Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мониторинг радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии

Методические указания
МУ 2.6.1.2396—08

Издание официальное

Москва • 2009

gost.e-ecolog.ru

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

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мониторинг радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии

Методические указания
МУ 2.6.1.2396—08

ББК 51.26
М77

М77 **Мониторинг** радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии: Методические указания.—М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.—47 с.

ISBN 978—5—7508—0813—7

1. Разработаны Федеральным государственным учреждением науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (И. А. Звонова, А. А. Братилова, Т. В. Жеско, Г. Н. Кайдановский, Н. С. Шаламанов, В. Н. Шутов).

2. Рекомендованы к утверждению Комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию (протокол от 3 апреля 2008 г. № 1).

3. Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 2 июля 2008 г.

4. Введены в действие с 2 сентября 2008 г.

5. Вводятся впервые.

ББК 51.26

ISBN 978—5—7508—0813—7

© Роспотребнадзор, 2009
© Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009

Содержание

Принятые сокращения 4
1. Введение 5
2. Область применения 5
3. Нормативные ссылки 6
4. Мониторинг радиоизотопов йода в системе радиационно-эпидемиологического надзора 7
5. Измерения мощности дозы гамма излучения 9
6. Требования к отбору проб для лабораторных исследований 10
6.1. Общие требования к отбору проб продуктов питания 10
6.2. Требования к отбору проб молока 11
6.3. Требования к отбору проб пищевых продуктов 13
6.4. Требования к отбору проб воды 13
6.5. Требования к отбору проб травы 14
6.6. Требования к отбору проб воздуха 14
7. Требования к измерениям содержания ^{131}I в продуктах питания и пробах окружающей среды 15
7.1. Прием и подготовка проб к измерениям в лаборатории 15
7.2. Требования к спектрометрическим измерениям проб 16
7.3. Требования к спектрометрической аппаратуре 17
7.4. Радиохимический анализ проб 19
8. Требования к измерениям содержания ^{131}I в щитовидной железе человека 19
8.1. Организация измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе человека 19
8.2. Требования к аппаратуре для радиометрии щитовидной железы 21
8.3. Требования к измерениям и оценке содержания ^{131}I в щитовидной железе человека 22
9. Безопасность персонала 24
10. Первичный анализ и представление результатов 26
11. Общие требования к аппаратурному и метрологическому обеспечению измерений при проведении радиационного мониторинга изотопов йода 27
Список использованной методической и научной литературы 29
Приложение 1. Свойства радиоизотопов йода при миграции в природе и поступлении в организм человека 30
Приложение 2. Образец сопроводительного талона, прикрепляемого к пробе молока 33
Приложение 3. Образец сопроводительного талона, прикрепляемого к пробе пищевых продуктов, воды, травы 34
Приложение 4. Журнал регистрации проб пищевых продуктов 35
Приложение 5. Журнал измерений пищевых продуктов 36
Приложение 6. Методика радиохимического определения удельной активности радионуклидов йода, цезия, стронция, лантана и бария в пробах молока в условиях аварийного загрязнения местности 37
Приложение 7. Журнал измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе человека 45
Приложение 8. Вопросы для уточнения динамики поступления радиоизотопов йода в организм человека 46

Принятые сокращения

АС – атомная станция
МАГАТЭ – Международное Агентство по Атомной Энергии
МДА – минимальная детектируемая активность
МЭД – мощность эквивалентной дозы в воздухе
НП – населенный пункт
ЩЖ – щитовидная железа
ПГ – режим повышенной готовности
СЗЗ – санитарно-защитная зона АС, предприятия
ЧС – режим чрезвычайной ситуации

Согласно ОСПОРБ-99 (п. 6.18) «Органы и организации государственной санитарно-эпидемиологической службы должны принимать участие в выполнении следующих задач при расследовании и ликвидации последствий радиационной аварии: ... – проведение предварительного радиационного контроля; ... – контроль за уровнями радиоактивного загрязнения производственной и окружающей среды, источников водоснабжения, продуктов питания; ... – разработка предложений для органов исполнительной власти субъекта Российской Федерации и для организаций по защите персонала и населения с прогнозом радиационной обстановки».

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Федеральной службы
по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека,
Главный государственный санитарный
врач Российской Федерации
Г. Г. Онищенко
2 июля 2008 г.
Дата введения: 2 сентября 2008 г.

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мониторинг радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии

Методические указания МУ 2.6.1.2396—08

1. Введение

Методические указания (далее – указания) разработаны на основе требований Норм радиационной безопасности (НРБ-99) и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), а также концепций и подходов, изложенных в Международных Основных Нормах Безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (1997 г.) и документах МАГАТЭ.

2. Область применения

2.1. Методические указания предназначены для использования органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызванных масштабной радиационной аварией или применением ядерного оружия и приведших к загрязнению подведомственной территории радиоизотопами йода.

2.2. Указания содержат требования к организации и практическому проведению мониторинга радиоизотопов йода в условиях масштабного загрязнения окружающей среды путем атмосферного переноса радиоактивных веществ. Требования указаний относятся к аварийной ситуации,

которая вышла за пределы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) аварийного предприятия и для ликвидации которой требуется привлечение сил и средств территориальных органов власти на муниципальном, региональном или федеральном уровнях.

