2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

# РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Роспотребнадзор
Москва
2007

gost.e-ecolog.ru

1. Настоящие методические рекомендации разработаны авторским коллективом в составе: М.И. Балонов, А.Н. Барковский, Г.Я. Брук, В.Ю. Голиков, В.Н. Шутов (ФГУН НИИРГ имени профессора П.В. Рамзаева Роспотребнадзора).
2. Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 27 декабря 2007 г. № 0100/13610-07-34.
3. Введены впервые.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель руководителя Федеральной
службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека
_____ Г.Г. Онищенко
"27" июня 2007 г.
№ 0100/13610-07-34

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

# РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

---

**Методические рекомендации**

**Москва • 2007**

## СОДЕРЖАНИЕ


Стр.

**1. Введение** ..... 6
**2. Назначение документа** ..... 6
**3. Общие положения** ..... 6
**4. Радиационный мониторинг доз внешнего облучения** ..... 8
4.1. Термины и определения ..... 8
4.2. Проведение измерений ..... 9
4.2.1. Измерение индивидуальных доз внешнего облучения ..... 11
4.2.2. Измерение мощностей доз гамма-излучения в различных локациях ..... 22
4.3. Оценка социально-демографических факторов ..... 36
Приложение 4.1. Пример оформления данных о структуре населения НП ..... 37
Приложение 4.2. Опросная карта (внешнее облучение) ..... 38
**5. Радиационный мониторинг доз внутреннего облучения** ..... 40
5.1. Термины и определения ..... 40
5.2. Оценка доз внутреннего облучения по содержанию $^{137}Cs$ в организме жителей с использованием счетчиков излучения человека ..... 41
5.2.1. Определение содержания $^{137}Cs$ в теле человека ..... 41
5.2.2. Характеристики счетчиков излучения человека ..... 42
5.2.3. Условия проведения измерений ..... 44
5.2.4. Выполнение измерений на счетчиках излучения человека ..... 45
5.2.5. Обработка результатов измерений ..... 51
5.2.6. Документирование результатов измерений ..... 53
5.2.7. Оценка доз внутреннего облучения по данным СИЧ-измерений ..... 54
5.3. Оценка доз внутреннего облучения по содержанию $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в пищевых продуктах ..... 56
5.3.1. Объем радиационного мониторинга пищевых продуктов и требования, предъявляемые к его проведению ..... 56
5.3.2. Радиационный мониторинг пищевых продуктов ..... 58
5.3.3. Структура сельскохозяйственных угодий ..... 62
5.4. Выборочные (углубленные) обследования населенных пунктов ..... 62
Приложение 5.1. Экспрессный метод определения содержания цезия-137 в организме человека с помощью индикаторных СИЧ ... 63
Приложение 5.2. Пример заполнения справки о структуре

сельскохозяйственных угодий общественного хозяйства, в составе которого находится НП ..... 65
Приложение 5.3. Опросная карта ..... 66
Литература ..... 70

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации (МР) представляют в обобщенном виде накопленный опыт практического проведения работ по радиационному мониторингу доз внешнего и внутреннего облучения населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

При проведении радиационного мониторинга доз возникает целый ряд специфических вопросов, успешное решение которых требует определенного опыта в этой области. Необходимо корректно выбирать методы измерений, технологию их проведения, объемы отдельных видов измерений и методы оценки доз внешнего и внутреннего облучения населения с использованием полученных результатов. Набор и содержание этих процедур зависят от целей проводимого мониторинга.

# 2. НАЗНАЧЕНИЕ ДОКУМЕНТА

Настоящий документ предназначен для организаций и лиц, проводящих радиационный мониторинг доз внешнего и внутреннего облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. МР содержат рекомендации по объему, порядку и методам осуществления радиационного мониторинга на указанных территориях с целью достоверной оценки средних годовых эффективных доз (СГЭД) облучения населения и его критических групп за счет радиоактивного загрязнения среды обитания "чернобыльскими" выпадениями, корректировки параметров моделей формирования доз, а также для обеспечения информацией населения и заинтересованных организаций.

# 3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Содержание и объем радиационного мониторинга определяются уровнями облучения критических групп жителей населенных пунктов. В соответствии с этим, все НП, расположенные на загрязненных территориях, подразделяются на две группы:

— **НП группы 1:** населенные пункты, для которых предварительная оценка средней годовой эффективной дозы облучения критических групп жителей НП $E_{10}$ составляет величину менее 1,0 мЗв/год;

**НП группы 2:** населенные пункты, для которых предварительная оценка $E_{\kappa\Gamma}$ составляет величину, равную или большую 1,0 мЗв/год.

Предварительная оценка $E_{\kappa\Gamma}$ может быть выполнена на основании имеющихся за предшествующий 3-летний период времени, включающий календарный год оценки дозы (*период усреднения*), данных инструментальных измерений (так, по внутреннему облучению, это данные СИЧ-измерений жителей или результаты радиационного мониторинга пищевых продуктов, а по внешнему облучению – данные ТЛД-измерений или результаты определения гамма-фона в локациях населенных пунктов и их ареалов). При отсутствии этой информации предварительную оценку СГЭД внешнего облучения критической (по внешнему облучению) группы населения ($E_{K\Gamma}^{ext}$), выполняют в соответствии с п. 6.1 документа [1], а предварительную оценку СГЭД внутреннего облучения критической (по внутреннему облучению) группы населения ($E_{K\Gamma}^{int}$) – в соответствии с п. 7.2 указанного документа (по данным о группах и типах почв, преобладающих на территории НП или сельской администрации, в состав которой он входит, и характерных для этих почв коэффициентах перехода $^{137}Cs$ в пищевые продукты). Консервативно принимают $E_{\kappa\Gamma} = E_{K\Gamma}^{ext} + E_{K\Gamma}^{int}$. Определение критических (наиболее облучаемых) групп населения приведено в документе [1]. Там же описана процедура выполнения расчетов величины $E_{\kappa\Gamma}$, базирующихся на разных наборах исходных данных.

В населенных пунктах 1-ой группы специальный радиационный мониторинг, связанный с аварией на Чернобыльской АЭС, проводят по схеме общего, не обусловленного этой аварией, мониторинга. Основными задачами этого мониторинга является контроль за непревышением дозового предела 1 мЗв/год для критических групп населения, а также снятие социально-психологической напряженности у жителей. В качестве окончательных результатов дозовых оценок для НП 1-ой группы допускается использовать результаты предварительной оценки доз.

В настоящем документе детально изложены способы получения предварительных дозовых оценок, базирующиеся не на модельных (чисто расчетных) представлениях, а опирающиеся на результаты инструментальных измерений.

Основной задачей радиационного мониторинга, проводимого в населенных пунктах 2-ой группы, является определение СГЭД облучения населения и его критических групп. Полученные результаты используются также для верификации моделей формирования доз внешнего и внутреннего облучения и определения тенденций изменения их параметров со временем.

Радиационный мониторинг доз внешнего и внутреннего облучения осуществляется в отношении только $^{137}Cs$, вносящего в настоящее время основной вклад в формирование дозы вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. В отношении внутреннего облучения, при необходимости, может проводиться также выборочный мониторинг содержания $^{90}Sr$ в пищевых продуктах.

# 4. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

## 4.1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

***Ареал населенного пункта*** - прилегающая к населенному пункту территория, на которой население ведет хозяйственную деятельность (огороды, поля, покосы и т.п.) или проводит свободное время (берег реки, озера, лес и т.п.).

***Индивидуальный дозиметрический контроль*** – в рамках данного документа контроль индивидуальных доз внешнего облучения людей с использованием индивидуальных дозиметров, постоянно находящихся на их теле (одежде).

***Локация*** – участки территории населенного пункта и его ареала, являющиеся, с одной стороны, представительными в смысле описания поведения населения, а с другой стороны, характеризующиеся сходными параметрами поля излучения.

***Нулевой фон гамма-дозиметра*** - сумма собственного фона дозиметра и его отклика на космическое излучение.

***Фактор места*** - отношение мощности дозы чернобыльского компонента гамма-излучения на высоте 1 м над подстилающей поверхностью в данной локации НП или его ареала к аналогичной величине над целинным участком местности.

***Фактор поведения*** - доля времени, проводимого населением в локациях различного типа.

***Целинный участок местности*** - участок местности, не подвергавшийся какой-либо обработке после аварии на Чернобыльской АЭС.

***Чернобыльский компонент излучения*** - компонент ионизирующего излучения, обусловленный радиоактивным загрязнением окружающей среды в результате аварии на ЧАЭС.

***Эквивалент индивидуальной дозы Hp(10)*** – рабочая дозиметрическая величина, которая представляет собой эквивалент дозы в мягкой биологической ткани под заданной точкой тела на глубине 10 мм.

Используется для получения оценки эффективной дозы, которая исключает как ее недооценку, так и значительную переоценку.

## 4.2. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Для проведения радиационного мониторинга внешнего облучения на загрязненных территориях рекомендуется использовать два основных вида измерений:

- измерение индивидуальных доз внешнего излучения (индивидуальный дозиметрический контроль);
- измерение мощностей доз гамма-излучения в локациях.

Следует обратить внимание на то, что при проведении измерений на загрязненных территориях, как правило, определяется доза (мощность дозы), обусловленная всеми источниками излучения, включая природные. Для оценки дозы (мощности дозы), создаваемой за счет гамма-излучения $^{137}Cs$, выпавшего в результате аварии на ЧАЭС (чернобыльского компонента облучения), необходимо дополнительно оценить и вычесть из результатов измерений величину дозы (мощности дозы), неизбежно создаваемой природными источниками.

Основной вклад в дозу (мощность дозы) внешнего облучения от природных источников дают следующие компоненты:

- космическое излучение, зависящее от широты местности и высоты над уровнем моря;
- излучение природных радионуклидов (ряды урана и тория, а также радионуклид $^{40}K$), содержащихся в земной коре;
- излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных конструкциях зданий.

Оценка вклада природных источников в измеряемую величину мощности дозы гамма-излучения в различных локациях может осуществляться путем проведения в тех же точках гамма-спектрометрических измерений, которые позволяют выделить вклад гамма-излучения природных радионуклидов. При проведении индивидуального дозиметрического контроля населения сделать это невозможно, т.к. существующие индивидуальные дозиметры не позволяют оценить энергетический спектр гамма-излучения. В этом случае приходится из полученных индивидуальных доз вычитать среднее для данной территории значение вклада природных источников. Такой подход может приводить к большим погрешностям оценки индивидуальных доз

на слабозагрязненных территориях, где вклад природных источников может значительно превышать вклад чернобыльского компонента излучения. Поэтому рекомендуется проводить индивидуальный дозиметрический контроль лишь в тех населенных пунктах, плотность радиоактивного загрязнения которых $^{137}Cs$ составляет не менее 370-555 кБк/м$^2$ (10-15 Ки/км$^2$).

Индивидуальный дозиметрический контроль позволяет наиболее точно учесть все факторы, влияющие на формирование дозы внешнего облучения у жителей загрязненных территорий. Достаточно длительный период ношения дозиметров позволяет исключить влияние на результаты измерений различие в режимах поведения людей в отдельные дни (выходные и рабочие дни, дождливые и солнечные дни и т.п.), чего достаточно трудно достигнуть при использовании иных методов.

При проведении индивидуального дозиметрического контроля жителей загрязненных территорий возникает ряд трудностей, влияющих на достоверность и точность получаемых результатов:

— в нарушение инструкции по ношению дозиметров, не все жители постоянно носят индивидуальные дозиметры;

— некоторые жители умышленно искажают результаты измерений, помещая дозиметры в места аномально высокой мощности дозы (например, под водостоки);

— при величине чернобыльского компонента дозы меньшей, чем доза природного облучения, очень трудно провести их достоверное разделение.

От этих недостатков в значительной мере свободен метод оценки доз облучения населения загрязненных территорий, основанный на измерении мощностей доз гамма-излучения в различных локациях НП. Он позволяет получить детальную информацию о пространственных характеристиках поля гамма-излучения в НП и его ареале. На основе этих данных, используя информацию о режимах поведения жителей, можно оценить дозы их внешнего облучения. Для этого могут использоваться методы стохастического моделирования, позволяющие исследовать влияние различных факторов на формирование этой дозы (например, индивидуальных особенностей режима поведения), а также получать статистические распределения индивидуальных доз. К недостаткам метода следует отнести его большую трудоемкость и необходимость достоверной информации о режимах поведения различных групп населения или отдельных лиц.

Приведенные выше соображения следует учитывать при выборе метода оценки доз внешнего облучения жителей на загрязненных в результате аварии на ЧАЭС территориях.

### 4.2.1. Измерение индивидуальных доз внешнего облучения

Для измерения индивидуальных доз внешнего облучения применяются индивидуальные дозиметры, постоянно носимые на теле (одежде) обследуемого субъекта в течение всего времени измерения.

Для получения представительной информации о дозах, получаемых человеком, дозиметры экспонируются на протяжении достаточно длительного промежутка времени, включающего все основные периоды деятельности человека (работу, пребывание дома, перемещения, досуг и т.д.), в полной мере характеризующие режим поведения данного субъекта. Кроме того, минимальное время ношения дозиметра определяется тем, что накопленная им доза должна превышать порог чувствительности дозиметрической системы. Как правило, это время составляет от 1 до 3 месяцев.

Индивидуальные дозиметры различаются принципом действия и способом регистрации дозы ионизирующего излучения. В настоящее время для проведения индивидуальной дозиметрии на загрязненных территориях, в основном, используются термолюминесцентные дозиметры (ТЛД-дозиметры).

В силу значительной организационной и технической сложности проведения массового измерения индивидуальных доз внешнего облучения, область использования этого метода, как правило, сводится к верификации дозовых оценок, и оценке адекватности применяемых для этого моделей.

#### *4.2.1.1. Особенности индивидуальных ТЛД-дозиметров*

В основе принципа действия ТЛД-дозиметров лежит свойство некоторых диэлектриков (термолюминофоров) накапливать и длительное время сохранять информацию о действии ионизирующего излучения. При нагревании они испускают кванты света, количество которых пропорционально накопленной дозе. Этот свет регистрируется специальным прибором (ТЛД-считывателем), который и дает информацию о накопленной дозиметром дозе облучения. В ходе считывания, информация о накопленной дозе стирается, делая возможным повторное использование ТЛД-дозиметров для определения дозы.

Наиболее часто применяются ТЛД-дозиметры на основе детекторов из фтористого лития, активированные Ti и Mg (TLD-100) или Mg, Cu и P (MCP). К их преимуществам относятся высокая чувствительность, длительное сохранение накопленной информации и практически полная тканеэквивалентность, что обеспечивает слабую зависимость их показаний от энергии гамма-излучения.

ТЛД-дозиметр содержит один или несколько термолюминесцентных детекторов (ТЛД), помещенных в корпус, конструкция которого обеспечивает измерение той или иной дозиметрической величины. Например, ТЛД-дозиметр для измерения персонального дозового эквивалента Hp(10) содержит расположенный над детекторами фильтр из тканеэквивалентного материала толщиной 1000 мг·см$^{-2}$, необходимый для прямого измерения указанной дозиметрической величины. Именно такие дозиметры чаще всего используются для измерения индивидуальных доз внешнего облучения населения на загрязненных в результате аварии на ЧАЭС территориях.

