сумма доз за счет ингаляции радионуклидов йода $H_{i,th}^{ing}$ (формула 7.10) и их поступления в организм с продуктами питания $H_{i,th}^{ing}$ (формула 7.21).

Приложение 1

Коэффициенты перехода от объемной активности радионуклидов в приземном слое воздуха к мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью

Радионуклид	e_c^k (мГр/час)/(кБк/м³)
Na-22	4,8E-04
Na-24	1,0E-03
K-40	3,4E-05
K-42	6,3E-05
Ca-45	3,4E-15

Приложение 1 (продолжение)

Радионуклид	e_c^k (мГр/час)/(кБк/м³)
Sc-46	4,4E-04
Ti-44	2,8E-05
Cr-51	6,7E-06
Mn-54	1,9E-04
Mn-56	4,1E-04
Fe-59	2,6E-04
Co-58	2,1E-04
Co-60	5,6E-04
Cu-64	4,1E-05
Zn-65	1,3E-04
Kr-85	4,8E-07
Kr-85m	3,4E-05
Kr-87	1,9E-04
Kr-88	4,8E-04
Kr-89	4,4E-04
Rb-86	2,1E-05
Rb-88	1,5E-04
Rb-89	4,8E-04
Sr-91	1,5E-04
Y-91	7,8E-07
Zr-95	1,6E-04
Zr-97	4,1E-05
Nb-94	3,4E-04
Nb-95	1,7E-04
Mo-99	3,4E-05
Tc-99	1,1E-10
Tc-99m	2,8E-05
Ru-103	1,0E-04
Ru-105	1,7E-04
Ru-106/Rh-106a	4,4E-05
Ag-110m	5,9E-04
Sb-124	4,1E-04
Sb-126	5,9E-04
Sb-127	1,4E-04
Sb-129	3,2E-04
Te-129	1,1E-05
Te-129m	7,4E-06
Te-131m	3,1E-04
Te-132	4,4E-05
Te-134	1,9E-04
I-129	1,8E-06
I -131	8,1E-05
I -132	5,2E-04
I -133	1,3E-04
I -134	5,9E-04

Приложение 1 (продолжение)

Радионуклид	e_c^k (мГр/час)/(кБк/м³)
I -135	3,5E-04
Xe-131m	1,8E-06
Xe-133	7,4E-06
Xe-133m	6,3E-06
Xe-135	5,2E-05
Xe-135m	9,3E-05
Xe-137	4,1E-05
Xe-138	2,6E-04
Cs-134	3,4E-04
Cs-136	4,8E-04
Cs-137/Ba-137m	1,3E-04
Cs-138	5,2E-04
Ba-133	7,8E-05
Ba-139	7,8E-06
Ba-140	4,1E-05
La-140	5,2E-04
La-141	9,3E-06
La-142	6,7E-04
Ce-141	1,6E-05
Ce-143	5,6E-05
Ce-144	3,7E-06
Ce-144/Pr-144m	1,1E-05
Nd-147	2,8E-05
Ir-192	1,7E-04
Au-198	8,5E-05
Hg-203	4,8E-05
Tl-204	2,1E-07
Pb-210	2,8E-07
Bi-207	3,4E-04
Po-210	1,9E-09
Ra-226	1,4E-06
Ac-227	2,7E-08
Ac-228	2,0E-04
Th-227	2,2E-05
Th-228	4,1E-07
Th-230	8,1E-08
Th-232	4,1E-08
Pa-231	6,3E-06
U-232	5,6E-08
U-233	5,2E-08
U-234	3,2E-08
U-235	3,3E-05
U-236	2,6E-08
U-238	2,2E-08
U-240	1,5E-07

Приложение 1 (окончание)

Радионуклид	e_c^k (мГр/час)/(кБк/м³)
Np-237	4,8E-06
Np-239	3,6E-05
Pu-236	2,5E-08

Приложение 2

Коэффициенты перехода от единичной поверхностной активности радионуклида в почве к мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе на высоте 1 м над поверхностью земли