2.3. Указания устанавливают требования к отбору, подготовке и измерениям проб пищевых продуктов и объектов окружающей среды, к аппаратуре и методам лабораторных исследований, методам измерения содержания радиоактивных изотопов йода в организме человека. Мониторинг радиоизотопов йода проводят в рамках общего мониторинга радиационной обстановки с учетом их высокой радиологической опасности и короткого времени воздействия на человека. Оценка доз облучения населения радионуклидами йода не является задачей данных указаний (МУ 2.6.1.2153—06 «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем»).

2.4. Действие настоящих указаний распространяется на интервал времени от момента получения информации о произошедшей аварии на местах до полного распада ^{131}I, то есть 2 мес. после аварии.

3. Нормативные ссылки

3.1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.96 № 3-ФЗ.

3.2. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.95 ФЗ-170.

3.3. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.94 № 68-ФЗ, в ред. от 28.10.02 № 129-ФЗ, от 22.08.04 № 122-ФЗ.

3.4. Постановление Правительства Российской Федерации «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» от 30.12.03 № 794, в ред. от 27.05.05 № 335.

3.5. СП 2.6.1.758—99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)».—М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999.

3.6. СП 2.6.1.799—99 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)».—М.: Минздрав России, 2000.

3.7. ГОСТ 29074—91 «Аппаратура контроля радиационной обстановки. Общие требования».—М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. Дата введения 01.07.92.

3.8. ГОСТ Р 22.1.02—95 «Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения». Дата введения 21.12.95.

3.9. Общие требования к построению, изложению и оформлению нормативных и методических документов системы государственного санитарно-эпидемиологического нормирования. Руководство.—М.: Минздрав России, 1998.

3.10. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. МАГАТЭ, Вена, 1997.

4. Мониторинг радиоизотопов йода в системе радиационно-эпидемиологического надзора

4.1. Основными объектами контроля поступления радиоизотопов йода в организм человека в системе Роспотребнадзора являются:

- воздух – в период формирования радиоактивного загрязнения местности;
- молоко и молочная продукция в промежуточной стадии аварии;
- поверхностно загрязненные пищевые продукты и/или сырье для их производства;
- травяной покров в местах выпаса молочного скота и хранящийся в открытом виде заготовленный корм для молочно-продуктивного скота;
- ЩЖ человека;
- вода из открытых источников водоснабжения.

В прилож. 1 представлены краткие сведения о поведении радионуклидов йода в природе и в организме человека, поясняющие выбор действий по их мониторингу.

4.2. В случае радиационной аварии, вышедшей за пределы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия объявляется режим повышенной готовности (ПГ) или режим чрезвычайной ситуации (ЧС). Руководство аварийного предприятия информирует об аварии региональные органы власти территории, на которой расположено предприятие. В случае межрегиональной ЧС информацию об аварии органы власти субъектов Российской Федерации получают по каналам оповещения, предусмотренным единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Критериями для объявления режима ПГ являются превышение мощности эквивалентной дозы над фоновым значением более чем на 0,1 мкЗв/ч (~ 10 мкР/ч) и/или объемной активности ^{131}I в воздухе 7 Бк/м^3 на территориях за пределами СЗЗ предприятия. Режим ЧС объявляется,

когда мощность эквивалентной дозы (МЭД) в воздухе превышает 20 мкЗв/ч (~ 2 мР/ч) и/или объемная активность ^{131}I в воздухе достигла 670 Бк/м^3. Эти же критерии применимы в случаях обнаружения изменения радиационной обстановки на подведомственной территории. При этом требуется применение соответствующих мер реагирования независимо от получения информации из вышестоящих организаций. Режим ПГ требует усиления контроля за состоянием окружающей среды, режим ЧС требует непрерывного контроля за состоянием окружающей среды и применения адекватных мер защиты населения.

Рассмотрев возможные варианты аварийных выбросов из реакторов различных типов, МАГАТЭ рекомендует на ранней стадии аварии решать вопрос о введении экстренных защитных мероприятий (блокада щитовидной железы препаратами стабильного йода, временное укрытие жителей), если мощность дозы во время прохождения радиоактивного облака достигла значения МЭД = 0,1 мЗв/ч (~ 10 мР/ч).

После окончания радиоактивных выпадений, при уровне МЭД, превышающем 1 мкЗв/ч концентрация ^{131}I в пищевых продуктах местного производства может достигать значений, соответствующих «Уровню А» критерия для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов питания (табл. 6.5 НРБ-99). Начиная с этого значения МЭД необходимо проводить отбор проб молока и других продуктов питания для уточнения радиационной обстановки в НП и мер защиты населения.

4.3. Мониторинг радиоизотопов йода начинают после получения информации о радиационной аварии или обнаружения роста мощности эквивалентной дозы на подведомственной территории. Центры Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека передают информацию об аварийной ситуации в районные службы с указанием о начале радиационного мониторинга в населенных пунктах (НП) района, проводимого согласно заранее разработанному плану аварийного реагирования. На районном уровне мониторинг проводят в следующей последовательности:

- контроль мощности эквивалентной дозы (МЭД) в воздухе НП района для уточнения географии радиоактивных выпадений;
- отбор проб молока, воды из открытых источников водоснабжения, поверхностно загрязненных продуктов (в первую очередь – овощей и фруктов), пастбищной травы в НП с повышенным гамма фоном. Отобранные, упакованные и маркированные пробы транспортируют в заранее определенные лаборатории для проведения измерений.