На результаты измерения дозы с использованием ТЛД-дозиметров оказывают влияние следующие факторы (эффекты):

1. Фединг – самопроизвольная утрата информации о накопленной дозе. Фединг наблюдается даже при нормальных условиях. Его влияние может быть снижено за счет применения специальных режимов подготовки ТЛД к считыванию, например путем предварительной выдержки их при температуре 80°С в течение одного часа. Для ТЛД на основе фтористого лития фединг за 3 месяца достигает 20 % без специальной подготовки дозиметров и не превышает 5 % в случае применения такой подготовки. При условии стандартизации режимов считывания ТЛД и их подготовки к считыванию, может быть внесена поправка на фединг, являющаяся функцией времени, прошедшего после предыдущего считывания ТЛД или момента облучения.
2. Вариации дозиметрических свойств ТЛД. Несмотря на то, что при производстве ТЛД принимаются все возможные меры к их максимальной стандартизации, чувствительность отдельных ТЛД различается, даже в пределах одной партии. Кроме вариаций свойств материала ТЛД, в разброс их чувствительности вносят вклад различия в массе детекторов, их толщине и оптических свойствах. Наиболее эффективным способом учета вариации чувствительности отдельных ТЛД является индивидуальная калибровка каждого детектора и применение индивидуальных поправочных коэффициентов при анализе результатов определения накопленной ими дозы. Такой подход реализован в автоматизированных ТЛД-системах типа Harshaw и ALNOR (RADOS), в которых для каждого ТЛД используется

индивидуальный поправочный коэффициент. В случае применения ручной (неавтоматизированной) установки, учет индивидуальной чувствительности каждого из детекторов достаточно сложен. В этом случае применяется предварительная сортировка детекторов для разделения их на группы с малым разбросом параметров чувствительности в пределах одной группы. Очевидно; что при этом невозможно достичь того уровня точности и воспроизводимости результатов измерений, который характерен для автоматизированных ТЛД-систем. Следует учитывать, что чувствительность ТЛД со временем может изменяться и процедуру сортировки (калибровки) необходимо периодически повторять.

3. Нестабильность измерительного тракта ТЛД-считывателя. На точность и воспроизводимость результатов измерений оказывает влияние нестабильность измерительного тракта, который обычно состоит из фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) для регистрации термолюминесценции и электронных схем для регистрации и анализа. Дрейф параметров любого из элементов измерительного тракта может оказывать существенное влияние на результаты измерений. Особенно существенным здесь может быть влияние старения ФЭУ, которое может привести к существенному искажению информации о накопленной дозе. Для контроля параметров ручного (неавтоматизированного) ТЛД-считывателя проводят контрольные измерения детекторов, облученных известной дозой. В автоматизированных ТЛД-считывателях, наряду с указанной процедурой, используются системы автоматического контроля измерительного тракта, которые, обычно, включают в себя стабилизированный контрольный источник света, например, радиолюминофор на основе $^{14}C$, обладающий высокими параметрами собственной стабильности. Применение системы автоматического контроля позволяет учитывать изменения чувствительности измерительного тракта и автоматически корректировать полученные результаты. Повышению воспроизводимости результатов измерений служат также специальные схемы термостабилизации ФЭУ, стабилизации каскадов усиления и т.п.

4. Собственный фон установки и ТЛД. Фактором, в наибольшей степени определяющим порог чувствительности ТЛД-дозиметрии, является собственный фон установки и ТЛД, т.е. регистрируемый ТЛД-считывателем сигнал, при считывании необлученного детектора (или даже при отсутствии ТЛД в измерительной камере). Для снижения собственного фона прибора применяют охлаждение ФЭУ (с помощью элементов Пельтье), вытеснение воздуха из измерительной камеры инертным газом (обычно азотом), использование более качественных

материалов для изготовления ТЛД. Собственный фон определяется на этапе метрологической аттестации ТЛД системы путем считывания серии необлученных дозиметров (дозиметров с нулевой дозой). Среднее значение полученных при этом результатов измерения принимается за величину собственного фона ТЛД-системы.

Таким образом, с учетом влияния перечисленных факторов, метрологические характеристики различных типов ТЛД-считывателей могут существенно различаться. ТЛД-системы, использующие детекторы TLD-100, характеризуются порогом чувствительности (минимальной детектируемой дозой) порядка 10 мкЗв. Основная погрешность измерения поглощенной дозы при этом составляет 2-3 % для автоматизированных ТЛД-систем и 15-20 % для ручных ТЛД-считывателей.

Применение ТЛД-дозиметров для определения индивидуальных доз предполагает осуществление определенного цикла (последовательности) операций. Он включает подготовку к измерениям, проведение измерений (экспонирование дозиметров), считывание дозиметров, обработку результатов измерений, определение и документирование полученных индивидуальных доз. Ниже описаны основные этапы этого цикла. Если не оговорено особо, описание относится к ручным (неавтоматизированным) ТЛД-считывателям.

#### *4.2.1.2. Подготовка к измерениям*

Подготовка к измерениям включает в себя предварительный этап (калибровка и сортировка детекторов), отжиг (обнуление) подготавливаемых детекторов и транспортировку дозиметров из лаборатории к месту применения.

Сортировка детекторов состоит в определении их чувствительности и распределении на группы по чувствительности. Разброс чувствительности детекторов в каждой группе не должен превышать заданной величины, обычно 10-15 % от среднего значения в группе. Под чувствительностью детектора понимают отношение величины, полученной при считывании его на ТЛД-считывателе, к накопленной в детекторе дозе. В дальнейшем всем дозиметрам в группе приписывается единое значение калибровочного коэффициента, соответствующее среднему для группы значению чувствительности детекторов, которое используется при измерении дозы. Сортировка детекторов осуществляется перед первым использованием партии детекторов (входной контроль), а также периодически с целью учета и корректировки изменения чувствительности детекторов в процессе эксплуатации (текущий контроль). Кроме того, на этапе входного контроля рекомендуется отбраковывать детекторы с

повышенным собственным фоном для обеспечения приемлемого и воспроизводимого порога чувствительности ТЛД-дозиметров.

При входном контроле все детекторы подвергаются многократному (например, пятикратному) циклу «отжиг» - «облучение калиброванной дозой[1] » - «считывание». По результатам серии измерений для каждого детектора определяют среднее арифметическое значение показаний и коэффициент вариации. Детекторы с коэффициентом вариации более 5 % отбраковывают.

Для оценки эквивалента индивидуальной дозы Hp(10), рекомендованного МАГАТЭ для определения индивидуальных доз внешнего облучения, конструкция дозиметра (в первую очередь – корпуса) должна обеспечивать корректное определение Hp(10) в широком диапазоне энергий и углов падения гамма-излучения. Так, в дозиметрах типа Harshaw семейства 8805, необходимая угловая и энергетическая зависимости Hp(10) обеспечиваются наличием над детекторами полусферического фильтра из тканеэквивалентного пластика толщиной 1000 мг·см$^{-2}$. Если конструкция корпуса ТЛД-дозиметра не обеспечивает изотропность и компенсацию энергетической зависимости его чувствительности, применение дозиметра в условиях, отличных от условий калибровки, может провести к значительной неконтролируемой систематической погрешности результатов измерений.

Калибровка (градуировка) дозиметров обеспечивает связь между регистрируемой ТЛД-считывателем величиной и дозой. Поскольку на результаты определения дозы оказывают влияние, как конструкция ТЛД-дозиметра, так и условия облучения, при калибровке должно достигаться максимальное приближение к условиям последующего применения дозиметра. Обратное рассеяние излучения телом человека при калибровке моделируется соответствующим фантомом, на поверхности которого размещаются дозиметры. В качестве фантома могут использоваться блок из полиметилметакрилата или водный фантом размером 30x30x15 см. Калиброванное облучение осуществляется с помощью стандартного изотопного источника $^{137}$Cs. Для перехода от воздушной кермы Ка (в терминах которой, как правило, калибруются облучатели) к необходимой дозиметрической величине применяются соответствующие таблицы конверсионных коэффициентов [2]. Так для условий калибровки на изотопном источнике $^{137}$Cs при нормальном падении пучка излучения для перехода от Ка к Hp(10) следует применять коэффициент 1,21.

Перед проведением измерений с использованием ТЛД-дозиметров проводят отжиг (обнуление) содержащихся в них детекторов для стирания

---

[1] Калиброванная доза – заданная доза, облучение которой осуществляется на специальной калибровочной установке.

информации о накопленной с момента последнего отжига дозе. Как правило, для этого достаточно провести их считывание в штатном режиме, однако для полного обнуления иногда используют отжиг при заведомо более высоких температурах (например, при температуре 400° С в течение нескольких десятков минут). При осуществлении такого отжига следует избегать экстремального нагрева ТЛД, поскольку он может привести к изменению их дозиметрических свойств.

В автоматизированных ТЛД-системах, полное обнуление детекторов достигается включением участка до-отжига в запрограммированный профиль их нагрева при считывании. После обнуления, ТЛД или содержащие их слайды (при использовании автоматизированных ТЛД-систем) вставляются в корпуса дозиметров. Подготовленные к применению ТЛД-дозиметры помещаются на хранение в место, защищенное от воздействия ионизирующего излучения. При транспортировке партии дозиметров к месту использования также принимают меры для минимизации их облучения, например, помещая их в защитные контейнеры. В каждой партии дозиметров резервируются один или несколько транспортных (фоновых) дозиметров, показания которых используются для оценки и учета дозы, полученной в процессе хранения и транспортировки данной партии дозиметров.

#### *4.2.1.3. Проведение измерений*

Измерительный цикл включает в себя выдачу дозиметров, их ношение (экспонирование), сбор и доставку в лабораторию, считывание.

Количество выдаваемых дозиметров, группы населения, которым их раздают, и срок экспонирования определяются конкретной программой измерений. Как правило, количество выдаваемых дозиметров должно быть не меньше 30 на населенный пункт, а персональный состав субъектов исследования должен быть репрезентативным с точки зрения профессиональной и социально-демографической структуры населения.

Имеет смысл осуществлять выдачу дозиметров в ходе проведения СИЧ-измерений лицам, для которых проводилось также определение содержания $^{137}Cs$ в организме. Это позволяет получить одновременно индивидуальные дозы внешнего и внутреннего облучения и, при необходимости, учесть вклад гамма-излучения содержащегося в организме человека $^{137}Cs$ в показания ТЛД-дозиметра, который в определенных условиях может достигать 15 %.

Целесообразно выдачу и сбор дозиметров в населенных пунктах осуществлять в присутствии представителей местных органов власти. При

этом заполняется «Лист выдачи/сбора дозиметров», содержащий в себе, как минимум, следующие позиции:

- Название населенного пункта;
- Ф.И.О. лица, получившего дозиметр для ношения;
- Адрес проживания;
- Номер дозиметра;
- Дата получения (с росписью получившего лица)
- Дата возврата (с росписью принявшего лица)
- Особые отметки (информация о повреждениях дозиметра, особенностях применения – например, случаях, когда дозиметр откреплялся от одежды и экспонировался отдельно от обследуемого лица, сведения о выезде за пределы населенного пункта и т.п.).

Лист выдачи/сбора дозиметров заверяется при их выдаче и сборе представителем местного органа власти.

При выдаче дозиметров необходимо ознакомить людей с правилами их ношения. Рекомендуется вместе с дозиметром выдавать памятку (инструкцию) с изложением основных правил его ношения. При выдаче дозиметров следует подчеркнуть важность проводимого исследования и обратить внимание на значительную ценность, которую представляют выдаваемые дозиметры и та информация, которая будет получена с их помощью. Вместе с тем, не следует чрезмерно заострять внимание на возможных негативных последствиях утери дозиметра, поскольку возможной реакцией на это может стать оставление отдельными людьми дозиметров дома или на работе для надежного хранения на весь период исследования, вместо их ношения. Большую роль для обеспечения сохранности и правильности ношения дозиметров играет авторитет представителей местной власти.

Дозиметр должен постоянно носиться на теле (одежде) человека в области груди. При этом должна соблюдаться правильная ориентация дозиметра (тканеэквивалентным фильтром наружу). В ночное время дозиметр должен находиться в жилом помещении вблизи места, где спит носящий его человек. Запрещается открывать корпус дозиметра, подвергать его тепловому и механическому воздействию, опускать в воду или другие жидкости.

Обычно, процент потери дозиметров составляет около 5 %, но может превысить 10 % при недостаточной мотивации субъектов исследования к правильному ношению и обеспечению сохранности дозиметров.

Контроль за соблюдением правил ношения дозиметров возлагается обычно на представителя местной власти или лицо, уполномоченное местной властью. Выборочный контроль может осуществляться представителями организации, проводящей измерения.

Для учета дозы, накопленной за счет транспортировки к месту измерений и обратно, необходимо применять транспортные дозиметры, которые отжигаются (подготавливаются) вместе с основной партией дозиметров, однако возвращаются в лабораторию и считываются сразу после завершения раздачи дозиметров (т.е. не дожидаясь завершения измерений).

#### *4.2.1.4. Обработка результатов измерений*

Для определения индивидуальной дозы внешнего облучения, необходимо из показаний дозиметра вычесть дозу, накопленную им при хранении и транспортировке из лаборатории к месту измерений и обратно («транспортную дозу»). Учет ее возможен двумя способами:

1. В случае, если выдача и сбор дозиметров осуществляются по кольцевому маршруту, «транспортная доза» определяется по показаниям транспортных дозиметров, которые возвращаются в лабораторию после завершения процедуры выдачи дозиметров. При таком способе учета «транспортной дозы» исходят из того, что транспортирование дозиметров для выдачи и после сбора осуществляется по одному и тому же маршруту и за одинаковое время. Возможно использование двух комплектов транспортных дозиметров – один используется при выдаче дозиметров, а другой при сборе. В этом случае в качестве оценки «транспортной дозы» следует принимать среднее арифметическое результатов, полученных от этих двух комплектов транспортных дозиметров.

2. «Транспортная доза» может определяться по показаниям фоновых дозиметров, постоянно сопровождающих каждую парию индивидуальных дозиметров, раздаваемых в определенном населенном пункте. В этом случае в период ношения индивидуальных дозиметров фоновые помещаются на хранение в место с минимальным и хорошо известным гамма-фоном (например, в защитный контейнер). Время хранения фоновых дозиметров фиксируется для оценки дозы, набранной ими за время хранения. За оценку «транспортной дозы» в этом случае принимают усредненные показания фоновых дозиметров за вычетом дозы, накопленной ими за время хранения. При этом доза, накопленная фоновыми дозиметрами за время их хранения, должна быть оценена в тех же дозиметрических величинах, в которых выражаются показания индивидуальных и фоновых дозиметров.

С учетом того, что реальная продолжительность ношения дозиметров для разных людей может отличаться, для получения сопоставимых результатов их необходимо нормировать, т.е. привести результаты измерений к одному временному интервалу, например к месяцу. При этом, в качестве длительности реального ношения дозиметров используется разность между датами их сбора и выдачи, по данным «Листа выдачи/сбора дозиметров». Нормирование проводится для измеренной индивидуальной дозы (после вычитания вклада «транспортной дозы»).

В результате нарушений правил ношения индивидуальных дозиметров или их умышленного переоблучения все или часть полученных результатов могут оказаться искаженными. Для их исключения используют процедуры фильтрации измеренных значений. Одним из методов такой фильтрации является установление разумной величины максимальной и минимальной дозы облучения жителей обследуемого НП и отбрасывание результатов, не попадающих в этот диапазон. Возможно, использовать два критерия для отбраковки намеренно искаженных результатов измерений индивидуальных доз [3]:

1. Все результаты измерений в НП нельзя использовать, если отклонение измеренных значений от среднего не превышает 10-15%.
2. Результаты отдельных измерений нельзя использовать, если оцененное по показаниям дозиметров значение эффективной дозы $E_i$ у представителей i-ой группы населения, проживающих в деревянных (каменных) домах не удовлетворяет соотношениям:

$$n \cdot K_i^E \cdot K_{aw} \cdot C_1 < E_i(дер.) < n \cdot K_i^E \cdot K_{aa} \cdot C_3$$
$$n \cdot K_i^E \cdot K_{ab} \cdot C_2 < E_i(кам.) < n \cdot K_i^E \cdot K_{aa} \cdot C_3$$

где: n – количество дней, в течение которых экспонировался индивидуальный дозиметр;

$K_i^E$ – коэффициент перехода от воздушной кермы к эффективной дозе для представителей i-ой группы населения;

$K_{aw}$, $K_{ab}$, $K_{aa}$ – значения воздушной кермы в деревянном, каменном доме и над целиной в обследуемом НП, соответственно;

$C_1$, $C_2$ и $C_3$ – факторы, определяющие возможные экстремальные режимы поведения людей (например, $C_1$=1,3; $C_2$=1,6 и $C_3$=0,75 [3]).