Радионуклид	Коэффициент перехода от поверхностной активности плоского источника, расположенного на границе раздела воздух – земля, к мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м e^k_g, (мГр·час$^{-1}$)/(кБк·м$^{-2}$)
Na-22	7,41E-06
Na-24	1,27E-05
C1-36	2,37E-09
K-40	5,15E-07
K-42	9,38E-07
Sc-46	6,81E-06
Ti-44+Sc-44	7,76E-06
Cr-51	1,09E-07
Mn-54	2,86E-06
Mn-56	5,57E-06
Co-58	3,35E-06
Co-60	8,29E-06
Cu-64	6,60E-07
Zn-65	1,95E-06
Se-75	1,33E-06
Rb-86	3,28E-07
Sr-89	8,01E-09
Sr-90	1,00E-09
Sr-91	2,39E-06
Zr-95	2,55E-06
Nb-94	5,40E-06
Nb-95	2,64E-06
Mo-99+Tc-99m	9,53E-07
Tc-99	2,75E-10
Tc-99m	4,27E-07
Ru-103	1,63E-06
Ru-105	2,71E-06
Ru-106+Rh-106	7,48E-07
Sb-124	6,03E-06
Sb-126m	5,36E-06
Sb-127	2,38E-06
Sb-129	4,87E-06
Te-127	1,83E-08
Te-127m	3,99E-08

Приложение 2 (продолжение)

Радионуклид	Коэффициент перехода от поверхностной активности плоского источника, расположенного на границе раздела воздух – земля, к мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м e^k_g, (мГр•час$^{-1}$)/(кБк•м$^{-2}$)
Te-129	2,12E-07
Te-129m	1,33E-07
Te-131	1,45E-06
Te-131m	4,83E-06
Te-132	8,04E-07
I-125	1,51E-07
I-129	9,10E-08
I-131	1,33E-06
I-132	7,80E-06
I-133	2,11E-06
I-134	8,93E-06
I-135+Xe-135m	5,40E-06
Cs-134	6,85E-06
Cs-136	7,37E-06
Cs-137+Ba-137m	2,55E-06
Ba-133	1,40E-06
Ba-140	6,35E-07
La-140	7,62E-06
Ce-141	2,60E-07
Ce-144+Pr-144	2,01E-07
Pr-144	1,33E-07
Pr-144m	4,59E-08
Eu-152	3,88E-06
Eu-154	4,20E-06
Eu-155	2,08E-07
Ir-192	2,83E-06
Au-198	1,41E-06
Hg-203	8,18E-07
Tl-204	5,22E-09
Pb-210	8,75E-09
Bi-207	5,22E-06
Bi-210	3,70E-09
Po-210	2,92E-11
Ra-226	2,27E-08
Ac-227	5,54E-10
Ac-228	3,27E-06
Th-227	3,67E-07
Th-228	8,29E-09
Th-230	2,65E-09
Th-232	1,94E-09
Pa-231	1,44E-07
U-234	2,64E-09

Приложение 2 (окончание)

Радионуклид	Коэффициент перехода от поверхностной активности плоского источника, расположенного на границе раздела воздух – земля, к мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м e^k_g, (мГр•час$^{-1}$)/(кБк•м$^{-2}$)
U-235	5,22E-07
U-236	2,29E-09
U-238	1,94E-09
U прир.	1,94E-09
U обогащ.	2,64E-09
Np-237	1,01E-07
Np-239	5,75E-07
Pu-236	3,46E-09
Pu-238	2,96E-09
Pu-239	1,29E-09
Pu-240	2,83E-09
Pu-241	6,81E-12
Pu-242	2,35E-09
Am-241	9,70E-08

Приложение 3

Таблица П3.1. Характеристики распада радионуклидов

Название элемента	Символ	Атомный номер (Z)	Радионуклид	Период полураспада
Тритий	H	1	H-3	12,28 лет
Марганец	Mn	25	Mn-54	312,7 дней
Кобальт	Co	27	Co-58 Co-60	70,80 дней 5,271 лет
Криптон	Kr	36	Kr-85 Kr-85m Kr-87 Kr-88	10,72 лет 4,48 ч 76,3 мин 2,84 ч
Рубидий	Rb	37	Rb-87 Rb-88	4,73 E10 лет 17,8 мин
Стронций	Sr	38	Sr-89 Sr-90 Sr-91	50,55 дней 28,6 лет 9,5 ч
Иттрий	Y	39	Y-90 Y-91 Y-91m	64,1ч 58,51 дней 49,71 мин
Цирконий	Zr	40	Zr-95	64,02 дней
Ниобий	Nb	41	Nb-95	35,06 дней
Молибден	Mo	42	Mo-99	66,02 ч
Технеций	Tc	43	Tc-99 Tc-99m	2,13E5лет 6,02 ч
Рутений	Ru	44	Ru-103 Ru-106	39,35 дней 368,2 дней
Родий	Rh	45	Rh-103m Rh-106	56,119 мин 29,92 сек
Сурьма	Sb	51	Sb-127 Sb-129	3,85 дней 4,40 ч