4.4. В условиях ЧС объем исследований ограничивается лишь физическими возможностями персонала и аппаратуры лаборатории радиационного контроля. В случае аварии регионального масштаба целесообразно привлекать к проведению измерений организации, которые по наличию аппаратуры и компетенции персонала могут быть задействованы в аварийных работах. Организации, имеющие поверенные спектрометры, могут выполнять измерения концентрации радиоизотопов йода в пробах продуктов и объектов окружающей среды. Больницы, имеющие радиоизотопные диагностические лаборатории, могут проводить измерения содержания ^{131}I в ЩЖ жителей загрязненных территорий (местных и эвакуированных из наиболее загрязненных районов). С привлеченными организациями необходимо согласовать единые методы измерений и расчета первичных результатов.

4.5. Индивидуальными измерениями содержания радиоизотопов йода в ЩЖ в первую очередь необходимо охватить критическую группу населения – детей младшего возраста. Измерения жителей должны сопровождаться сбором данных, характеризующих динамику поступления радиоизотопов йода в организм человека с загрязненным воздухом, молоком и другими продуктами питания: опросом о датах передвижения по радиоактивно загрязненной территории, питании человека в период аварии, защитных мероприятиях, использованных индивидуально или коллективно в НП в целом.

4.6. На территориях не затронутых радиоактивными выпадениями целью мониторинга является предотвращение и ограничение распространения радиоактивного загрязнения, привносимого из зоны аварии. Эта цель достигается путем контроля, выявления и отбраковки радиоактивно загрязненной пищевой продукции, поставляемой из загрязненных регионов, с последующим решением о ее дезактивации и использовании; а также путем контроля поверхностного и внутреннего загрязнения радионуклидами лиц, прибывших из зоны радиоактивного загрязнения.

5. Измерения мощности дозы гамма излучения

5.1. Измерения мощности дозы гамма излучения от радиоактивных выпадений проводят с целью выявления НП, которые по критерию МЭД требуют немедленного введения защитных мероприятий для населения, или проведения углубленного радиологического обследования с отбором проб молока и других продуктов питания. Измерения МЭД проводят в НП и его ареале, включая пастбищные угодья, аттестованным дозиметром гамма-излучения, на высоте 1 м от поверхности земли. В каждом НП делают не менее пяти измерений. Территории, где прошли

осадки во время прохождения радиоактивного облака (дождь, снег), требуют особого внимания, так как именно там можно ожидать локальное повышение мощности дозы. Желательно в группе мониторинга внешнего излучения иметь прибор спутникового определения координат и регистрировать координаты места измерения МЭД.

Общие требования к аппаратуре, измерениям и регистрации мощности дозы гамма-излучения изложены в МУ 2.6.1.2153—06 «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем».

5.2. Наиболее оперативным и информативным современным методом является определение состава и поверхностной концентрации выпавших радионуклидов методом полевой спектрометрии «in-situ». Сцинтилляционный (NaI(Tl)) или полупроводниковый (HPGe) детектор располагают на открытой ровной площадке вертикально, детектором вниз, на расстоянии 1 м от поверхности земли и снимают спектр, который затем анализируют. Неэкранированный детектор регистрирует поток фотонов от объема почвы площадью около 100 м^2 и глубиной 30 см. Обычно спектрометр снабжен программой, позволяющей быстро анализировать спектры по отдельным пикам, в том числе – по ^{131}I. При наличии полевого спектрометра в территориальной службе Роспотребнадзора или в каком-либо научном или промышленном предприятии на подведомственной территории его следует использовать в целях аварийного мониторинга.

6. Требования к отбору проб для лабораторных исследований

6.1. Общие требования к отбору проб продуктов питания

6.1.1. Цель отбора проб пищевых продуктов состоит в выявлении источников производства загрязненной продукции и пресечении их поставок населению.

6.1.2. Отбор проб и контроль загрязненности молока является первоочередной задачей органов Роспотребнадзора в случае радиационной аварии с выбросами в атмосферу радиоизотопов йода. Пробы молока отбирают по возможности во всех НП, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Вторыми по значимости дозообразующими продуктами могут быть овощи со съедобной надземной частью и фрукты, поверхностно загрязненные радиоактивными выпадениями. Отбирают типичные образцы овощей и фруктов в нескольких хозяйствах на загрязненной территории. Вода – необходимый объект санитарно-гигиенического надзора, как правило, не вносит существенного вклада в дозу внутреннего облучения человека.

6.1.3. Отбор проб осуществляют в местах производства, продажи и переработки продуктов или сырья для его изготовления. Отбор проб проводят после окончания радиоактивных выпадений.

6.1.4. Отбор проб в полевых условиях проводят одновременно с измерениями МЭД в НП и на молочной ферме. При наличии прибора спутникового определения координат определяют координаты места отбора пробы и регистрируют их в сопроводительном талоне пробы.

6.1.5. Все бригады, отбирающие пробы, должны быть снабжены одинаковыми инструкциями относительно методов отбора, способов консервации, маркировки и описания проб. Сопроводительный талон к пробе заполняют на месте отбора пробы. В качестве комментария следует записывать дополнительную информацию, которая может быть полезна для последующей интерпретации результатов (например, сведения об осадках в период прохождения радиоактивного облака, условия содержания скота – пастбищное или стойловое, используемые корма, даты начала выпаса, место выпаса скота и пр.).

6.2. Требования к отбору проб молока

6.2.1. При планировании действий по предупреждению и ликвидации ЧС необходимо заранее определить, какие лаборатории будут осуществлять радиационный контроль, какие территории они будут обслуживать измерениями, подготовить принципиальную схему отбора и доставки проб молока из НП. Выбор пунктов отбора в условиях аварии осуществляют исходя из уровня МЭД в ареале НП и производительности молочной фермы – чем больше производительность фермы, тем скорее ее продукция должна быть взята под контроль.