Так как индивидуальный дозиметр регистрирует как «чернобыльский», так и природный компонент поля излучения, то для оценки только «чернобыльского» компонента индивидуальной дозы

внешнего облучения из показаний дозиметра необходимо вычесть дозу, обусловленную природными источниками излучения.

При оценке вклада в показания индивидуального дозиметра природных источников необходимо учитывать, что гамма-излучение природных радионуклидов ослабляется телом человека и отношение его вклада в дозу, зарегистрированную индивидуальным дозиметром, к соответствующей дозе, измеренной в той же точке в отсутствие человека, для взрослого человека равно 0,8. Космическое излучение практически не ослабляется телом человека и его вклад в показания индивидуального дозиметра равен его вкладу в дозу в воздухе.

При наличии измеренных значений мощности дозы гамма-излучения природных радионуклидов в домах и на открытой местности (например, как описано в п. 4.3.7 настоящего документа) вклад гамма-излучения природных радионуклидов $D_n$ в дозу, регистрируемую индивидуальным ТЛ-дозиметром с детекторами из фтористого лития, может быть оценен с помощью следующего выражения:

$$D_n = T_d \cdot 10^{-3} \cdot [0{,}84 \cdot D_\kappa^0 \cdot (T^\partial \cdot K_\kappa^\partial + (1 - T^\partial)) + 0{,}8 \cdot 0{,}95 \cdot (T^\partial \cdot D_n^\partial + (1 - T^\partial) \cdot D_n^0)], \text{ мкГр,} \quad (4.2.1)$$

где: $T_d$ - время ношения индивидуального дозиметра в часах;

$D_\kappa^0$ - значение мощности поглощенной дозы космического излучения в воздухе на открытой местности, нГр/час;

$D_n^0$ - значение мощности поглощенной дозы гамма-излучения природных радионуклидов в воздухе на открытой местности, нГр/час;

$D_n^\partial$ - значение мощности поглощенной дозы гамма-излучения природных радионуклидов в воздухе внутри зданий, нГр/час;

$K_\kappa^\partial$ - коэффициент ослабления космического излучения зданиями ($K_\kappa^\partial$=0,96 для деревянных зданий, $K_\kappa^\partial$=0,9 для каменных зданий [4]);

$T^\partial$ - среднегодовая доля времени пребывания человека в помещении.

Коэффициенты 0,84 и 0,95 учитывают отличие отклика термолюминесцентных детекторов из фтористого лития на космическое излучение и гамма-излучение природных радионуклидов, соответственно, от их отклика на гамма-излучение $^{137}Cs$, в поле которого они были калиброваны [4].

В качестве приемлемой оценки мощности поглощенной дозы космического излучения в воздухе на открытой местности для загрязненных территорий России можно принять значение 37 нГр/ч (25 мкГр/месяц).

Если индивидуальные дозиметры откалиброваны в терминах эквивалента индивидуальной дозы Hp(10), то величина, получаемая после вычитания из измеренной индивидуальной дозы вклада природного излучения, является приемлемой оценкой чернобыльского компонента месячной эффективной дозы. Для оценки чернобыльского компонента годовой эффективной дозы значение месячной дозы необходимо умножить на 9, если измерения проводились в летний период, или, если измерения проводились осенью, весной, или зимой, на величину от 10 до 19 в зависимости от толщины снежного покрова и сезонного изменения режима поведения населения. Для уменьшения погрешностей оценку годовой дозы измерения рекомендуется проводить в летний период.

#### *4.2.1.5. Документирование результатов измерений*

Результаты измерений документируются таким образом, чтобы была обеспечена возможность доступа к первичной информации. Сопровождающая измерения документация должна содержать следующую информацию:

— характеристика НП – численность и состав (профессиональный и социально-демографический) населения, структура жилого фонда, административное подчинение;

— сведения, отражающие радиологические параметры НП – поверхностная активность $^{137}Cs$ в почве, значения мощностей доз гамма-излучения в отдельных локациях (включая диапазон значений);

— данные о проведении измерений, в объеме, соответствующем «Листу выдачи/сбора дозиметров»;

— возраст, пол, профессии и адреса субъектов исследования;

— первичные результаты считывания дозиметров с обязательным указанием номера и типа прибора, даты последней метрологической поверки, даты последней калибровки (сортировки) дозиметров, параметров считывания (температурный профиль) и регистрации сигнала термолюминесценции, Ф.И.О. оператора, даты считывания;

— ссылки на методики, использовавшиеся при проведении измерений и оценок доз облучения населения;

— иную сопутствующую информацию (например, дату предыдущего обследования).

Результаты документирования хранятся в электронном формате. При этом также сохраняются первичные материалы в виде рабочих журналов, листов выдачи и сбора дозиметров и т.п.

### 4.2.2. Измерение мощностей доз гамма-излучения в различных локациях

Дозы облучения, средние для различных групп жителей населенного пункта, могут быть получены на основе измерения мощностей доз гамма-излучения в различных локациях данного населенного пункта и его ареала. Они также могут использоваться как приемлемая оценка индивидуальных доз жителей.

В этом случае, средние дозы внешнего облучения различных групп жителей оцениваются по результатам измерения значений мощности дозы гамма-излучения в различных локациях данного населенного пункта и его ареала с использованием данных о режимах поведения различных групп населения. При этом мощность дозы гамма излучения рекомендуется измерять в следующих локациях: улица, жилой дом, двор жилого дома, огород, производственное здание, рабочие дворы, пашня, целина, зона отдыха, лес.

Для оценки «чернобыльского» компонента дозы следует вычесть из полученных результатов вклад в мощность дозы гамма-излучения природных источников. Для оценки этого вклада необходимо дополнительно проводить измерения с использованием полевых гамма-спектрометров.

#### *4.2.2.1. Общие положения*

Измерение мощности дозы внешнего гамма-излучения при уровнях близких к фоновым (а именно такие измерения чаще всего встречаются в практике радиационного контроля) требует учета ряда параметров измерительного прибора, которые обычно не отражаются в технической документации на приборы и в методиках выполнения измерений и в настоящее время метрологически не обеспечены. Тем не менее, игнорирование их может приводить к заметному искажению результатов измерений.

Каждый гамма-дозиметр имеет собственный фон, т.е. ненулевые показания прибора при истинном значении измеряемой величины, равном нулю. Для каждого гамма-дозиметра характерна и собственная величина

«отклика» на космическое излучение, т.е. вклад космического излучения в его показания, выраженный в единицах мощности дозы гамма-излучения. Он, как правило, не равен реальной мощности дозы космического излучения и может существенно от нее отличаться. Суммарное значение собственного фона гамма дозиметра и его отклика на космическое излучение, в ряде случаев, может быть сравнимо или даже превышать значение измеряемой величины - мощности дозы гамма-излучения.

При проведении измерений фоновых значений мощности дозы гамма-излучения учет суммарной величины собственного фона и отклика на космическое излучение (далее по тексту – нулевого фона) используемого гамма-дозиметра является необходимым элементом методики радиационного контроля. Отсутствие в документации на гамма-дозиметры информации об их нулевом фоне приводит к необходимости проведения специальной калибровки, которую пользователь должен периодически проводить для всех используемых им дозиметрических приборов. В табл. 4.1 для иллюстрации приведен полученный по результатам практических измерений диапазон значений нулевого фона для некоторых типов гамма-дозиметров, используемых в России.

Таблица 4.1

Диапазон значений нулевого фона для некоторых типов гамма-дозиметров

| Марка дозиметра | Нулевой фон, нГр/ч |
|---|---|
| ДРГ- 01Т1 | 65-75 |
| ДБГ- 06Т | 65-75 |
| EL-1101, ДКС-1117А | 15-20 |
| ЭКО-1 | 50-60 |
| EL – 1119,<br>ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123 | 12-18 |

Из приведенных результатов видно, что обычная величина гамма-фона 100-120 нГр/ч, получаемая с помощью широко распространенного прибора ДРГ-01Т1, соответствует реальной мощности дозы гамма-излучения 30-50 нГр/ч, т.е. в 2-3 раза меньшей. Таким образом, неучет этого факта может существенно исказить оценки доз внешнего гамма-излучения, получаемые на основе результатов такого рода измерений.

Приведенные в табл. 4.1 данные могут использоваться для приближенных оценок, когда отсутствуют соответствующие данные для конкретных используемых гамма-дозиметров этих типов.

Таким образом, при проведении измерений мощности дозы гамма-излучения необходимо учитывать, что показания гамма-дозиметра складываются из трех основных компонентов:

1. мощность дозы гамма-излучения природных и техногенных радионуклидов $D_\gamma$;
2. отклик на космическое излучение $D_k$;
3. собственный фон прибора $D_\phi$.

Первый компонент – мощность дозы гамма-излучения $D_\gamma$ – является измеряемой величиной, и задачей обработки результатов измерений является получение ее из результатов измерений данным дозиметрическим прибором.

Второй компонент – отклик на космическое излучение $D_k$ – определяется вкладом в показания дозиметрического прибора космического излучения. Этот вклад, как правило, не равен истиной мощности дозы космического излучения и различен для разных типов дозиметров. Он может изменяться в зависимости от космических процессов, состояния атмосферы и места проведения измерений. Корректный учет этого компонента является важной задачей. Чем меньше чувствительность гамма-дозиметра к космическому излучению, тем меньшую погрешность в измеренную величину мощности дозы гамма-излучения вносит процедура вычитания вклада космического излучения в показания гамма-дозиметра. Чувствительность гамма-дозиметра к космическому излучению принято характеризовать величиной его отклика на космическое излучение в единицах измерения мощности дозы гамма-излучения. Для большинства серийных дозиметрических приборов, основанных на использовании газоразрядных счетчиков, эта величина составляет 18-35 нГр/ч. Идеальным прибором для измерения мощности дозы гамма-излучения был бы прибор, вообще нечувствительный к космическому излучению или позволяющий раздельно измерять вклады от космического и гамма-излучений.

Третий компонент – собственный фон дозиметра $D_\phi$ – характеризует показания дозиметра в условиях отсутствия внешних излучений, обусловленные наличием радиоактивных примесей в материалах его конструкции, особенностями используемых в нем физических принципов регистрации излучений, шумами в электронных схемах и т.д. Чем больше величина собственного фона дозиметра, тем большую погрешность вносит процедура его вычитания в результаты измерений. Поэтому, при прочих равных условиях, следует отдавать предпочтение гамма-дозиметрам, имеющим меньший собственный фон. Собственный фон гамма-дозиметра принято характеризовать средней величиной его показаний в отсутствии внешних излучений в единицах измерения мощности дозы гамма-

излучения. Для большинства серийных дозиметрических приборов, основанных на использовании газоразрядных счетчиков, эта величина составляет 35-45 нГр/ч.

Для получения мощности дозы гамма-излучения $D_\gamma$ необходимо из показаний дозиметра $D$ вычесть численное значение его нулевого фона $D_o$, равное сумме его собственного фона $D_\phi$ и отклика на космическое излучение $D_k$:

$$D_\gamma = D - D_o \qquad (4.2.2)$$
$$D_o = D_k + D_\phi$$

т.е. необходимо заранее определить численные значения этих характеристик для каждого дозиметрического прибора, используемого для проведения измерений. Эта процедура является важным и, в ряде случаев, совершенно необходимым элементом методики измерения мощности дозы гамма-излучения. Измерения нулевого фона гамма-дозиметра могут проводиться над поверхностью водоема, где вклад гамма-излучения природных и техногенных радионуклидов незначителен, и показания дозиметра практически полностью определяются суммой его собственного фона и отклика на космическое излучение. Эти условия выполняются при проведении измерений над поверхностью водоема глубиной более 3 м на расстоянии 50-150 м от берега. Наличие таких данных для каждого используемого для проведения измерений гамма-дозиметра позволит корректно интерпретировать результаты измерения мощности дозы гамма-излучения на открытой местности и, с несколько большей погрешностью, в зданиях и сооружениях, т.к. вклад космического излучения в показания дозиметра в домах несколько отличается от этой величины на открытой местности из-за экранирующего действия конструкций дома. Коэффициент экранирования, как правило, составляет 0,9-1,0 и не приводит к существенному увеличению погрешности измерений. Проведение данной процедуры описано в п. 4.2.2.7.

### *4.2.2.2. Особенности некоторых типов дозиметрических приборов, используемых для измерения мощности дозы гамма-излучения*

Переносные гамма-дозиметры, используемые в настоящее время для измерения мощности дозы гамма-излучения, можно разделить на два типа:

— гамма-дозиметры, позволяющие производить необходимое число отсчетов, по результатам которых пользователь должен

самостоятельно вычислять среднее значение измеряемой величины и его статистическую погрешность (тип 1);

— гамма-дозиметры, которые в процессе измерения автоматически вычисляют среднее значение измеряемой величины и его статистическую погрешность (тип 2).

К гамма-дозиметрам 1-ого типа относится большинство приборов с датчиком на основе счетчиков Гейгера-Мюллера. Для них характерна достаточно большая величина нулевого фона (45-75 нГр/ч). Наиболее распространенными приборами этого типа являются гамма-дозиметры ДРГ-01Т1, ДБГ-06Т и т.д.

В качестве типичного представителя гамма-дозиметров 1-ого типа можно рассмотреть цифровой широкодиапазонный переносной дозиметр ДРГ-01Т1, предназначенный для измерения мощности экспозиционной дозы фотонного излучения с энергией от 0,05 МэВ до 3,0 МэВ с пределом допускаемой основной относительной погрешности (для 95% доверительного интервала), определяемым по формуле:

$$R = \pm(15 + \frac{0.5 \cdot x}{y})\% \qquad (4.2.3)$$

где: x - единица размерности соответствующего поддиапазона (1 мР/ч или 1Р/ч);

y - измеренное значение мощности экспозиционной дозы в единицах соответствующего поддиапазона измерения (мР/ч или Р/ч).

Как видно из приведенной формулы, при показаниях дозиметра 0,01 мР/ч (10 мкР/ч) предел основной относительной погрешности измерений составляет 65 %.

Изменение чувствительности дозиметра в зависимости от энергии регистрируемого гамма-излучения не превышает ± 25 % по отношению к его чувствительности к гамма-излучению изотопа $^{137}Cs$ (662 кэВ).

К гамма-дозиметрам 2-ого типа относится большинство современных дозиметров со сцинтилляционными датчиками (ДКС-1117А, ДКС-АТ1121 и т.п.), хотя встречаются дозиметры этого типа и с датчиками на основе счетчиков Гейгера-Мюллера (например, ДКС-4). Дозиметры этого типа значительно проще и удобнее в работе. Гамма-дозиметры со сцинтилляционными датчиками, которые в большинстве своем относятся ко 2-му типу, имеют, кроме того, примерно в 4 раза меньшую величину нулевого фона, хотя они обычно несколько дороже.

В качестве типичного представителя гамма-дозиметров второго типа можно рассмотреть цифровой гамма-дозиметр EL-1101, позволяющий измерять мощность дозы гамма-излучения в энергетическом диапазоне от

0,04 до 3,0 МэВ. Дозиметр автоматически вычисляет среднее значение измеряемой величины и его относительную статистическую погрешность, которая уменьшается с увеличением времени измерений. Это позволяет проводить измерение до тех пор, пока не достигнута желаемая величина относительной погрешности.