Приложение 3 (продолжение)

Название элемента	Символ	Атомный номер (Z)	Радионуклид	Период полураспада
Теллур	Te	52	Te-127	9,35 ч
			Te-127m	109 дней
			Te-129	69,6 мин
			Te-129m	33,6 дней
			Te-131	25,0 мин
			Te-131m	30 ч
			Te-132	78,2 ч
Йод	I	53	I-131	8,040 дней
			I-132	2,30 ч
			I-133	20,8 ч
			I-134	52,6 мин
			I-135	6,61ч
Ксенон	Xe	54	Xe-131m	11,84 дней
			Xe-133	5,245 дней
			Xe-135	9,11ч
			Xe-135m	15,36 мин
			Xe-138	14,13 мин
Цезий	Cs	55	Cs-134	2,062 лет
			Cs-136	13,16 дней
			Cs-137	30,17 лет
Барий	Ba	56	Ba-137m	2,552 мин
			Ba-140	12,789 дней
Лантан	La	57	La-140	40,22 ч
Церий	Ce	58	Ce-141	32,50 дней
			Ce-144	284,3 дней
Празеодим	Pr	59	Pr-144	17,28 мин
			Pr-144m	7,2 мин
Торий	Th	90	Th-231	25,52 ч
Нептуний	Np	93	Np-237	2,14E6лет
			Np-239	2,355 дней
Плутоний	Pu	94	Pu-238	87,75 лет
			Pu-239	24131 лет
			Pu-240	6537 лет
			Pu-241	14,4 лет
			Pu-242	3,758E5 лет
Америций	Am	95	Am-241	432,2 лет

Приложение 3 (окончание)

Таблица П3.2. Типичные радионуклиды, содержащиеся в выбросе вследствие различных ядерных аварий

Сценарий ядерной аварии	Значимые радионуклиды*		
	Первый день**	Первая неделя***	Долговременный период
Расплавление активной зоны с отказом или без отказа защитной оболочки	Y-90, Sr-91, Zr-90, Mo-99, Rh-105, Pd-109, Ag-111, Pd-112, Cd-115, Sn-121, Sn-125, Sb-126, **I-131, I-132**, Te-131m, **Te-132, I-133, I-135**, La-140, Pr-142, Ce-143, Pr-143, Ba-146, Nd-147, Pm-149, Pm-151, Sm-153, Sm-156, Eu-157, Np-239	Rh-86, **Sr-89, Y-90, Nb-95, Zr-95**, Y-91, Nb-96, Mo-99, Rh-105, Ru-103, Ag-111, Pd-112, Cd-115, Sn-121, Sb-124, Sb-127, I-131, Te-131m, Te-132, I-133, Cs-136, **Ba-140, La-140**, Ce-141, Ce-143, Pr-143, Nd-147, Pm-149, Pm-151, Sm-153, Eu-157, Np-239	H-3, Sr-89, **Sr-90**, Y-91, Nb-93m, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Ag-110m, Cd-113m, Cd-115m, Sn-121m, Sn-123, Sb-124, Sb-125, I-129, **Cs-134, Cs-137**, Ce-141, **Ce-144**, Pm-147, Tb-160, **Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Pu-241, Cm-242**, Pu-242, Am-243, **Cm-244**
Выброс с завода по переработке ядерного топлива	Sr-90, Nb-95, Zr-95, Tc-99, Ru-103, Ru-106, I-129, I-131, Cs-134, Cs-137, Ce-141, Ce-144, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Pu-241, Cm-242, Pu-242, Am-243, Cm-244		
Выброс с завода по переработке плутониевого топлива	Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Pu-241, Pu-242		

* – выделенные жирным шрифтом радионуклиды являются особенно значимыми;
** – радионуклиды с периодом полураспада 6 ч и более;
*** – радионуклиды с периодом полураспада около 1 дня и более.

Приложение 4

Ожидаемая эквивалентная доза в щитовидной железе от поступления в организм 1 кБк радионуклида с вдыхаемым воздухом, мЗв/кБк*

Радионуклид	Возрастная группа, лет		
	1–2	8–12	Взрослые
Te-131m	1,20E-01	3,30E-02	1,30E-02
Te- 132	2,90E-01	6,10E-02	2,50E-02
I-125	4,50E-01	2,20E-01	1,00E-01
I-129	1,70E-00	1,30E-00	7,10E-01
I-131	1,40E-00	3,70E-01	1,50E-01
I-132	1,60E-02	3,40E-03	1,40E-03
I-133	3,50E-01	7,40E-02	2,80E-02
I-134	3,10E-03	6,50E-04	2,60E-04
I-135	7,00E-02	1,50E-02	5,70E-03

* – для аэрозолей с типом «Б» растворимости (быстро растворимые соединения).