6.2.2. Отбор проб обязателен в НП и на молочных фермах, расположенных на территориях, где мощность дозы гамма излучения после прекращения радиоактивных выпадений превышает 1 мкЗв/ч. Критерием окончания радиоактивных выпадений могут служить измерения МЭД, выполненные на уровнях 1—4 см и 1 м от поверхности земли. Эти измерения проводят с поглотительным экраном и без него. Если значения измерений, полученных без поглотительного экрана больше, чем с ним на уровне 1—4 см над поверхностью земли и одинаковы на уровне 1 м, то облако прошло над этой территорией, и имели место радиоактивные выпадения на поверхность земли.

На одной молочной ферме отбирают от одной до трех проб молока с фермы примерно из расчета 1 проба на 500 л молока. На пунктах сбора молока отбирают одну пробу из каждого НП, сдающего молоко. Контроль молока из частных хозяйств в НП производят, отбирая смешан-

ную пробу в пункте приема молока из частных хозяйств. Если в НП есть два или более стада коров, выпасаемых на разных пастбищах, то необходимо отобрать смешанные пробы молока от каждого стада. При невозможности получения смешанной пробы отбирают 2—3 пробы молока из частных хозяйств в разных концах НП. Пробы молока необходимо отбирать у каждого вида молочного скота, продукцию которого потребляет население (коровы, козы, кобылы и пр.).

6.2.3. Для грубой сортировки и отбраковки больших емкостей молока используют экспресс методы. При этом производят измерения МЭД на поверхности емкости (бидона, цистерны, танка), или поместив загерметизированный детектор в емкость с молоком. Сопоставив результаты нескольких измерений МЭД с последующим определением концентрации ^{131}I в молоке спектрометрическим методом, устанавливают контрольные уровни МЭД. Рекомендуется выбирать их такими, чтобы они по концентрации ^{131}I в молоке соответствовали: первый – «Уровню А» (1 кБк/кг) критерия для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов, а второй – «Уровню Б» (10 кБк/кг) (табл. 6.5, НРБ-99).

6.2.4. Повторные отборы проб молока рекомендуется проводить с интервалом 3—5 дней до полного распада ^{131}I. Уже по трем измерениям проб молока из НП можно оценить период снижения активности в молоке в два раза и прогнозировать его дальнейшее очищение. Простейший способ определения периода двукратного очищения состоит в графическом построении зависимости измеренной удельной активности от даты отбора пробы в полулогарифмическом масштабе и определении на нем интервала времени, за которое активность молока уменьшилась в два раза. В зависимости от условий радиоактивных выпадений, климата и времени года эффективный период двукратного очищения молока от ^{131}I лежит в пределах 3—6 сут., что соответствует биологическому периоду очищения пастбищной травы 5—20 сут.

6.2.5. Для оперативного получения информации об уровнях загрязнения молока на больших территориях рекомендуется отбирать пробы на молокоперерабатывающих предприятиях до этапа смешивания партий молока, привезенных из разных мест. Готовая продукция молокоперерабатывающего предприятия, поступающая в торговую сеть, является мерой контроля качества проведенных защитных мероприятий для городского населения и используется для оценки средней дозы облучения ЩЖ городских жителей.

6.2.6. Отбор пробы объемом 0,5 л производят чистым ковшом в чистую тару (стеклянную или полиэтиленовую бутыль), закупоривают,

маркируют и прикрепляют сопроводительный талон, в котором указывают место производства молока, дату и время отбора пробы, дату и время дойки, способ содержания коров (пастбищное или стойловое). После каждого отбора перед следующим использованием, ковш и воронку промывают чистой водой и высушивают с помощью бумажной салфетки. Необходимо тщательно следить, чтобы не произошло перекрестное загрязнение проб через предметы отбора проб. В прилож. 2 представлен образец сопроводительного талона, прикрепляемого к каждой отобранной пробе молока.

6.3. Требования к отбору проб пищевых продуктов

6.3.1. На ранней стадии аварии поверхностное загрязнение овощей и фруктов радиоактивными выпадениями может быть основной причиной запрета потребления этих продуктов. Отбор проб должен охватывать наиболее характерный для данной местности и времени года перечень продуктов. Пробы отбирают в поле, огороде, а также в магазинах, на овощных базах, на рынках. Первоочередной задачей является отбор проб из НП с наиболее высоким МЭД в воздухе. У растений отбирают только съедобную часть.

6.3.2. При отборе пробы в полевых условиях, необходимо найти открытую и ровную площадку. При наличии спутниковой системы определения координат, снять координаты места отбора пробы и зарегистрировать их в сопроводительном талоне или дать словесное описание места отбора. Избегать прилегающих к дорогам территорий. Отбирают пробу, достаточную для получения не менее 1 кг съедобной части. Необходимо выбирать спелые плоды. При отборе надземных частей растений оберегать их от загрязнения почвой. После отбора каждой пробы необходимо прополоскать инструменты чистой водой и высушить бумажными салфетками.

6.3.3. Пробу помещают в полиэтиленовый пакет, закупоривают, маркируют кодом пробы, заполняют сопроводительный талон (прилож. 3) и закрепляют его на пакете. Пробы доставляют в лабораторию радиационного контроля.