### *4.2.2.3. Порядок проведения измерений*

Важную роль в обеспечении качества измерений мощности дозы гамма-излучения играет соблюдение геометрии измерений. При проведении измерений на открытой местности разница в показаниях гамма-дозиметра при размещении его датчика на поверхности земли и на высоте 1 м над землей достигает 1,5 раз, при наличии же неоднородного радиоактивного загрязнения местности или поверхностного загрязнения бета-излучающими радионуклидами эта разница может быть значительно большей. Поэтому при проведении измерений датчик гамма-дозиметра должен устанавливаться на высоте 1 м над поверхностью земли, что наиболее соответствует условиям облучения людей. Желательно иметь специальные штатные средства обеспечения точной установки датчика на этой высоте (подставка, штатив и т.п.).

Кроме того, важную роль играет размещение датчика гамма-дозиметра относительно дозиметриста. При размещении его вблизи тела человека наблюдается занижение показаний дозиметра за счет экранирования датчика телом, которое может составлять 20 и более процентов. Поэтому при проведении измерений дозиметрист должен располагаться не ближе 1 м от датчика дозиметра, а посторонние люди - не ближе 5 м. При отсутствии специальных средств фиксации датчика дозиметра допускается держать его в вытянутой в боковую сторону руке для максимального уменьшения эффекта экранирования датчика телом дозиметриста.

Для проведения измерений мощности дозы гамма-излучения на открытом воздухе следует, по возможности, выбирать ровные участки местности размером не менее 60х60 м так, чтобы расстояние до ближайшего здания от точки измерения было не менее 30 м. При выполнении измерений в помещении датчик прибора следует, по возможности, размещать вблизи центра помещения. Расстояние точки измерения до окон, печки, дверных проемов должно быть, по возможности, не менее 2-3 м.

Статистическая погрешность результатов измерений не должна быть более 10-20 % при доверительной вероятности 0,95. С учетом этого выбирают время измерений для гамма-дозиметров 2-го типа или необходимое число повторных отсчетов для гамма-дозиметров 1-ого типа.

При проведении измерений мощности дозы гамма-излучения на уровне естественного гамма-фона гамма-дозиметрами 1-ого типа требуется производить достаточно много (3-10) отсчетов в каждой точке измерения. Кроме того, в этой области измеряемых величин основная погрешность большинства таких дозиметров составляет 40-65 %.

Дозиметры 2-ого типа обычно имеют основную погрешность измерений около 15%. Статистическая погрешность результата измерения для них реально может быть доведена до 5-10 %. С учетом значительно меньшей (в 3-4 раза) величины нулевого фона, большей чувствительности и меньшей энергетической зависимости показаний следует признать, что дозиметры 2-ого типа значительно больше подходят для измерения мощности дозы гамма-излучения на загрязненных территориях.

### *4.2.2.4. Обработка результатов измерений*

При проведении измерений гамма-дозиметром 1-ого типа, по полученным результатам n измерений вычисляют среднее значение измеряемой величины в i-ой точке ($P_i$) и ошибку среднего ($S_i$), используя следующие известные соотношения:

$$P_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} P_{ij}$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{j=1}^{n}(P_i - P_{ij})^2} \qquad (4.2.4)$$

При этом величина $P_i$ является суммой мощности экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения $P_\gamma$ и нулевого фона дозиметра ($P_o$), т.е. искомая величина получается, как:

$$P_\gamma = P_i - P_o \qquad (4.2.5)$$

При числе отсчетов не менее 5, относительная погрешность результата измерений $\delta_\gamma$ в этом случае может быть оценена с использованием соотношения:

$$\delta_\gamma = \delta + 2\frac{\sqrt{S_i^2 + S_o^2}}{P_i - P_o} \qquad (4.2.6)$$

где: $\delta$ – предел основной относительной погрешности дозиметра;

$S_o$ – среднеквадратичное отклонение результатов измерения нулевого фона дозиметра.

Величины $P_0$ и $S_0$ для используемого в измерениях гамма-дозиметра предварительно определяются в соответствии с п. 4.2.2.5 настоящего документа.

Для перехода от экспозиционной дозы в воздухе $P$, к поглощенной дозе в воздухе Ка (воздушной керме) следует использовать следующее соотношение:

$$K_a, нГр = 8,7 \cdot P, мкР. \qquad (4.2.7)$$

*4.2.2.5. Определение нулевого фона гамма-дозиметра*

Для получения величины нулевого фона гамма-дозиметра проводят измерения над поверхностью водоема при толщине слоя воды не менее 3 м на расстоянии не менее 50-150 м от берега. В этих условиях вклад гамма-излучения природных радионуклидов незначителен и показания гамма-дозиметра практически полностью определяются его нулевым фоном. Измерения должны проводиться в том же районе, где предполагается использовать прибор. Географическая широта и высота над уровнем моря места проведения измерений и места, где проводились измерения величины нулевого фона гамма-дозиметра, не должны отличаться более, чем на 20 градусов и 500 м, соответственно.

Измерения проводятся на высоте 0,3-1 м над поверхностью воды. Датчик прибора должен быть размещен на расстоянии не менее 1 м от дозиметриста. Измерения гамма-дозиметром 2-ого типа проводятся до достижения статистической погрешности результата измерения не более 10%. Полученный результат используется в качестве численного значения нулевого фона данного прибора.

Каждым прибором 1-ого типа делается не менее 100 отсчетов. Искомые величины $P_0$ и $S_0$ получаются с использованием соотношений, подобных (4.2.3).

Величина нулевого фона является индивидуальной характеристикой каждого дозиметрического прибора и используется при проведении с его помощью измерений.

*4.2.2.6. Особенности проведения измерений в различных локациях*

Статистическая погрешность результатов измерений не должна превышать 10-20%. При проведении измерений в населенных пунктах точки измерений в локациях, прилегающих к жилым домам (улица, дом, двор, огород), должны группироваться в районе исследуемых домов. Исследуемые дома должны, по возможности, равномерно распределяться по территории населенного пункта.

Измерение мощностей доз гамма-излучения на открытой местности должно проводиться не ранее, чем через 3 часа после дождя (рекомендуется проводить измерения не менее, чем через сутки после дождя). Это необходимо, чтобы избежать искажения результатов измерений вследствие временного повышения мощности дозы гамма-излучения за счет продуктов распада радона, вымытых дождем из атмосферы на поверхность грунта.

При выборе точек измерений в различных локациях следует руководствоваться следующими соображениями:

Точки измерений на *улицах* должны выбираться в зонах преимущественного нахождения людей (тротуары, площадки у магазинов, детские площадки), включать все типы покрытий, имеющихся в данном НП (целина, грунтовое покрытие, асфальт), и более или менее равномерно распределяться по его территории. Распределение точек измерений по типам покрытий должно примерно соответствовать долям последних в общей площади (протяженности) улиц.

Точки измерений в *домах* должны охватывать все имеющиеся в данном НП типы домов (1-этажные деревянные, 1-этажные каменные, многоэтажные). Для одноэтажных домов усадебного типа измерения рекомендуется проводить в двух комнатах: примыкающей к уличной стене, и примыкающей к огороду. При наличии каменных домов различного вида (из красного кирпича, из силикатного кирпича и блоков, из шлакоблоков, из бетонных панелей и т.д.) необходимо провести измерения в домах каждого вида (не менее 3 домов каждого вида). Дома, в которых проводятся измерения, должны быть, по возможности, равномерно распределены по территории НП.

Измерения, как правило, проводятся во *дворах* всех обследуемых домов. Точки измерения во дворах должны выбираться примерно в середине двора в зоне доступной для пребывания людей. Не следует выбирать их на клумбах, в палисадниках и т.д. Рекомендуется проводить измерения во дворах именно тех домов, внутри которых проводились измерения. Мощность дозы, как правило, измеряется в одной точке двора.

Измерения в *огородах* проводятся, как правило, для всех обследуемых домов. Мощность дозы измеряется в одной точке в центре огорода.

При проведении измерений в *производственных зданиях* данного НП точки измерения выбираются в 1-3 помещениях на каждом этаже.

Измерения в *школах и детских садах* должны, как правило, охватывать все имеющиеся в данном населенном пункте здания такого типа. Точки измерения выбираются в 1-3 комнатах на каждом этаже.

Дополнительно проводятся измерения на детских и спортивных площадках, находящихся на территории школ и детских садов.

Точки измерения на ***пашне*** должны выбираться на пахотных землях с разных сторон от населенного пункта на расстоянии не более 3 км. При этом точки измерений должны выбираться на ровных местах на расстоянии не менее 50 м от непаханых участков, дорог, оврагов, холмов и т.д., а количество их должно быть не менее 3 на населенный пункт.

Точки измерения на ***целинных участках местности*** должны выбираться с разных сторон от населенного пункта в его ареале на непаханых после аварии на ЧАЭС землях. Число их должно быть не менее 5 на населенный пункт и они должны охватывать основные места пребывания его жителей, относящиеся к этой локации (целинные пастбища, покосы). Точки измерения выбираются на ровном месте не ближе 50 м от паханых участков, дорог, оврагов, холмов и т.д. При выборе целинного участка следует убедиться, что он действительно не подвергался обработке после аварии на ЧАЭС. Для этого можно опросить местных жителей или оценить глубину залегания $^{137}Cs$ в почве путем отбора проб или инструментальными методами.

Точки измерения в *лесу* должны выбираться на ровных местах не ближе 50 м от паханых или подвергавшихся иному воздействию участков, дорог, оврагов, холмов и т.д. Общее число таких точек, как правило, должно составлять 3-5 на населенный пункт.

Точки измерения в ***зоне отдыха*** выбираются в наиболее посещаемых местах отдыха жителей данного НП (берег реки или озера, парк, луг и т.д.). Общее число таких точек, как правило, должно составлять 3-5 на населенный пункт.

По окончании измерений для каждой i-той локации данного НП вычисляются среднее значение мощности дозы и погрешность определения среднего с использованием соотношений, подобных (4.2.4).

### *4.2.2.7. Оценка вклада в измеренную величину мощности дозы гамма-излучения природных радионуклидов*

Для оценки вклада гамма-излучения природных радионуклидов в измеренное, как описано выше, значение мощности дозы гамма-излучения, в том же месте проводят дополнительные измерения с использованием полевого гамма-спектрометра. Наиболее удобен для этой цели полупроводниковый гамма-спектрометр. Измерения проводят выборочно для 3-5 точек в каждой локации. Определяют плотность потока нерассеянного гамма-излучения для характерных гамма-линий рядов $^{238}U$ (1765 кэВ) и $^{232}Th$ (2615 кэВ), а также $^{40}K$ (1461 кэВ). Для используемого

гамма-спектрометра должны быть предварительно определены значения эффективности регистрации для этих гамма-линий с использованием соответствующих образцовых источников гамма-излучения. При проведении измерений датчик спектрометра располагается на высоте 1 м над поверхностью земли. Значения мощности поглощенной дозы гамма-излучения природных радионуклидов в воздухе на высоте 1 м над поверхностью земли, соответствующие единичной плотности (1 $см^{-2} \cdot с^{-1}$) нерассеянного потока гамма-квантов выбранных энергий в этой точке ($G_r$), приведены в табл. 4.2. Они получены в предположении наличия радиоактивного равновесия всех материнских и дочерних радионуклидов в рядах урана и тория и равномерного распределения природных радионуклидов в грунте.

Таблица 4.2

Значения параметров $G_r$ для оценки мощности дозы гамма-излучения природных радионуклидов на высоте 1 м над поверхностью земли

| Параметры | $^{40}K$ | Ряд $^{238}U$ | Ряд $^{232}Th$ |
|---|---|---|---|
| Энергия регистрируемой гамма-линии, кэВ | 1 461 | 1 765 | 2 615 |
| Мощность поглощенной дозы в воздухе гамма-излучения природных радионуклидов, соответствующая единичной плотности потока нерассеянного гамма-излучения выбранной гамма-линии $G_r$, $мкГр \cdot ч^{-1} \cdot см^2 \cdot с$ | 0,044 | 0,34 | 0,13 |

Таким образом, мощность поглощенной дозы гамма-излучения природных радионуклидов в воздухе ($D_n$) на высоте 1 м над поверхностью земли определяется из следующего соотношения:

$$D_n = \Phi(1{,}46\ МэВ) \cdot G_K + \Phi(1{,}76\ МэВ) \cdot G_U + \Phi(2{,}61\ МэВ) \cdot G_{Th},\ мкГр/ч, \quad (4.2.8)$$

где: $\Phi(E)$ – измеренное значение плотности потока гамма-квантов с энергией $E$ на высоте 1 м над поверхностью земли, $см^{-2} \cdot с^{-1}$;

$G_{K,U,Th}$ – коэффициенты, приведенные в табл. 4.2, для $^{40}K$ и рядов $^{238}U$ и $^{232}Th$, $мкГр \cdot ч^{-1} \cdot см^2 \cdot с$.

Для получения мощности дозы природного компонента гамма-излучения в домах используют ту же процедуру. При этом для деревянных домов используют значения коэффициентов $G_r$, приведенные в табл. 4.2, а для каменных домов умножают значения этих коэффициентов на 1,15 – для учета увеличения доли рассеянного излучения за счет отражения от

потолка и стен помещения. При таком подходе, дополнительная погрешность оценки не превысит 15 %.

Средние для локаций значения мощности дозы гамма-излучения природных радионуклидов необходимо вычесть из значений мощности дозы для соответствующих локаций, полученных с использованием выражения (4.2.3), для определения чернобыльского компонента этих величин.

Полученные значения мощности дозы гамма-излучения природных радионуклидов в различных локациях являются стабильной характеристикой НП и могут быть измерены один раз с последующим использованием этих результатов в течение длительного времени. Необходимость их корректировки может быть вызвана лишь значительным объемом нового жилищного строительства, благоустройства территории НП, асфальтирования дорог.

#### *4.2.2.8. Оценка эффективной дозы внешнего облучения*

Для оценки доз внешнего облучения различных групп жителей в НП можно использовать результаты измерений мощностей доз «чернобыльского» компонента поля гамма-излучения в НП и его ареале. В этом случае для оценки эффективной дозы дополнительно необходимы данные о структуре жилищного фонда, структуре населения и его режимах поведения.

Среднее значение чернобыльского компонента годовой эффективной дозы, $E_{i,ext}$ у выбранной группы населения (i) рассчитывается согласно соотношению:

$$E_i^{ext} = 8{,}76 \cdot 10^{-3} \cdot K^S \cdot K_i^E \cdot \sum_j p_{ij} \cdot (D_{j,tot} - D_{j,0}),\ \text{мЗв} \qquad (4.2.9)$$

где: $D_{j,tot}$ (нГр/час) - значения мощности дозы гамма-излучения, измеренной в отсутствии снежного покрова на высоте 1 м над подстилающей поверхностью в j-х локациях НП и его ареала;

$D_{j,0}$ (нГр/час) - аналогичные значения мощностей доз излучения природного фона;

$p_{ij}$ - факторы поведения, представляющие собой долю времени, в течение которого представители i-той группы населения находятся в j-той локации НП (их сумма должна быть равна единице);

$K_i^E$ (нЗв/нГр) - коэффициенты перехода от значения поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м к величине эффективной дозы для представителей i-той группы населения (0,75 для взрослых, 0,8 для школьников и 0,9 для дошкольников);

$K^S$ - коэффициент влияния снежного покрова на величину эффективной дозы, отн.ед. (принимается равным 0,9).

Соотношение (4.2.9) можно переписать в виде:

$$E_i^{ext} = C \cdot \sum_j p_{ij} \cdot (D_{i,jot} - D_{j,0}), \text{ мЗв}, \qquad (4.2.10)$$

где коэффициент $C$ численно равен:

$5{,}9 \cdot 10^{-3}$ мЗв·час/нГр для взрослых,

$6{,}3 \cdot 10^{-3}$ мЗв·час/нГр для школьников,

$7{,}1 \cdot 10^{-3}$ мЗв·час/нГр для дошкольников.