Приложение 5

Дозовые коэффициенты для перехода от единичного поступления радионуклидов с пищей к значению эффективной дозы

Радио-нуклид	Младенец, возраст 1–2 года (мЗв/кБк)	Подросток, возраст 8–12 лет (мЗв/кБк)	Взрослый, возраст >17лет (мЗв/кБк)
H-3	1,20E-04	5,70E-05	4,20E-05
Mn-54	3,00E-03	1,30E-03	7,10E-04
Co-58	4,40E-03	1,70E-03	7,40E-04
Co-60	2,70E-02	1,10E-02	3,40E-03
Rb-87	1,00E-02	3,00E-03	1,50E-03
Rb-88	6,20E-04	1,70E-04	9,00E-05
Sr-89	1,80E-02	5,80E-03	2,60E-03
Sr-90	7,30E-02	6,00E-02	2,80E-02
Sr-91	4,00E-03	1,20E-03	6,50E-04
Y-90	2,00E-02	5,90E-03	2,70E-03
Y-91	1,80E-02	5,20E-03	2,40E-03
Y-91m	6,00E-05	2,10E-05	1,20E-05
Zr-95	5,60E-03	1,90E-03	9,50E-04
Nb-95	3,20E-03	1,10E-03	5,90E-04
Mo-99	3,50E-03	1,10E-03	6,00E-04
Tc-99	4,80E-03	1,30E-03	6,40E-04
Tc-99m	1,30E-04	4,30E-05	2,20E-05
Ru-103	4,60E-03	1,50E-03	7,30E-04
Ru-106	4,90E-02	1,50E-02	7,00E-03
Rh-106	9,70E-04	3,3OE-04	1,60E-04
Sb-127	1,20E-02	3,60E-03	1,70E-03
Sb-129	2,90E-03	8,80E-04	4,20E-04
Te-127	1,20E-03	3,60E-04	1,70E-04
Te-127m	1,80E-02	5,20E-03	2,30E-03
Te-129	4,40E-04	1,20E-04	6,30E-05
Te-129m	2,40E-02	6,60E-03	3,00E-03

Радио-нуклид	Младенец, возраст 1–2 года (мЗв/кБк)	Подросток, возраст 8–12 лет (мЗв/кБк)	Взрослый, возраст >17лет (мЗв/кБк)
Te-131	6,60E-04	1,90E-04	8,70E-05
Te-131m	1,40E-02	4,30E-03	1,90E-03
Te-132	3,00E-02	8,30E-03	3,80E-03
I-131	1,80E-01	5,20E-02	2,20E-02
I -132	2,40E-03	6,20E-04	2,90E-04
I -133	4,40E-02	1,10E-02	4,30E-03
I -134	7,50E-04	2,10E-04	1,10E-04
I -135	8,90E-03	2,20E-03	9,30E-04
Cs-134	1,60E-02	1,40E-02	1,90E-02
Cs-135	2,30E-03	1,70E-03	2,00E-03
Cs-136	9,50E-03	4,40E-03	3,10E-03
Cs-137	1,20E-02	1,00E-02	1,30E-02
Cs-138	5,90E-04	1,70E-04	9,20E-05
Ba-140	1,80E-02	5,80E-03	2,60E-03
La-140	1,30E-02	4,20E-03	2,00E-03
Ce-141	5,10E-03	1,50E-03	7,10E-04
Ce-144	3,90E-02	1,10E-02	5,20E-03
Pr-144	3,50E-04	9,50E-05	5,10E-05
Th-231	2,50E-03	7,40E-04	3,40E-04
Np-239	5,70E-03	1,70E-03	8,00E-04
Pu-238	4,00E-01	2,40E-01	2,30E-01
Pu-239	4,20E-01	2,70E-01	2,50E-01
Pu-240	4,20E-01	2,70E-01	2,50E-01
Pu-241	5,70E-03	5,00E-03	4,70E-03
Pu-242	4,00E-01	2,60E-01	2,40E-01
Am241	3,70E-01	2,20E-01	2,00E-01