6.4. Требования к отбору проб воды

6.4.1. Вклад воды в дозу внутреннего облучения человека незначителен в условиях атмосферного переноса радиоактивных веществ, не смотря на это, необходимо осуществлять контроль открытых источников питьевой воды (открытых водоемов, колодцев, резервуаров, родников), а также водопроводной воды в первые дни после радиоактивного

загрязнения местности. При отборе пробы следует прополоскать контейнер небольшим количеством отбираемой воды, вылить эту воду и заполнить контейнер заново. Контейнер закупорить, промаркировать, заполнить сопроводительный талон (прилож. 3), прикрепить его к пробе. Доставить пробы в лабораторию радиационного контроля.

6.5. Требования к отбору проб травы

6.5.1. Трава на местах выпаса молочного скота является промежуточным звеном поступления радиоизотопов йода в организм человека. Информация о загрязнении пастбищной травы радиоизотопами йода является основанием для принятия решений о применении защитных мероприятий, поэтому желательно иметь несколько проб пастбищной травы. Отбор проб пастбищной травы производят после прохождения облака и окончательного формирования радиоактивного следа. Выбирают открытый ровный участок без камней, деревьев и других помех, на котором можно легко отобрать пробу. Вид и высота растений на участке для отбора проб кормов должны быть относительно однородны. Участки, прилегающие к дорогам, канавам и местам скопления сточных вод – не пригодны. Если в наличии имеется спутниковая система определения координат, снять и зарегистрировать координаты места отбора, в противном случае необходимо зафиксировать в сопроводительном талоне к пробе подробное описание расположения места отбора пробы.

6.5.2. Обозначить и измерить площадь участка, с которого проводится отбор пробы (не менее 1 $м^2$). Срезать траву на высоте примерно 1—2 см над поверхностью земли. Необходимо тщательно следить за тем, чтобы в пробу не попала почва. После отбора каждой пробы прополоскать инструменты чистой водой.

6.5.3. Поместить пробу в полиэтиленовый пакет и закрыть его. Промаркировать пакет, прикрепить к нему сопроводительный талон (прилож. 3). Организовать доставку проб в ближайшую радиологическую лабораторию для анализа пробы.

6.6. Требования к отбору проб воздуха

6.6.1. Отбор проб воздуха и осадков не является основной задачей органов Роспотребнадзора, однако, учитывая ценность каждого определения радионуклидного состава воздуха во время прохождения радиоактивного облака, следует проводить отбор проб воздуха и осадков при наличии в организациях Роспотребнадзора устройств отбора воздуха и планшетов для сбора осадков. Отбор проб с последующим определением их радионуклидного состава следует начать сразу после получения

информации об аварии. Отбор и измерения проб воздуха и осадков производят по методике Росгидромета.

6.6.2. Следует учитывать, что наиболее распространенные тканевые фильтры Петрянова улавливают лишь аэрозольную фракцию атмосферного йода. Суммарное содержание радиоизотопов йода в воздухе может в несколько раз превосходить измеренную концентрацию йода в аэрозольной фракции. Для улавливания радиоизотопов йода во всех химических формах используют дополнительно угольные фильтры для улавливания газовой фракции и фильтры, импрегнированные азотнокислым серебром или другим составом, улавливающим органически связанный йод.

7. Требования к измерениям содержания ^{131}I в продуктах питания и пробах окружающей среды

7.1. Прием и подготовка проб к измерениям в лаборатории

7.1.1. Пробы, доставленные в радиологическую лабораторию, необходимо отсортировать по уровню радиоактивного загрязнения. Для этого используют приборы с быстрым реагированием стрелочного или накопительного типа: переносной гамма спектрометр, или радиометр, регистрирующий излучение в диапазоне энергии ^{131}I (364,5 кэВ). Критерий сортировки выбирают путем сравнения измерений удельной активности нескольких проб на спектрометре и МЭД на поверхности тары этих же проб. В дальнейшем первичную сортировку проводят по уровню МЭД на поверхности тары. В зависимости от диапазона загрязнения проб устанавливают контрольные уровни МЭД таким образом, чтобы одно значение соответствовало концентрации ^{131}I в молоке 1 кБк/кг – «Уровню А» критерия для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов, ниже которого не требуется специальных мер защиты населения; второй – значению 10 кБк/кг, «Уровню Б», выше которого проведение защитных мероприятий обязательно (табл. 6.5, НРБ-99). Высокоактивные и низкоактивные пробы необходимо измерять с помощью различных приборов, расположенных в разных помещениях. При недостатке приборов и помещений очередность измерения проб устанавливают в порядке возрастания их активности.

7.1.2. Все сведения о поступающих в лабораторию пробах регистрируют в «Журнале регистрации проб» на основании данных сопроводительных документов. В прилож. 4 приведен образец заполнения журнала регистрации проб пищевых продуктов. Принципиальным является четкая регистрация вида пробы, места производства и отбора, время отбора пробы. Рекомендуется в журнале регистрации вести сквозную ну-

мерацию всех входящих проб независимо от метода их дальнейшей обработки и измерений.

Сопроводительные талоны к пробам остаются на хранении в архивах радиометрических лабораторий в течение трех лет.

7.1.3. Пробы продуктов размельчают, используя пестик и ступку, нож, ножницы, миксер и другие приспособления, доводя пробу до однородной массы. Пробы продуктов подвергают такой же обработке, как перед приготовлением пищи: корнеплоды отмывают от земли, удаляют кожуру; с овощей и фруктов удаляют несъедобные части и промывают.