В табл. 4.3 приведены численные значения факторов поведения для четырех групп взрослых жителей (группа 1, группа 2, пенсионеры и лесники) и двух групп детей (школьники и дошкольники). К группе 1 относятся жители, преимущественно работающие на открытом воздухе, а к группе 2 - преимущественно работающие в помещениях. К группе пенсионеров относят только неработающих пенсионеров. Работающих пенсионеров, в зависимости от условий работы, относят к группе 1 или 2. Дополнительно выделены лесники, являющиеся критической группой населения в отношении внешнего облучения.

Для расчета средней эффективной дозы внешнего облучения всех жителей НП необходимо дозы облучения отдельных групп населения усреднить с учетом их численности:

$$E^{ext} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i N_i \cdot E_i^{ext}, \text{ мЗв}, \qquad (4.2.11)$$

где: Ni – численность i-той группы населения, а N – полная численность населения в НП.

Таблица 4.3

Среднегодовые значения факторов места и факторов поведения различных групп сельского населения средней полосы России в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС

| Локация в НП или в его ареале | Факторы места | Факторы поведения | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Группа 1 | Группа 2 | Пенсионеры | Школьники | Дошкольники | Лесники |
| **Жилая зона** | | | | | | | |
| Внутри домов | 0,13/0,07/0,02 *) | 0,47 | 0,49 | 0,68 | 0,58 | 0,52 | 0,54 |
| Приусадебный участок | 0,55 | 0,16 | 0,21 | 0,30 | 0,23 | 0,14 | 0,20 |
| **Производственная зона** | | | | | | | |
| Рабочие помещения | 0,02-0,07 | 0,08 | 0,23 | 0,00 | 0,16 | 0,25 | 0,09 |
| Рабочие дворы | 0,30 | 0,08 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,00 |
| Пашня | 0,50 | 0,17 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Целина | 1,0 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Лес | 1,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,16 |
| **Зона отдыха** | | | | | | | |
| Лес, луг | | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,01 |

*) - первая цифра соответствует 1-эт. деревянным домам, вторая – 1-эт. кирпичным домам, третья – многоэтажным каменным домам.

### 4.3. Оценка социально-демографических факторов

Дополнительными данными, необходимыми для оценки доз внешнего облучения населения обследуемого НП, являются:

— структура жилищного фонда (характеризуется количеством жилых домов каждого типа и количеством жителей, проживающих в домах данного типа);

— структура населения (характеризуется общей численностью и численностью отдельных групп населения);

— режимы поведения населения (значения факторов поведения).

#### *4.3.1. Структура жилого фонда*

Структура жилищного фонда включает сведения о количестве жилых домов разного типа (одноэтажные деревянные, одноэтажные каменные и многоэтажные дома) и количестве жителей, проживающих в домах каждого типа. На основе этих данных рассчитывают доли жителей, проживающих в домах каждого типа.

#### *4.3.2. Структура населения*

Структура населения включает сведения об общей численности и численности отдельных групп населения. В рамках данного документа рассматривают 6 групп населения: 4 группы взрослого населения (группа 1, группа 2, пенсионеры и лесники), школьники и дошкольники. Данные по структуре населения представляются в виде таблицы, пример оформления которой, приведен в Приложении 4.1.

#### *4.3.3. Режимы поведения различных групп населения*

Режимы поведения различных групп населения необходимы для оценки среднегодового значения дозы внешнего облучения. Они представляют собой долю времени (в среднем за год), проводимую представителями различных групп населения в тех местах внутри и вне НП, где были выполнены измерения мощностей доз гамма-излучения. Поскольку режимы поведения являются не физическими, а социальными параметрами модели, оценка их проводится на основе данных опроса жителей обследуемого НП. Рекомендуемая форма опросной анкеты приведена в Приложении 4.2.

Приложение 4.1

**Пример оформления данных о структуре населения НП**

| **Наименование НП:** Макаричи Красногорского района Брянской | | |
|---|---|---|
| **Тип НП:** | **Площадь:** 0.6 | **Дата представления данных:** |

| **Группа жителей** | **Число жителей данной группы, чел.** |
|---|---|
| Группа 1 | 325 |
| В том числе: | |
| - конторские служащие | 123 |
| - продавцы | 87 |
| - учителя | 46 |
| - врачи | 69 |
| Группа 2 | 244 |
| В том числе: | |
| - ремонтники | 43 |
| - полеводы | 142 |
| - механизаторы | 32 |
| - лесники | - |
| - пастухи | 8 |
| - шофера | 19 |
| Пенсионеры | 102 |
| Школьники | 84 |
| Дошкольники | 61 |
| В том числе: | |
| посещающие детские учреждения | 42 |
| не посещающие детские учреждения | 19 |
| ВСЕГО | 816 |

Приложение 4.2

## ОПРОСНАЯ КАРТА (ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ)

Общая характеристика НП в целом (вопросы для представителей администрации НП):

- преимущественное направление хозяйственной деятельности в НП _____;
- количество населения в НП _____;
- количество населения по группам: взрослые, работающие преимущественно вне помещения ___, взрослые, работающие преимущественно в помещении ____, взрослые, не работающие ___, школьники ___, дошкольники ____;
- количество населения проживающего: в деревянных 1-эт. домах ___, в каменных 1-эт. домах ____, в многоэтажных домах _____;
- характеристика производственных помещений в НП: материал стен - дерев./ камен., число этажей ____, тип покрытия рабочего места вне помещения асфальт / грунт;
- характеристика здания школы: материал стен - дерев./ кам., число этажей ____;
- характеристика здания детского сада: материал стен - дерев./ кам., число этажей __

**Статус опрашиваемого:** взрослый / школьник / дошкольник

Вопросы для взрослых членов семьи:

**Профессия** _____

**Характер работы:**

преимущественно в помещении / преимущественно вне помещения

**Характеристика места работы:**

- материал стен - дерево./ камень.
- число этажей ____
- тип покрытия рабочего места вне помещения асфальт / грунт

Вопросы для детей:

Посещает ли ребенок школу - да / нет

Посещает ли ребенок детский сад - да / нет

Средняя продолжительность пребывания (часов в сутки):

**условно летом (без снежного покрова), рабочие дни**

- внутри НП в жилом помещении ____;
- внутри НП (на работе, в школе, в детсаде) в производственном помещении ____;
- внутри НП вне помещения ___;
- вне НП: пахота ___, целина ___, дорога ___;

**условно летом (без снежного покрова), выходные дни**

- внутри НП в жилом помещении ____;
- внутри НП вне помещения ___;
- вне НП: пахота ___, целина ___, дорога ___;

**условно зимой (со снежным покровом), рабочие дни**

- внутри НП в жилом помещении ____;
- внутри НП (на работе, в школе, в детсаде) в производственном помещении ____;
- внутри НП вне помещения ___;
- вне НП: пахота ___, целина ___, дорога ___;

**условно зимой (со снежным покровом), выходные дни**

- внутри НП в жилом помещении ____;
- внутри НП вне помещения ___;
- вне НП: пахота ___, целина ___, дорога ___.

Примечания: При ответах на вопросы ненужное вычеркивать.

***Количество часов в сутках равно 24 !!!***

# 5. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

## 5.1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

| Величина | Символ | Размерность в единицах СИ |
|---|---|---|
| Средняя годовая эффективная доза (СГЭД) внутреннего облучения жителей НП | $E^{in}_{HП}$ | мЗв•год$^{-1}$ |
| СГЭД внутреннего облучения критических (по внутреннему облучению) групп жителей НП | $E^{in}_{KГ}$ | мЗв•год$^{-1}$ |
| СГЭД суммарного (внутреннего и внешнего) облучения критических групп жителей НП | $E_{KГ}$ | мЗв•год$^{-1}$ |
| Удельная активность радионуклида в пищевом продукте | A | Бк•кг$^{-1}$ |
| Содержание радионуклида в организме человека | Q | кБк |
| Поверхностная активность радионуклида в почве | σ | кБк•м$^{-2}$ |
| Коэффициент перехода радионуклида из почвы в пищевой продукт | КП | м$^2$•кг$^{-1}$ |
| Счетчик излучения человека | СИЧ | |
| Излучающий фантом тела человека | Модель тела человека, содержащая известное количество (активность) радионуклида | |
| МДА | Минимальная детектируемая активность | |
| Геометрия измерения | Расположение тела человека по отношению к детектору СИЧ при измерении | |

## 5.2. ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ $^{137}Cs$ В ОРГАНИЗМЕ ЖИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЧЕТЧИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Измерения содержания $^{137}Cs$ у жителей с использованием счетчиков излучения человека (СИЧ) проводят с целью определения доз внутреннего облучения населения и его критических групп, а также для уточнения дозовых оценок во время проведения углубленных выборочных обследований населенных пунктов.

Система радиационного мониторинга, основанная на применении счетчиков излучения человека, реализующих метод прямых измерений, дает возможность определять дозы внутреннего облучения населения с наименьшей погрешностью по сравнению с косвенным и расчетным методами.

Функционирование системы СИЧ-мониторинга наиболее эффективно при наличии единого методического, метрологического и информационного обеспечения, а также при анализе данных, содержащихся в общем для всей системы дозиметрическом регистре. Последний обеспечивается всем необходимым для осуществления математической обработки, обобщения результатов измерений и выработки соответствующих решений по взаимодействию звеньев системы.

### 5.2.1. Определение содержания $^{137}Cs$ в теле человека

Измерение содержания $^{137}Cs$ в теле человека проводят с использованием стационарных, мобильных или переносных счетчиков излучений человека. Результаты СИЧ-мониторинга позволяют наиболее корректно оценить фактические дозы внутреннего облучения населения, формируемые под воздействием всех факторов, оказывающих влияние на величину дозы, включая контрмеры.

Мониторинг содержания $^{137}Cs$ в теле человека является обязательным для регионов, где имеются НП 2-ой группы. Его следует проводить выборочно – в населенных пунктах, схожих с соседними НП по природным и социальным факторам: структуре населения, характеру сельскохозяйственного производства и составу рациона питания, включая лесные продукты. Измерения проводят путем обследования репрезентативных выборок жителей НП. Минимальное необходимое количество СИЧ-измерений в каждом из обследуемых НП приведено в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Минимальное необходимое количество СИЧ-измерений жителей в одном НП за период усреднения

| НП типа 1 | НП типа 2 | НП типа 3 |
|---|---|---|
| 30 *) | 300 | 1000 |

*) – для НП с количеством жителей менее 100 человек количество СИЧ-измерений за период усреднения должно быть не меньше 30 % от общего числа жителей в НП.

### 5.2.2. Характеристики счетчиков излучения человека

Существующие счетчики излучения человека условно можно разделить на три основных класса – экспертные, оперативные и индикаторные [5].

Класс экспертных (образцовых) СИЧ – это стационарные компьютеризированные комплексы, как правило, многодетекторные и многоцелевые, обладающие высокой чувствительностью и энергоселективностью, наличием сканирующих устройств, с максимальным экранированием детекторов и человека от внешнего гамма-излучения в виде защитной металлической камеры (комнаты) массой до 20-50 тонн, позволяющей снизить внешнее гамма – излучение в 50-150 раз. Геометрия измерения – "лежа" и "стандартное кресло" (рис. 5.1-5.2). Подобные комплексы располагаются обычно в крупных научных радиологических центрах. Сфера их обслуживания – регион, охватывающий несколько областей или страну. В отсутствие аварийной ситуации СИЧ этого класса являются исследовательскими и образцовыми установками, средствами радиационного контроля профессиональных контингентов, а во время аварии и в послеаварийный период выступают в роли экспертных систем. Минимальная детектируемая активность (МДА) у таких СИЧ составляет 10-15 Бк на все тело по $^{137}Cs$ при времени измерения 10-15 минут.

Стоимость изготовления такого СИЧ очень высока, использование их для проведения массовых измерений нецелесообразно из-за малой пропускной способности и отсутствии мобильности.

Класс оперативных СИЧ является базовым в системе мониторинга в регионах, где существует необходимость проведения массового радиационного контроля населения. Оперативные СИЧ подразделяется на подклассы – стационарные и мобильные. Такие СИЧ обычно компьютеризированы. Основное их назначение – получение текущей оперативной информации о содержании $^{137}Cs$ в организме жителей. СИЧ

этого класса имеют местную и (или) теневую защиту детектора и измерительного кресла от внешнего гамма-излучения. В зависимости от используемого материала защиты, его толщины, размеров и конфигурации экранов, обычно достигается 10-50 кратное ослабление фонового сигнала. Оптимальными являются размеры местной или теневой защиты, в которой прямая и рассеянная компоненты внешнего гамма-излучения соизмеримы. Геометрия измерения – "измерительное кресло", реже – "стандартное кресло" (рис. 5.2-5.3). МДА оперативных СИЧ составляет 150-750 Бк на все тело по $^{137}Cs$ при времени измерения 3-5 минут. Преимущество по сравнению с экспертными СИЧ – умеренная стоимость, меньшая масса (до 1-2 т), возможность транспортировки.

Недостаток – изменяющийся коэффициент экранирования детектора телом человека в зависимости от условий проведения места измерения.

В класс индикаторных СИЧ входят переносные средства измерений (гамма-спектрометры и гамма-радиометры различных типов), как правило, без защитных экранов. При низкой стоимости этих приборов, тем не менее, обеспечивается приемлемый уровень качества измерений при высокой пропускной способности в экспедиционных условиях, позволяющий получить достаточно объективные оценки индивидуальных доз внутреннего облучения. Геометрия измерения – "сидя согнувшись" ("Север") (рис. 5.4) и "сидя". МДА составляет 1500-3000 Бк на все тело по $^{137}Cs$ при времени измерения 1-3 минуты.

Недостатками таких СИЧ является отсутствие защиты детектора от внешнего гамма-излучения, и, как следствие, высокий уровень фонового сигнала и значительно варьирующий коэффициент экранирования в зависимости от плотности загрязнения местности гамма-излучающими радионуклидами, массы и пропорций измеряемого человека.

В качестве примера, в приложении 5.1 описан экспрессный метод проведения измерений содержания $^{137}Cs$ в организме человека с помощью индикаторных СИЧ.

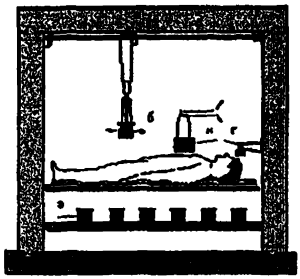


Рис. 5.1. СИЧ экспертного класса, геометрия измерения "лежа"

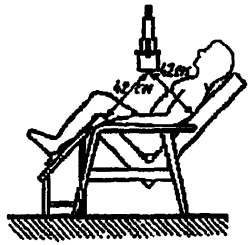


Рис. 5.2. Геометрия измерения "стандартное кресло"

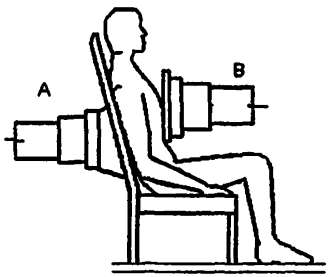



Рис. 5.3. СИЧ оперативного класса, геометрия "измерительное кресло"

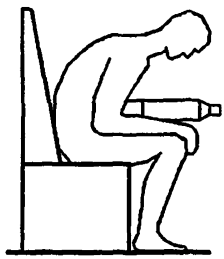


Рис. 5.4. СИЧ индикаторного класса, геометрия "сидя согнувшись" ("Север")

### 5.2.3. Условия проведения измерений

Место проведения измерений с использованием СИЧ оперативного и индикаторного класса необходимо выбирать с минимальным уровнем фонового гамма-излучения.

В процессе работы необходимо строго следить за соблюдением геометрии измерения. Место проведения измерений, пространственная ориентация пациентов по отношения к окнам, дверям, окружающим предметам (особенно для переносных СИЧ) должны быть неизменными на протяжении всей работы (при определении коэффициента экранирования,

калибровке и проведении измерений). Во время измерений в радиусе 2-3 м от детектора не должны находиться посторонние люди. Измерения пациентов проводятся без верхней одежды. Нарушение этих требований может привести к дополнительным неконтролируемым погрешностям измерений.

### 5.2.4. Выполнение измерений на счетчиках излучения человека

#### *5.2.4.1. Геометрия измерений*

Под геометрией измерения понимается положение тела обследуемого человека по отношению к детектору СИЧ, которое было определено в процессе калибровки счетчика с помощью фантома и которое должно постоянно обеспечиваться в процессе дальнейших измерений.

Можно выделить три основные, наиболее распространенные геометрии измерений, условно называемые "стандартное кресло", "измерительное кресло" и "Север".

В геометрии "стандартное кресло" угол между сидением и спинкой кресла составляет 90°, а расстояние от спинки и основания кресла до торца детектора, расположенного со стороны груди, составляет 42-43 см. СИЧ такой геометрии обладают приемлемой изочувствительностью, но относительно низкой эффективностью регистрации (из-за удаленности тела от детектора) и отсутствием возможности определения удельной активности радионуклидов в отдельном органе (рис. 5.2).

В наиболее распространенной геометрии "измерительное кресло" детектор (коллиматор) расположен вплотную к телу обследуемого человека со стороны спины (рис. 5.3, А), реже груди (рис. 5.3, В). Угол между сидением и спинкой кресла составляет 100-110°. В этом случае повышается эффективность регистрации, комфортность при проведении измерения достигается оптимальна пропускная способность. Однако при этом СИЧ обладает плохой изочувствительностью, по сути, определяется содержание радионуклида в участке тела около детектора.

В геометрии "сидя согнувшись (Север)" обследуемый сидит на стуле и располагает детектор на коленях, плотно прижав его торец к животу и обхватывает руками колени, максимально согнувшись в поясе. Измерения в геометрии "Север" обеспечивают наиболее высокую относительную эффективность, так как телесный угол обзора детектора приближается к $4\pi$ , что обусловило ее широкое применение в индикаторных СИЧ.

Недостаток такой геометрии – высокий уровень фонового сигнала из-за невозможности экранирования детектора, низкая

изочувствительность, а также постоянно изменяющийся коэффициент экранирования детектора телом человека и эффективность регистрации – из-за трудности воспроизведения положений обследуемых (рис. 5.4).

Как синтез геометрий "Север" и "измерительное кресло" используется геометрия «сидя» – детектор лежит на коленях вплотную к животу. Здесь, в отличие от геометрии «Север», стабильнее воспроизводится геометрия измерения и тем самым снижается погрешность, связанная с нестабильностью величины коэффициента экранирования и эффективностью регистрации.

Вышеперечисленные геометрии измерений на СИЧ оптимальны при равномерном распределении радионуклидов в организме (например, для $^{137,134}$Cs). Для случаев локализации радионуклидов в отдельном органе (например, для изотопов йода в щитовидной железе) они обычно не используются, либо используются после специальной настройки и калибровки СИЧ с применением фантомов отдельных органов человека.

Довольно редко используется геометрия "лежа", когда детектор (или детекторы) находятся над или под лежащим пациентом. Такое положение позволяет проводить перемещение коллимированных детекторов (сканирование) в плоскости тела и оценивать содержание различных радионуклидов в отдельных органах (рис. 5.1). Данная геометрия используется обычно в СИЧ экспертного класса с защитной низкофоновой камерой, позволяющей повысить эффективность и улучшить изочувствительность и отказаться от введения поправок на экранирование детекторов.

### *5.2.4.2. Определение основных параметров спектрометрических СИЧ*

*Определение энергетического разрешения*

Энергетическое разрешение является одной из основных паспортных аппаратурных характеристик детектора. Оно позволяет контролировать правильность установленной ширины измерительного энергетического "окна" для выделения фотопика (пика полного поглощения). Поскольку сцинтилляционные детекторы на основе кристалла NaI(Tl) со временем изменяют свои параметры, контроль энергетического разрешения должен проводиться регулярно в соответствие с документацией на СИЧ.

На расстоянии 25-30 см от блока детектирования СИЧ устанавливают точечные образцовые источники, например, $^{57}$Co и $^{137}$Cs из комплекта ОСГИ (рекомендуемая загрузка измерительного тракта – не более 1000 имп $с^{-1}$). При этом регистрируется гамма-излучение фотопиков с энергией $E_1$ =122 кэВ и $E_2$ = 662 кэВ в каналах $N_1$ и $N_2$ анализатора соответственно.

Проводят регистрацию гамма-спектров источников. Число отсчетов в пике полного поглощения, должно быть не менее 10 000. Значение энергетической ширины канала $B$ (кэВ) вычисляют по формуле:

$$B = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1}, \text{ кэВ}, \qquad (5.2.1)$$

Энергетическое разрешение $R$ определяют графически по ширине пика полного поглощения моноэнергетической линии $\Delta n$ на его полувысоте для линии 662 кэВ. Энергетическое разрешение определяется по формуле:

$$R = \frac{\Delta n \cdot B}{E_2} \cdot 100\%, \qquad (5.2.2)$$

Полученные значения $R$ не должны превышать величин, указанных в нормативно-технической документации на СИЧ. Допускается проводить определение энергетического разрешения по линиям $^{60}$Co. Определение энергетической ширины канала в этом случае проводят по линиям $E_1$=1173 кэВ и $E_2$=1333 кэВ.

*Определение рабочих энергетических диапазонов*

Определение рабочих энергетических диапазонов (выставление ширины рабочих измерительных "окон" для регистрации фотопиков) производят с применением гамма-излучающих фантомов тела человека или объемных источников гамма-излучения.

- Проводят регистрацию гамма-спектра.
- Определяют энергетическое разрешение в регистрируемом диапазоне энергий для фантома.
- Определяют центр тяжести пика полного поглощения (точка пересечения оси пика на полувысоте) $N_{ц.т.}$. Влево и вправо от центра тяжести пика выделяют участки спектра равные разрешению для энергетической линии регистрируемого радиоизотопа, определенные по фантому.

  Рабочий диапазон ("окно") определяется как $N_{ц.т.} \pm \Delta n$.

*5.2.4.3. Определение коэффициента экранирования*

Коэффициент экранирования $K_э$ – безразмерная величина, учитывает степень ослабления внешнего (фонового) гамма-излучения телом человека и вклад излучения $^{40}K$ и зависит от геометрических размеров человека, спектрального состава фонового излучения и эффективности экранирования детектора.

$K_э$ определяют с помощью фоновых фантомов для трех возрастных групп людей. В качестве фонового фантома можно использовать набор из полиэтиленовых канистр, позволяющих моделировать толщину тела 10–15–20 см. Канистры наполняются водой с раствором хлористого калия (75 Бк $^{40}K$ или 5,2 г хлористого калия на 1 литр воды, что соответствует среднему содержанию $^{137}Cs$ в организме человека). Допускается использовать "чистого" человека (с предельно низким содержанием в его организме $^{137}Cs$ – в 2 или более раз ниже МДА калибруемого СИЧ).

В случае использования фоновых фантомов, не содержащих $^{40}K$, следует иметь в виду, что результаты измерений $^{137}Cs$ в этом случае будут несколько завышены (на 50-150 Бк). Однако при уровнях содержания $^{137}Cs$ в организме выше 3-5 кБк ошибка в результате измерения будет не выше +3-5%, что вполне допустимо при массовом СИЧ-мониторинге.

- Проводят регистрацию спектра фонового фантома и спектра фонового излучения.
- Величину коэффициента экранирования вычисляют по формуле, имеющей общий вид:

$$K_э = \frac{N_{фф}}{N_ф}, \qquad (5.2.3)$$

где:

$K_э$ – коэффициент экранирования, отн. ед.;

$N_{фф}$ – количество импульсов в соответствующем энергетическом диапазоне при измерении фонового фантома, $с^{-1}$;

$N_ф$ – количество импульсов в соответствующем энергетическом диапазоне при измерении фонового излучения (без фантома), $с^{-1}$.

В качестве параметра, характеризующего геометрические размеры тела человека, наиболее целесообразно использовать его массу. Экспериментально полученные значения коэффициентов экранирования для людей различной массы рекомендуется аппроксимировать экспоненциальной функцией вида:

$$K_э = a + b \cdot \exp(-c \cdot \sqrt{M}), \qquad (5.2.4)$$

где: $M$ – масса тела человека, кг;

$a$, $b$, $c$ – постоянные коэффициенты (определяются для конкретного СИЧ).

В отдельных случаях коэффициент экранирования (для портативных СИЧ) с детекторами различных объемов, использующих геометрию "Север", определяется только величиной массы. В этом случае выражение (5.2.4) упрощается:

$$K_э = 0{,}5 + \exp(-0{,}25 \cdot \sqrt{M}) \qquad (5.2.5)$$

### *5.2.4.4. Определение калибровочных коэффициентов*

Калибровка СИЧ – один из наиболее ответственных этапов работы, от качества и регулярности проведения которой зависит достоверность результатов измерений. Для выполнения калибровки необходимо применять гамма-излучающие тканеэквивалентные фантомы тела человека. Фантомы относятся к образцовым специальным источникам излучения и должны иметь свидетельство метрологической службы о погрешности определения в них активности не более 5 % при доверительной вероятности p=0,95 [6].

Для калибровки СИЧ оперативного и индикаторного класса по равномерно распределенным в организме человека радионуклидам (например, $^{137,134}Cs$) следует использовать гомогенные фантомы тела человека не менее трех разных размеров (масс), моделирующих тело человека для различных возрастных групп – ребенок (10-15 кг), подросток (25-30 кг), взрослый (стандартный человек – 70-75 кг).

Для выполнения калибровки производят регистрацию спектров каждого из фантомов и спектра фонового излучения.

Величину калибровочного коэффициента $K$ для фантомов разной массы определяют по формуле:

$$K = \frac{A_{фант}}{(N_{фант} - N_ф \cdot K_э) \cdot M_{фант}}, \qquad (5.2.6)$$

где: $K$ – калибровочный коэффициент для разных весовых групп, Бк с кг$^{-1}$;

$A_{фант}$ – активность радионуклида в фантоме, Бк;

$N_{фант}$ – скорость счета импульсов от фантома в рабочем энергетическом диапазоне, с$^{-1}$;

$N_ф$ – скорость счета импульсов фона в рабочем энергетическом диапазоне, с$^{-1}$;

$K_э$ – коэффициент экранирования, отн. ед.;
$M$ – масса фантома, кг.

Экспериментально полученные значения калибровочных коэффициентов рекомендуется аппроксимировать степенной функцией вида:

$$K = a + b \cdot M_{фант}^{-c}, \qquad (5.2.7)$$

где: $a$, $в$, $c$ – постоянные коэффициенты (для конкретного СИЧ и фантома);

$M_{фант}$ – масса фантома, кг.

### *5.2.4.5. Проведение измерений*

а) Перед проведением измерений необходимо прогреть электронные блоки спектрометрического тракта СИЧ в течение 30 минут (если в техдокументации нет других указаний).

б) Установить точечный контрольный источник $^{137}$Cs на расстоянии 10-20 см от блока детектирования.

в) Выставить пик $^{137}$Cs в рабочий энергетический диапазон с помощью регулятора усилителя. При этом скорость счета от контрольного источника за вычетом скорости счета фона не должна отличаться более, чем на ±10%, от величины, указанной в паспорте прибора.

г) Удалить контрольный источник от места измерения или поместить в защитный контейнер.

д) Измерить скорость счета импульсов от фонового излучения в течение не менее 30 минут.

е) Измерить скорость счета импульсов от обследуемого человека.

### *5.2.4.6. Расчет активности $^{137}$Cs в теле человека*

Расчет активности $^{137}$Cs в теле человека выполняют по формуле:

$$A_{чел} = (N_{чел} - N_ф \cdot K_э) \cdot K \cdot M, \qquad (5.2.8)$$

где: $A_{чел}$ – активность $^{137}$Cs в теле человека, Бк;

$N_{чел}$ – скорость счета импульсов в рабочем энергетическом диапазоне при измерении человека, $с^{-1}$;

$K_э$ – коэффициент экранирования, рассчитанный для человека массой $M$ с помощью аналитического выражения (5.2.4) или (5.2.5);

$K$ – калибровочный коэффициент, рассчитанный для человека массой $M$ с помощью аналитического выражения (5.2.7), Бк с кг$^{-1}$.

### 5.2.5. Обработка результатов измерений

#### *5.2.5.1. Определение погрешностей измерений*

При массовом СИЧ-скрининге результирующая погрешность отдельных измерений не должна быть выше 30 % при доверительной вероятности $p=0,95$. Результирующая погрешность индивидуального измерения Δ определяется по формуле (5.3.9) и включает в себя:

$\Delta_н$ – относительная статистическая (стандартная) погрешность;

$\Delta_a$ – погрешность определения активности фантома, должна быть не более 3-5 %;

$\Delta_p$ – погрешность определения веса человека, обычно – 1-3 %;

$\Delta_g$ – погрешность, обусловленная нестандартностью человека по отношению к пропорциям фантома (в среднем, 8 %).

Результирующую погрешность Δ вычисляют по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_н^2 + \Delta_a^2 + \Delta_p^2 + \Delta_g^2}, \qquad (5.2.9)$$

где $\Delta_н$ – относительная статистическая (стандартная) погрешность измерения для $p=0,95$, %, рассчитывается по формуле:

$$\Delta_н = \frac{2 \cdot \sqrt{N_{чел}/T_{чел} + N_ф \cdot K_2/T_ф}}{N_{чел} - N_ф \cdot K_2} \cdot 100,\%, \qquad (5.2.10)$$

где: $T_{чел}$ *и* $T_ф$ – время измерения человека и фона, с.

#### *5.2.5.2. Определение МДА*

В качестве критерия предела обнаружения активности радионуклида в организме человека, т.е. минимального гарантированного уровня обнаружения активности над уровнем флуктуаций фона с выбранной доверительной вероятностью $p$, используется понятие минимально детектируемой активности – *МДА*. Расчет *МДА* заключается в определении вероятности обнаружения активности и вероятностей ошибок 1-го и 2-го родов. Ошибка 1-го рода – ложное обнаружение, когда за сигнал принята

флуктуация фона. Ошибка 2-го рода – пропуск сигнала, когда сигнал принят за флуктуацию фона. Так, при измеренной активности, соответствующей величине *МДА* при вероятности 0,95, вероятность ошибок 1-го и 2-го родов не превышает 0,05.

Обычно величину минимальной детектируемой активности *МДА* считают равной удвоенному значению минимально измеряемой активности (*МИА*). Таким образом, *МДА=2• МИА*, что гарантирует обнаружение чистого сигнала над фоном с заданной вероятностью, если сигнал превышает *МИА* не менее, чем в 2 раза.

В свою очередь, значение минимально измеряемой активности *МИА* соответствует наименьшему сигналу, превышающему нулевой фоновый уровень, но не превышающему уровень случайных колебаний фонового сигнала с выбранной доверительной вероятностью. *МИА* – это чувствительность регистрации, критический уровень, ниже которого сигнал *не может быть достоверно* зарегистрирован. Так, для $p=0,95$ *МИА* соответствует $1,645\sigma$ (стандартного отклонения уровня фона) [7]. Таким образом, в отличие от *МДА*, при определении *МИА*, имеющаяся активность (как чистый зарегистрированный сигнал) может быть обнаружена лишь в 50 % случаях, а в 50 % случаев будет получен сигнал, соответствующий уровню ниже *МИА*. Причем, величина *МИА* зависит только от превышения сигнала над фоном и характеризует параметры аппаратуры (флуктуацию фона), а *МДА* характеризует все составляющие процесса измерения и калибровки, являясь нижним пределом регистрации минимального сигнала, который *может быть достоверно* зарегистрирован для данных условий измерения.