Гомогенизированную массу или жидкую пробу помещают в контейнер для измерений. Измеряют массу или объем лабораторной пробы, записывают в журнал измерения проб (прилож. 5). Контейнер должен быть предварительно взвешен, и в журнал записан чистый вес пробы. Если пробу измеряют не сразу, добавляют щелочь, чтобы избежать улетучивания йода. Контейнер закрывают крышкой, наклеивают этикетку на пробу и надписывают на ней маркером код, объем или вес, дату отбора пробы.

7.1.4. Концентрацию ^{131}I в лабораторных пробах определяют спектрометрическим или радиохимическим методами. Метод радиометрии суммарной бета активности используют только при отсутствии возможности спектрометрических измерений. В этом случае необходимо прибор откалибровать по ^{131}I и выборочно проводить радиохимические анализы для определения полного радионуклидного состава пробы.

7.2. Требования к спектрометрическим измерениям проб

7.2.1. Корректное определение радионуклидов йода в пробе может быть сильно затруднено наличием других радионуклидов, аппаратурные спектры которых накладываются на спектры радионуклидов йода. Такая ситуация возникает при отсутствии спектрометра с полупроводниковым детектором (ППД) и необходимости применения спектрометра сцинтилляционного. Чтобы избежать ошибок измерений, в такой ситуации необходимо выделить йод из части проб радиохимическим методом.

7.2.2. Перед проведением серии измерений следует откалибровать спектрометр. Целесообразно сделать калибровку для двух геометрий измерений, соответствующих низко- и высокоактивным пробам, отсортированным грубым экспресс-методом по мощности дозы вблизи поверхности контейнера первичной пробы. Пробы высокой активности следует измерять в геометрии большего расстояния от детектора или уменьшить время измерений.

Для предотвращения загрязнения спектрометра и окружающего его пространства использовать защитную пленку и фильтровальную бумагу.

7.2.3. В журнале регистрации измерений на спектрометре необходимо фиксировать записи всех данных, относящихся к спектрометру, пробам и измерениям, которые могут оказаться полезными при интерпретации результатов измерений.

Всю информацию об отборе и измерениях проб следует заносить в компьютерную базу данных, вынося в наименование столбцов электронных таблиц заголовки столбцов таблиц из прилож. 2—7.

7.3. Требования к спектрометрической аппаратуре

7.3.1. Для проведения спектрометрических измерений необходимо иметь:

- детектор сцинтилляционный NaI(Tl) и/или полупроводниковый Ge (рекомендуется HPGe);
- анализатор, по крайней мере, одноканальный;
- свинцовый домик;
- сосуды для различных видов проб и геометрий измерений;
- сертифицированные референтные точечные источники.

Рекомендуется прямое подключение анализатора к компьютеру для оценки данных.

7.3.2. Анализ проб на содержание радионуклидов выполняют на метрологически аттестованных гамма-спектрометрах. У современных спектрометров минимальная детектируемая активность (МДА), как правило, не хуже 1—2 Бк на пробу, однако в аварийных условиях при высоких уровнях концентраций в пробах используют все наличные приборы, чувствительность которых позволяет регистрировать эти уровни. Время измерения: 100—1 000 с. Основная погрешность измерений не должна превышать ± 20 % (± (5—20) % в зависимости от геометрии, эффективности детектора, точности калибровки, уровня загрязнения, радионуклида и т. д.).

7.3.3. При наличии большого количества проб и при необходимости быстрого получения результатов стандартные аналитические процедуры заменяют методами быстрой оценки. При этом не проводят анализ проб с содержанием радионуклидов ниже МДА, поскольку последние не играют роли при решении вопроса о проведении защитных мероприятий. Используют метод «отбраковки проб с низкой или высокой скоростью счета», подразумевающий автоматическое прекращение измерения пробы, имеющей скорость счета ниже заранее установленного значения. Для проб с высокой скоростью счета этот метод позволяет системе детектирования автоматически останавливать счет при достижении достаточной статистики до окончания предварительно заданного времени счета.

7.3.4. Концентрацию радионуклида в пробе на момент ее отбора вычисляют по формуле:

$$C = \frac{N_{пр} - N_{ф}}{\varepsilon \cdot p_{\gamma} \cdot M} \cdot \exp[\frac{0,693 \cdot (t_2 - t_1)}{T_{1/2}}], \text{ где} \qquad (7.1)$$

$N_{пр}$ – скорость счета пробы в фотопике данной энергии, имп./с;

$N_{ф}$ – скорость счета фона в фотопике данной энергии, имп./с;

ε – эффективность фотопика детектора для данной энергии и данной геометрии, берется из свидетельства об аттестации калиброванного гамма-спектрометра;

p_{γ} – выход гамма-фотонов данной энергии на один распад радионуклида;

t_1 – дата, время отбора пробы, сут.;

t_2 – дата, время измерения пробы, сут.;

$T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида, сут.;

M – масса (объем) пробы, кг (л).

7.3.5. Если результат измерения пробы ниже минимально детектируемой активности (МДА), следует делать запись «< МДА». В общем случае при измерении пробы на спектрометрической или радиометрической аппаратуре, МДА определяют по формуле:

$$МДА = \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot N_{ф} \cdot t_{пр} \cdot \delta^2}}{2 \cdot t_{пр} \cdot \delta^2 \cdot M \cdot \mu} \text{ Бк/кг (Бк/л), где} \qquad (7.2)$$

$N_{ф}$ – скорость счета фона, имп./с (имп./мин);

$t_{пр}$ – время измерения пробы, с (мин);

δ – относительная погрешность, с которой необходимо провести измерение;

M – начальная масса пробы, кг (л);

μ - коэффициент концентрирования при подготовке пробы.