При исследовании объектов окружающей среды и решении задач радиационной гигиены для оценки погрешностей обычно используется величина доверительной вероятности $p=0,95$.

В общем случае МДА вычисляют по формуле [7]:

$$МДА = 2 \cdot МИА = \frac{2 \cdot 1,645 \cdot \sqrt{N_ф / T_{изм} (1 + T_{изм} / T_ф)}}{\xi \cdot \delta} =$$

$$МДА = \frac{3,29 \cdot \sqrt{N_ф / T_{изм} (1 + T_{изм} / T_ф)}}{\xi \cdot \delta}, \text{ Бк}, \qquad (5.2.11)$$

где: $\xi$ – эффективность регистрации (скорость счета на единицу активности) исследуемого радиоизотопа, полученная с использованием фантома известной активности, $Бк^{-1} \cdot с^{-1}$;

$\delta$ – относительная статистическая погрешность измерения.

Величина $\xi$ связана с калибровочным коэффициентом следующим образом:

$$\xi = \frac{1}{K \cdot M}, \text{ Бк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1} \qquad (5.2.12)$$

где: $K$ – калибровочный коэффициент для разных весовых групп, Бк·с·кг$^{-1}$;
$M_{фант}$ – масса фантома, кг.

Для случая равного времени измерения фона и человека, т.е. $T_{чел}=T_{ф}$, формула для вычисления МДА упрощается до следующего выражения [7]:

$$МДА = \frac{4{,}65 \cdot \sqrt{N_ф / T_ф}}{\xi \cdot \delta}, \text{ Бк}, \qquad (5.2.13)$$

Для аппаратурной характеристики СИЧ, в случае измерения активности одного изотопа (например, $^{137}$Cs), при хорошо известном, стабильном фоне, для доверительной вероятности $p=0{,}95$ и принятой относительной погрешности измерения $\delta = 1$ (100%), величину $МДА$ допускается определять по формуле:

$$МДА \approx \frac{2 \cdot \sqrt{N_ф / T_ф}}{\xi}, \text{ Бк} \qquad (5.2.14)$$

### 5.2.6. Документирование результатов измерений

В регистрационном журнале перед проведением измерений необходимо указать:

- адрес места измерения;
- дату измерения;
- тип измерительного прибора;
- время измерения (экспозиция);
- Ф.И.О. оператора;
- наименование организации, выполняющей измерения;
- результаты измерения скорости счета фонового излучения (записываются не менее 2 раз в день и при каждом изменении

места измерения) и скорости счета от фонового фантома (при проведении калибровки).

При наличии соответствующей информации в регистрационном журнале также записывают:

- гамма-фон (мкР/ч или др.ед.) на местности и в измерительном помещении;
- число жителей в населенном пункте, другие демографические данные.

Далее, при каждом измерении, записывают следующую информацию:

- регистрационный номер записи;
- фамилия, имя, отчество обследуемого (полностью);
- год рождения;
- профессия обследуемого;
- адрес места жительства, в случае отличия от адреса места измерения;
- масса тела человека (кг);
- скорость счета импульсов в рабочем энергетическом диапазоне при измерении человека;
- результат расчета активности $^{137}Cs$ в теле человека;
- примечания и другие данные о радиационной обстановке на местности.

Отчетные результаты по отдельным обследованным НП представляют в виде средних значений суммарной и удельной активности $^{137}Cs$ в организме жителей, количества выполненных измерений и величин стандартных ошибок.

### 5.2.7. Оценка доз внутреннего облучения по данным СИЧ-измерений

Оценка средних годовых эффективных доз облучения жителей НП производится по результатам выполненных измерений с использованием существующих математических моделей, описывающих метаболизм

радионуклидов в организме человека для разных возрастных групп и в зависимости от характера поступления радионуклидов в организм [8].

В отдаленный после аварии период времени при расчете средних годовых индивидуальных эффективных доз с использованием данных СИЧ-измерений принята модель равновесного содержания $^{137}$Cs в теле человека, когда значение среднего в течение года суточного поступления радионуклида соответствует его среднему суточному выведению. Такая ситуация имеет место на территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, где $^{137}$Cs является основным дозообразующим фактором внутреннего облучения и постоянно присутствует в пищевых продуктах, потребляемых населением. Средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения жителей цезием-137 ($E_{нп}^{ин}$) определяется в соответствии с формулой:

$$E_{нп}^{ин} = k_d \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (Q_i / M_i), \text{ мЗв/год}, \qquad (5.2.15)$$

где: $k_d$ – дозовый коэффициент; $k_d$ = 2,3 мЗв·кг/кБк·год для взрослого человека;

$Q_i$ – содержание $^{137}$Cs в организме i-го человека по данным СИЧ-измерения, кБк;

$M_i$ – масса тела i-го человека, кг;

$n$ – количество обследованных на СИЧ жителей.

В связи с существующей сезонной зависимостью содержания $^{137}$Cs в организме, для корректной оценки среднего за год (равновесного) содержания при однократном (в течение года) измерении на СИЧ, рекомендуется проводить такие измерения в марте или сентябре. Именно в этот период времени содержание радионуклида с погрешностью не выше 10 % соответствуют среднегодовому уровню. В качестве примера, в табл. 5.2 приведены соответствующие данные по Украине.

Таблица 5.2

Отношение среднегодового содержания $^{137}$Cs в организме жителей к среднемесячному содержанию радионуклида в различные периоды времени года

| Календ. месяц | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| НП типа I | 0,75 | 0,90 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,0 | 0,76 | 0,67 | 0,75 |
| НП типа II, III | 0,85 | 0,96 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,83 | 0,74 | 0,82 |

В случае проведения оценки среднего за год содержания $^{137}$Cs в организме жителей НП по однократному в течение года измерению необходимо полученные на СИЧ результаты умножить на

соответствующие поправочные коэффициенты, учитывающие сезонные колебания содержания $^{137}Cs$ в организме жителей. Эти коэффициенты должны быть получены в течение периода усреднения для 2-3 НП разных типов.

## 5.3. ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ $^{137}Cs$ И $^{90}Sr$ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

### 5.3.1. Объем радиационного мониторинга пищевых продуктов и требования, предъявляемые к его проведению

Для определения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей и критических (по внутреннему облучению) групп населения в НП 2-ой группы осуществляется радиационный мониторинг молока, грибов лесных и картофеля. Минимальный необходимый объем этого мониторинга определен в п. 3.2.1 документа [1].

Расчет СГЭД внутреннего облучения всех жителей НП ($E^{int}_{НП}$) и критических групп населения ($E^{int}_{КГ}$) ведут по формулам:

$$E^{int}_{НП} = d_k \cdot \sum_i A_i \cdot V_i^{эфф} \cdot K_i, \text{ мЗв/год}, \qquad (5.3.1)$$

$$E^{int}_{КГ} = 3 \cdot E^{int}_{НП}, \text{ мЗв·год}^{-1}, \text{ – для населенных пунктов типа I}, \qquad (5.3.2)$$

$$E^{int}_{КГ} = 4 \cdot E^{int}_{НП}, \text{ мЗв·год}^{-1}, \text{ – для населенных пунктов типа II или III}, \qquad (5.3.3)$$

где: $A_i$ – средняя удельная активность $^{137}Cs$ в $i$-ом пищевом продукте, Бк·кг$^{-1}$;

$V_i^{эфф}$ – эффективное годовое потребление $i$-го пищевого продукта (молоко, картофель, грибы), учитывающее вклад в дозу других компонентов рациона питания, кг·год$^{-1}$;

$K_i$ – коэффициент снижения содержания $^{137}Cs$ в готовом $i$-ом пищевом продукте по сравнению с исходным, вследствие его кулинарной обработки, отн. ед.; $K_i$=1,0 для молока, $K_i$=0,8 для картофеля, $K_i$=0,5 для грибов;

$d_k$ – дозовый коэффициент для пищевого пути поступления $^{137}Cs$ в организм человека; для взрослых мужчин и женщин принято среднее значение $d_k = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ мЗв·Бк$^{-1}$ (с учетом разной мышечной массы у мужчин и женщин и разных периодов полувыведения $^{137}Cs$ из организма, составляющего, в среднем, для взрослых жителей средней полосы Европейской части России 97 суток у мужчин и 72 суток – у женщин [9]).

Для корректировки параметров дозиметрических моделей, (в первую очередь, численных значений параметра $V_i^{эфф}$), а также уточнения оценок доз, в течение периода усреднения проводят выборочные радиационно-гигиенические обследования НП 2-ой группы, объединяя их в выборки по 1-2 НП по условиям расположения и структурой рациона питания: находящиеся на территориях с разной поверхностной активностью $^{137}Cs$ в почве, расположенные как в лесной зоне, так и вдали от нее, отличающиеся структурой рациона питания населения и пр. При этом осуществляется сбор данных о содержании $^{137}Cs$ в более полном наборе основных дозообразующих пищевых продуктов сельскохозяйственного и природного происхождения: в молоке, мясе говяжьем и свином, овощах, картофеле, лесных грибах и ягодах, рыбе из местных водоемов. Эту информацию собирают в течение всего периода усреднения в запланированных к проведению обследований населенных пунктах или одномоментно – при проведении этих обследований. Во время обследований проводят также индивидуальное анкетирование жителей (см. раздел 5.4) для определения средних величин потребления различных пищевых продуктов. Анкетирование проводится только на добровольной основе со стороны населения.

Для определения величин эффективного годового потребления молока (дозовый эквивалент потребления пищевых продуктов животного происхождения) $V_м^э$, грибов лесных (дозовый эквивалент потребления пищевых продуктов природного происхождения) $V_гр^э$ и картофеля (дозовый эквивалент потребления пищевых продуктов растительного происхождения) $V_к^э$ используют формулу:

$$V^э_{м(гр,к)} = \frac{\sum_i A_i V_i \cdot K_i}{A_{м(гр,к)} \cdot K_{м(гр,к)}}, \qquad (5.3.4)$$

где: $A_i$ – средняя удельная активность $^{137}Cs$ в $i$-ом пищевом продукте животного происхождения (в молоке, мясе говяжьем и мясе свином), природного происхождения (лесные грибы и ягоды) или растительного происхождения (картофель, овощи), соответственно, Бк•кг$^{-1}$;

$V_i$ – годовое потребление $i$-го пищевого продукта, кг•год$^{-1}$;

$K_i$ – коэффициент снижения содержания $^{137}Cs$ в готовом $i$-ом пищевом продукте по сравнению с исходным, вследствие его кулинарной обработки, отн. ед.; $K_i$=1,0 для молока, $K_i$=0,8 для картофеля, $K_i$=0,5 для грибов;

$A_{м(гр,к)}$ – средняя удельная активность $^{137}Cs$ в молоке, грибах или картофеле, соответственно, Бк•кг$^{-1}$.

Результатом выборочных радиационно-гигиенических обследований НП является также, как было отмечено выше, уточнение оценок СГЭД внутреннего облучения населения $E_{НП}^{вн}$ и критических (по внутреннему облучению) групп жителей $E_{Кг}^{вн}$. Величину $E_{НП}^{вн}$ определяют по формуле:

$$E_{НП}^{вн} = d_k \cdot \sum_i A_i \cdot V_i \cdot K_i, \text{ мЗв•год}^{-1}, \qquad (5.3.5)$$

где: *Vi* – среднее годовое потребление *i*-го пищевого продукта (из вышеперечисленного перечня, приведенного также в табл. 6.1), кг•год $^{-1}$;

СГЭД внутреннего облучения критических (по внутреннему облучению) групп населения $E_{Кг}^{вн}$ оценивают по формулам (5.3.2) и (5.3.3).

Уточнение оценок СГЭД внутреннего облучения жителей населенного пункта $E_{НП}^{вн}$ и критических групп населения $E_{Кг}^{вн}$ выполняется при проведении углубленного радиационно-гигиенического обследования НП, сопровождающегося анкетированием жителей, а также отбором и анализом проб молока, мяса говяжьего и свиного, овощей, картофеля, лесных грибов и ягод, рыбы из местных водоемов.

### 5.3.2. Радиационный мониторинг пищевых продуктов

Радиационный мониторинг пищевых продуктов включает в себя следующие процедуры:

- отбор и предварительная подготовка проб;
- измерение удельной активности $^{137}Cs$ (а при необходимости, и $^{90}Sr$) проб;
- определение средних значений удельной активности $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в пробах;
- документирование данных радиационного мониторинга.

#### *5.3.2.1. Отбор проб*

Пробы молока отбирают равномерно (ежеквартально) в течение всего года, пробы ягод – в период их сбора, пробы других продуктов – в любое время в течение года. На анализ отбирают по 0,5 л молока, по 1 кг картофеля и овощей, по 0,5 кг мяса и рыбы, по 0,5 кг свежесобранных ягод и по 1 кг сырых (либо 0,1 кг сухих) грибов. Перед анализом картофель очищают от кожуры, моют, взвешивают, мелко нарезают и высушивают до воздушно-сухого состояния. Грибы тщательно очищают от почвы,

растительности, взвешивают и высушивают до воздушно-сухого состояния.

Пробы молока, мяса, картофеля и овощей в населенных пунктах I типа отбирают в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ). Рекомендуется, чтобы каждая проба представляла собой объединенную пробу из 3-5 ЛПХ данного НП. При отсутствии молочного скота в ЛПХ пробы молока отбирают из соответствующего коллективного хозяйства, в которое входит населенный пункт. Пробы говядины и свинины отбирают в ЛПХ, коллективных хозяйствах или в торговой сети, в том числе на рынках, с учетом вклада их потребления населением из перечисленных источников.

Пробы молока и мяса в населенных пунктах типа II и III отбирают в торговой сети, в том числе на рынках, пробы картофеля и овощей – в ЛПХ или в торговой сети.

Пробы грибов и ягод отбирают в лесных массивах, обычно используемых местными жителями для их сбора. Возможен также отбор проб грибов и ягод на анализ у местных жителей (с указанием лесного массива, где были собраны эти природные продукты).

Отбор проб грибов и ягод осуществляется отдельно по видам. Предпочтение следует отдавать тем видам, которые произрастают в ареале данного НП и преимущественно потребляются местными жителями. Для последующих дозовых оценок используют средневзвешенное (с учетом структуры потребления разных видов грибов и ягод) значение удельной активности $^{137}Cs$ в этих природных продуктах. Структура потребления разных видов грибов и ягод устанавливается путем проведения анкетных опросов жителей во время выборочных обследований НП.

Минимальное количество проб пищевых продуктов, отбираемых в населенном пункте для выполнения дозовых оценок, зависит от типа НП и задач, решаемых при проведении радиационного мониторинга (табл. 5.3).

Все пробы сельскохозяйственной продукции должны быть отобраны от различных поставщиков (источников) каждого вида продукта; в расчетах могут использоваться результаты исследований не более 2 проб от одного поставщика.

На все отобранные пробы составляют акт отбора проб.

Таблица 5.3

Виды пищевых продуктов и минимальное количество проб, отбираемых в одном НП группы 2

| Задачи мониторинга | Пищевые продукты | НП типа I | НП типа II и III |
|---|---|---|---|
| Оценка СГЭД внутреннего облучения жителей и критических групп населения | **Кол-во проб, отбираемых ежегодно** | | |
| | Молоко | 5 | 15 |
| | Грибы лесные | 7 | 20 |
| | Картофель | 3 | 5 |
| Корректировка параметров радиологических моделей<br><br>Уточнение оценок СГЭД внутреннего облучения жителей и критических групп населения при проведении выборочных (углубленных) обследований НП | **Общее кол-во проб, отбираемых дополнительно при обследовании НП** | | |
| | Мясо говяжье | 3 | 5 |
| | Мясо свиное | 3 | 5 |
| | Овощи | 3 | 5 |
| | Ягоды лесные | 5 | 10 |
| | Рыба из закрытых водоемов | 3 | 5 |
| | Рыба речная | 3 | 5 |

### *5.3.2.2. Определение удельной активности $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в пробах*

Для определения удельной активности $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в пробах пищевых продуктов используют гамма-спектрометрические и радиохимические методы анализа.