В формуле (7.2) предполагается, что время измерения фона – $t_{ф}$, значительно больше времени измерения пробы – $t_{пр}$.

Относительная погрешность измерения, связанная со статистическим характером радиоактивного распада определяют по формуле:

$$\delta = \frac{1}{N_{пр} - N_{ф}} \cdot \sqrt{\frac{N_{пр}}{t_{пр}} + \frac{N_{ф}}{t_{ф}}}, \text{ где} \qquad (7.3)$$

$N_{пр}$, $N_{ф}$ – скорости счета пробы и фона, имп./с (имп./мин);

$t_{пр}$, $t_{ф}$ – время измерения пробы и фона, с (мин).

7.4. Радиохимический анализ проб

7.4.1. Радиохимический анализ является высокочувствительным методом при определении малых концентраций радионуклидов – до 1—2 Бк на пробу. Радиохимический анализ используют для проверки спектрометрических измерений во избежание систематических ошибок, связанных с наложением гамма линий других нуклидов в окно измерений радиоизотопов йода. При использовании метода определения суммарной бета активности химическое выделение всех нуклидов в пробе необходимо для проведения корректной калибровки сложной смеси нуклидов. Так как в первом, и особенно во втором случае, необходимо выделение всех возможных радионуклидов в пробе, то в прилож. 6 представлена методика проведения радиохимического исследования молока с последовательным выделением радионуклидов йода, цезия, стронция и других радионуклидов, которые при аварии ядерного реактора могут поступить в молоко.

Радиохимическое определение содержания различных элементов в пробах производят по стандартным методикам с использованием метрологически аттестованной низкофоновой радиометрической аппаратуры.

8. Требования к измерениям содержания ^{131}I в щитовидной железе человека

8.1. Организация измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе человека

8.1.1. Цель индивидуальных измерений – выявление наиболее облученных лиц для последующего медицинского наблюдения и коррекция первых оценок ожидаемых доз облучения ЩЖ жителей, полученных по экологическим моделям. Если в НП были проведены защитные мероприятия, то результаты измерений содержания ^{131}I в ЩЖ жителей могут служить мерой их эффективности при сравнении с ожидаемой величиной активности ^{131}I в ЩЖ, рассчитанной по экологическим моделям.

8.1.2. Измерения жителей территорий, подвергшихся радиоактивным выпадениям, проводят в пунктах измерений, организованных на базе радиоизотопных лабораторий медицинских учреждений, научно-исследовательских институтов, которые оснащены оборудованием для диагностики функции ЩЖ с помощью ^{131}I, а также, в специально организованных временных пунктах измерений (стационарных или в передвижных), оборудованных измерительной аппаратурой.

Исходя из сложившейся радиационной обстановки, результатов измерений МЭД молока и продуктов питания в НП и его ареале, территориальная комиссия по ликвидации чрезвычайной ситуации принимает

решение о необходимости проведения измерений содержания ^{131}I в ЩЖ жителей. Необходимо оценить территорию, которая должна быть охвачена измерениями, численность проживающего населения, рассчитать, сколько потребуется бригад дозиметристов из двух человек, оценить наличие измерительных приборов и стационарных установок для измерения ^{131}I в ЩЖ, распределить территории охвата наличными приборами и персоналом. Рекомендуется организовать приезд части населения пострадавших территорий в радиоизотопные лаборатории городских больниц, и организовать выездные бригады для жителей в НП на радиоактивно загрязненной территории. Следует иметь в виду, что бригада из двух человек может максимально измерить не более 150 чел. за смену работы (реальное число зависит от многих обстоятельств и трудно предсказуемо). При ограниченном числе измерительных приборов и больших масштабах аварии следует предусмотреть возможность организации работы в две смены.

8.1.3. Измерения жителей на содержание радионуклидов йода в ЩЖ начинают не ранее, чем через одни сутки после выхода человека из зоны радиоактивных выпадений, или прохода радиоактивного облака через НП. Продолжительность периода обследования жителей – 2—4 нед., в зависимости от тяжести аварии.

8.1.4. Перед началом массовых измерений жителей необходимо провести калибровку всех приборов, разработать единый протокол измерений и записей результатов, обучить персонал и снабдить инструкциями по работе с приборами. Следует также проинструктировать персонал по вопросам проведения измерений и опроса жителей, а также снабдить журналом с единой для всех бригад формой записей результатов измерений и информации об обследуемом человеке (прилож. 7, 8). При подготовке инструкций следует использовать техническое описание конкретного прибора и материалы настоящих указаний.

Каждую серию измерений персонал начинает с регистрации в журнале даты, места проведения измерений, типа и номера прибора, коэффициента калибровки прибора, даты калибровки, фона прибора в рабочем помещении, Ф. И. О. оператора.

8.1.5. Во время выездных работ необходимо предусмотреть порядок периодической проверки стабильности работы и калибровки приборов квалифицированным персоналом, порядок ежедневной сдачи результатов измерений ответственному лицу.

8.1.6. При проведении измерений на загрязненной территории, необходимо выбрать помещение с наименьшим гамма фоном: каменное здание, не первый этаж, расположить аппаратуру подальше от окон.

8.2. Требования к аппаратуре для радиометрии щитовидной железы

8.2.1. Установка для измерения содержания ^{131}I в ЩЖ человека содержит следующие компоненты:

- сцинтилляционный детектор на основе кристалла NaI(Tl);
- анализатор импульсов одно- или многоканальный;
- свинцовый коллиматор толщиной не менее 10 мм, головка детектора заглублена не менее, чем на 100 мм внутрь коллиматора;
- штатив для фиксации детектора в удобном для измерений положении.