Анализ проб на содержание $^{137}Cs$ выполняют на метрологически аттестованных гамма-спектрометрах со сцинтилляционным или полупроводниковым детектором. МДА для таких приборов должна обеспечивать возможность определения $^{137}Cs$ в пробах на уровне от 10 Бк/кг и ниже. Статистическая погрешность отдельного измерения не должна превышать 20 %.

Если удельная активность радионуклида в исходной пробе меньше меньше достоверно определяемой, необходимо выполнить отбор пробы в объеме, большем, чем рекомендованный в п. 5.3.2.1, и провести предварительное концентрирование пробы (выпаривание, сушка, озоление) с ее последующим повторным гамма-спектрометрическим анализом.

При невозможности получения результата, удовлетворяющего вышеприведенным требованиям, выполняют радиохимический анализ пробы. Радиохимическое определение содержания $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в пробах производят по стандартным методикам [10].

Результаты измерений должны содержать величину измеренного параметра и оценку погрешности его определения с доверительной вероятностью 0,95.

### *5.3.2.3. Определение средних значений удельной активности $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в различных видах пищевых продуктов*

Для оценок дозы следует использовать средние арифметические значения $\overline{A}$ удельной активности $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в различных видах пищевых продуктов за весь период усреднения:

$$\overline{A} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} A_i, \qquad (5.3.6)$$

где: $A_i$ – удельная активность радионуклида в i-ой пробе пищевого продукта;

n – количество проб данного пищевого продукта, отобранных за период усреднения.

Погрешность оценки среднего – стандартную ошибку среднего $S(\overline{A})$ – рассчитывают по формуле:

$$S(\overline{A}) \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (A_i - \overline{A})^2}{n \cdot (n-1)}} \qquad (5.3.7)$$

Относительную погрешность оценки среднего $\delta(\overline{A})$ рассчитывают по формуле:

$$\delta(\overline{A}) = S(\overline{A})/\overline{A}, \text{ отн. ед.} \qquad (5.3.8)$$

Конечный результат определения средней удельной активности радионуклида в пищевом продукте записывают в виде: $\overline{A} \pm S(\overline{A})$.

### *5.3.2.4. Документирование данных радиационного мониторинга пищевых продуктов*

На каждую пробу оформляют *"Паспорт пробы"*, включающий в себя наименование, дату и место отбора пробы, определяемый радионуклид, метод измерения и его чувствительность (МДА), результат и стандартную ошибку измерения.

### 5.3.3. Структура сельскохозяйственных угодий

Данные о структуре сельскохозяйственных угодий, необходимые для выполнения предварительных оценок СГЭД внутреннего облучения (см. раздел 3), собирают в областных или районных органах агрохимической службы. При этом запрашивают сведения о площадях сельскохозяйственных угодий, приходящихся на пастбища и сенокосы (совокупно), а также на пахотные почвы, с учетом вклада почв разных групп (см. [1]) в общую площадь этих земель. Данные заносят в таблицу, пример заполнения которой приведен в приложении 5.2.

## 5.4. ВЫБОРОЧНЫЕ (УГЛУБЛЕННЫЕ) ОБСЛЕДОВАНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Целью выборочных обследований НП является:

- уточнение оценок СГЭД внутреннего облучения жителей НП и критических групп населения;
- получение данных для корректировки параметров дозиметрических моделей формирования доз внутреннего облучения.

Схема обследования включает в себя:

- СИЧ-измерения жителей НП;
- отбор и анализ проб основных дозообразующих пищевых продуктов, потребляемых местным населением;
- проведение анкетных опросов жителей о структуре их рационов питания.

Оценки доз, полученные с использованием данных о структуре рациона питания жителей НП и содержании $^{137}Cs$ в пищевых продуктах, сравнивают с результатами СИЧ-измерений жителей. В случае существенного (более 30 %) расхождения в оценках, устанавливают его причины.

Для оценки величин потребления различных пищевых продуктов проводятся индивидуальные опросы взрослых жителей по специально разработанным анкетам (в качестве примера, см. приложение 5.3).

*Приложение 5.1*

# ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ИНДИКАТОРНЫХ СИЧ

## (ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ)

Для проведения экспрессных измерений содержания цезия-137 в теле жителей используются специальные оперативные методики, позволяющие использовать в качестве счетчиков излучения человека переносные малогабаритные одноканальные сцинтилляционные спектрометры с кристаллом NaI(Tl). Калибровка этих приборов производится с помощью специальных гамма-излучающих фантомов тела человека различной массы (см. п. 5.2.4.4) или путем сравнения индивидуальных измерений отдельных индивидуумов, выполненных с помощью переносного спектрометра и стационарного счетчика измерений человека.

В положении обследуемого "сидя" детектор располагается торцом к нижней части живота. Измеряют число импульсов в энергетическом диапазоне гамма-излучения 585-725 кэВ ("окно" $^{137}$Cs). Время измерения ≃ 100 с, относительная погрешность ≃ до 30 %, МДА при использовании детекторов размером 63х63 мм ≃ около 1 кБк $^{137}$Cs в теле человека. Содержание $^{137}$Cs в организме человека вычисляют по формуле:

$$A = (N_{чел} - K_э \cdot N_ф) \cdot K, \qquad (П.5.1)$$

где: $A$ ≃ содержание (активность) $^{137}$Cs в организме обследуемого;

$K$ ≃ калибровочный коэффициент, зависящий от массы тела человека $M$ (табл. П.5.1);

$N_{чел}$ ≃ скорость счета в рабочем энергетическом диапазоне при измерении человека;

$N_ф$ ≃ среднее значение скорости счета фонового излучения;

$K_э$ ≃ коэффициент экранирования внешнего гамма-фона телом человека (зависит от массы тела человека $M$), отн. ед. (табл. П.5.1).

Коэффициент экранирования $K_э$ внешнего гамма-фона телом человека зависит не только от массы тела обследуемого, но и от

спектрального состава гамма-фона в помещении, где проводятся измерения. Значение $K_э$ выше при наличии в гамма-фоне компонента, обусловленного гамма-излучением $^{137}Cs$, что характерно для многих сел, расположенных на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Поэтому в табл. П.5.1 приведены две колонки значений этого параметра в зависимости от уровней гамма-фона, а следовательно, в зависимости от наличия или отсутствия в его составе значимого уровня "цезиевого" компонента в измерительном помещении.

Таблица П.5.1

Численные значения коэффициентов $K_э$ и K (при использовании детекторов размером 63x63 мм) в зависимости от массы тела обследуемого человека

| Масса тела, кг | $K_э$ (γ-фон > 30 мкР/ч) | $K_э$ (γ-фон < 30 мкР/ч) | K, кБк·с |
|---|---|---|---|
| 10 | 0,80 | 0,80 | 0,61 |
| 15 | 0,78 | 0,79 | 0,65 |
| 20 | 0,74 | 0,78 | 0,68 |
| 25 | 0,71 | 0,78 | 0,71 |
| 30 | 0,69 | 0,77 | 0,75 |
| 35 | 0,67 | 0,76 | 0,78 |
| 40 | 0,65 | 0,76 | 0,81 |
| 45 | 0,64 | 0,75 | 0,85 |
| 50 | 0,62 | 0,75 | 0,88 |
| 55 | 0,61 | 0,74 | 0,92 |
| 60 | 0,60 | 0,73 | 0,95 |
| 65 | 0,59 | 0,73 | 0,98 |
| 70 | 0,58 | 0,73 | 1,02 |
| 75 | 0,57 | 0,72 | 1,05 |
| 80 | 0,56 | 0,72 | 1,08 |
| 85 | 0,56 | 0,71 | 1,12 |
| 90 | 0,55 | 0,71 | 1,15 |
| 100 | 0,54 | 0,70 | 1,22 |
| 110 | 0,53 | 0,69 | 1,28 |

Приложение 5.2

## ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ СПРАВКИ О СТРУКТУРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ХОЗЯЙСТВА, В СОСТАВЕ КОТОРОГО НАХОДИТСЯ НП

**Структура сельскохозяйственных угодий и распределение их площади по группам доминирующих почв**

**Область:** Брянская

**Район:** Новозыбковский

**Общественное хозяйство:** «Новобобовичский ...»

**Населенные пункты в составе общественного хозяйства:** Н.Бобовичи, Победа, Подлесье

| Группа почв | Площадь, га | | |
|---|---|---|---|
| | Пашня | Сенокосы | Пастбища |
| Торфяно-болотные | | 10 | 15 |
| Песчаные и супесчаные (дерново-подзолистые, дерново-глеевые, дерновые, светло-серые и серые лесные) | 1369 | 39 | 23 |
| Легко- и среднесуглинистые (дерново-подзолистые; дерновые; серые и темно-серые лесные; выщелоченные и оподзоленные черноземы) | 331 | 17 | 25 |
| Тяжелосуглинистые и глинистые (темно-серые лесные; черноземы: выщелоченные, оподзоленные, типичные, обыкновенные, южные; каштановые) | | | |

(Должность, фамилия и подпись лица, удостоверяющего подлинность представленных данных)

Приложение 5.3

## ОПРОСНАЯ КАРТА

**Карта № ____ Населенный пункт.: .....**
**1. ФИО ..... 2. Пол: м_□ ж_□**
**3. Год рождения ..... 4. Вес (кг): .....**
**5. Профессия: .....**
**6. Сколько человек проживает вместе с Вами? Взрослых.... Детей: до 3 лет-... 3-7 лет -.... 8-11 лет -.... 12-14 лет –....**
**7. Результаты измерений на СИЧ (содержание и уд. акт. $^{137}Cs$ в организме):**

| Дата | Прибор | А, нКи (нКи/кг) | А, кБк (кБк/кг) | Примечания |
|---|---|---|---|---|
| ...../... | | | | |

**8. Наличие в хозяйстве: огорода_□ коровы_□ козы_□ свиньи_□ птицы_□**
**9. Рацион питания, кг/сут:**

| Продукт | | Местное производство | Привозные |
|---|---|---|---|
| МЯСО | Свинина_□ | | _□ |
| | Говядина_□ | | _□ |
| | Птица_□ | | _□ |
| | Другое_□ | | _□ |
| Картофель_□ | | | _□ |
| Овощи_□ | | | _□ |
| РЫБА | Речная_□ | | _□ |
| | Озерная_□ | | _□ |
| Молоко_□ | | | _□ |

**10. Даете ли корове ферроцин-препараты? нет_□ да_□ нерегулярно_□**

**11. Выпас скота: колхозное стадо_□; отдельно_□ (лес_□; пойма реки_□; болото □; др. _□)**

**12. Заготовка сена: луг_□; лес_□; пойма реки_□; болото □; другое место _□**

**13. Потребляете ли Вы грибы? нет _□ да_□**

**14. Заготавливаете ли Вы грибы? нет _□ да_□**

**15. Прошлый сезон:**

- **Сколько собрано корзин (килограммов) грибов?**

  **.....**

- **Сколько заготовлено литров грибов?**

  **.....**

- **Сколько заготовлено кг сухих грибов?**

  **.....**

- **Когда закончились заготовки?**

  **.....**

**16. Этот сезон:**

- **Сколько собрано корзин (килограммов) грибов?**

  **.....**

- **Сколько заготовлено литров грибов?**

  **.....**

**17. Что Вы делаете обычно с грибами? (пожалуйста, проранжируйте по убывающей от 1 до 4):□ □ □ □**

**1) жарите..... 2) сушите..... 3) солите..... 4) маринуете.....**

**1) (Жарка) Отвариваете ли Вы предварительно грибы? нет _□ да_□**

**2) (Сушка) Сливаете ли Вы воду после вымачивания сухих грибов? нет _□ да_□**

**3) (Засолка)**

- **вымачиваете ли Вы грибы предварительно? нет _□ да_□**
- **отвариваете ли Вы предварительно грибы? нет _□ да_□**

**4) (Маринад) вымачиваете ли Вы предварительно грибы? нет _□ да_□**

**отвариваете ли Вы предварительно грибы? нет _0 да_ 0**

**18. Сливаете ли Вы отвары?**

**19. Сколько человек в семье ест грибы?**

**.....**

**20. Какие грибы Вы предпочитаете собирать?**

**1) мяслята_0..... 2) "благородные"_0..... 3) пластинчатые (для засолки)_0.....4) опята_0.....**

**21. Какую долю от общего количества составляет потребление этих видов грибов?**

| Моховики, маслята, польский гриб | Белые, подберезовики, подосиновики | Грибы для засолки | Опята |
|---|---|---|---|
| | | | |

**22. Потребляете ли Вы лесные ягоды? нет _0 да_ 0**

**23. Заготавливаете ли Вы лесные ягоды? нет _0 да_ 0**

**24. Прошлый сезон:**

- **Сколько собрано корзин (килограммов) лесных ягод?**

  **.....**

- **Сколько заготовлено (в литрах) лесных ягод?**

  **.....**

- **Когда закончились заготовки?**

  **.....**

**25. Этот сезон:**

- **Сколько собрано корзин (килограммов) лесных ягод?**

  **.....**

- **Сколько заготовлено (в литрах) лесных ягод?**

  **.....**

**26. Сколько человек в семье ест лесные ягоды?**

**.....**

**27. Потребляете ли Вы мясо диких животных? нет _0 да_ 0**

**28. Сколько и какой дичи было убито за прошлый сезон?**

.....

**29. Сколько и какой дичи было убито Вами в этом году?**

.....

(Должность, фамилия и подпись лица, удостоверяющего подлинность представленных данных)

## ЛИТЕРАТУРА


1. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Методические указания МУ 2.6.1.2003-05. Москва, 2005.
2. Grosswendt, B. The angular dependence and irradiation geometry factor for the dose equivalent for photons in slab phantoms of tissue-equivalent material and PMMA. Radiation Protection Dosimetry 35, 221-235; 1991.
3. Golikov V., Balonov M., Erkin V., Jacob P. (1999) Model validation for external doses due to environmental contamination by the Chernobyl accident. Health Physics, v. 77, Nr. 6, pp. 654-661.
4. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М., Энергоатомиздат, 1989, 118 с.
5. Лихтарев И.А., Перевозников О.Н., Литвинец Л.А. Опыт использования счетчиков всего тела для измерения содержания радиоцезия у населения после аварии на ЧАЭС. Авария на Чернобыльской АЭС. Инф. бюлл. - Вып.2, -К., ВНЦРМ.- 1992, с. 219-224.
6. Перевозников О.Н., Гришин С.Н., Литвинец Л.А., Яковлева Г.Н., Василенко В.В. Программа и методика метрологической аттестации счетчиков излучения человека со сцинтилляционным детектором (ЕАМ III К 1555 00 01 ПМ) Методические рекомендации. – Киев,1995, 18 с.
7. Руководство по безопасности, RS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена, 1999.
8. Перевозников О.Н., Литвинец Л.А., Яковлева Г.Н., Василенко В.В. Проведение измерений с использованием счетчиков излучения человека при дозиметрической паспортизации населенных пунктов Украины. Методические рекомендации.
9. O.V. Lebedev, V.A. Yacovlev. The correlation between $^{137}Cs$ half-life and age, body mass and height in individuals contaminated from the Chernobyl accident. The Chernobyl Papers, Vol. 1, Research enterprises, Washington, 1993, pp. 219-243.
10. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды// под ред. А.Н. Марея и А.С. Зыковой. М., Министерство здравоохранения СССР, 1980, 336 с.


gost.e-ecolog.ru