8.2.2. Прибор необходимо откалибровать на измерение ^{131}I в ЩЖ с помощью тканеэквивалентного фантома шеи и 20 мл сертифицированного раствора ^{131}I во флаконе, помещенном внутрь фантома. Расстояние от передней поверхности фантома такое же, как при измерении пациента. При отсутствии фантома шеи калибровку производить с помощью двух 20-миллилитровых флаконов, скрепленных вместе на расстоянии 10 мм друг от друга, наполненных по 10 мл сертифицированного раствора ^{131}I. В аварийной ситуации для оперативной калибровки аппаратуры можно использовать ^{131}I, поставляемый в радиодиагностические лаборатории областных больниц.

При отсутствии ^{131}I, а также в связи с его относительно быстрым распадом, возможно и даже целесообразно, использовать раствор, содержащий долгоживущий нуклид ^{133}Ba (356 кэВ, выход 62,6 %). Оба флакона жестко крепятся к деревянной доске толщиной 10 мм. Измерения эталона производят со стороны доски, перпендикулярно доске, ориентируясь на середину крепления флаконов, на том же расстоянии как при измерениях человека. Каждый прибор для контроля стабильности работы аппаратуры снабжают собственным эталоном ^{131}I, на котором записаны активность и дата изготовления.

Аппаратуру настраивают на энергоселективный режим работы с окном регистрации энергии излучения ^{131}I – 364,5 кэВ.

8.2.3. В случае необходимости масштабного обследования населения на содержание ^{131}I в ЩЖ, при отсутствии нужного количества переносных спектрометров допускается использование переносных или транспортабельных радиометров гамма-излучения при условии выполнения общих требований к измерениям содержания ^{131}I в ЩЖ. При использовании радиометра рекомендуется провести проверку определения его коэффициента калибровки путем измерения содержания ^{131}I в ЩЖ нескольких человек с помощью радиометра и сертифицированного спектрометра или на стационарной диагностической установке.

8.3. Требования к измерениям и оценке содержания ^{131}I в щитовидной железе человека

8.3.1. Перед проведением измерения необходимо контролировать отсутствие поверхностного загрязнения кожных покровов и одежды измеряемых лиц с использованием бета-счетчика. Желательно совмещение пункта измерения с пунктом санитарной обработки, где пострадавшие могут помыться и заменить одежду на чистую. При невозможности такой организации, пациенты должны быть предупреждены о необходимости этих процедур перед измерениями. Перед измерением пациент снимает верхнюю одежду, уличную обувь оставляет за пределами измерительной комнаты. Контроль чистоты кожных покровов проводят путем протирания шеи ватным тампоном, смоченным разведенным спиртом, с последующим измерением тампона чувствительным прибором (радиометром, дозиметром гамма-излучения).

8.3.2. Измерение содержания ^{131}I в организме сидящего человека проводят в двух позициях детектора: перпендикулярно передней поверхности шеи на фиксированном расстоянии 10—13 см от шеи до детектора и перпендикулярно предплечью отведенной в сторону руки или перпендикулярно бедру чуть выше колена, на таком же фиксированном расстоянии. При проведении измерений на стационарной диагностической аппаратуре измеряют бедро, как это установлено в методике диагностического обследования ЩЖ пациентов с введением ^{131}I. Измерение предплечья предпочтительнее в тех случаях, когда есть вероятность поверхностного загрязнения человека и его одежды. Длительность измерения не менее 60 с, в зависимости от уровня активности в ЩЖ измеряемых людей, количества обследуемых.

8.3.3. Серию измерений населения начинают с измерения фона прибора и контрольного источника в точке измерения человека. Через каждый час работы проводят повторные измерения фона и источника. Во время измерения в помещении находится только один пациент.

8.3.4. Всю паспортную информацию об измеряемом человеке (Ф., И., О., дата рождения, место жительства), результаты измерения и расчета содержания ^{131}I в ЩЖ записывают в журнал измерений (прилож. 7). Проводят опрос пациента о местах его пребывания, передвижениях и питании в период аварии. Вопросы модифицируют в зависимости от особенностей аварии: географического расположения пострадавшей территории, образа жизни населения, времени года, проведенных защитных мероприятий. Примерный перечень вопросов приведен в прилож. 8.

8.3.5. В первые часы и дни после ингаляционного поступления в ЩЖ человека кроме ^{131}I могут присутствовать другие короткоживущие

изотопы йода: ^{132}I ($T_{1/2}$ = 2,3 ч), ^{133}I ($T_{1/2}$ = 20,8 ч), ^{135}I ($T_{1/2}$ = 6,6 ч). Пополнение содержания ^{132}I происходит за счет распада ^{132}Te ($T_{1/2}$ = 78 ч), осевшего в легких. Хотя основная доза облучения ЩЖ человека формируется за счет излучения ^{131}I, измерения всех радионуклидов йода спектрометрическим методом крайне важны для корректной оценки полной дозы облучения ЩЖ. Для этой цели требуется полупроводниковый Ge детектор с хорошим разрешением. При использовании сцинтилляционного детектора происходит перекрывание энергетических линий различных радионуклидов, и расшифровка таких спектров весьма сложна.

Спектр излучения радионуклидов в ЩЖ человека снимают в положении детектора у шеи и над предплечьем или бедром, согласно описанной выше методике. Следует повторно измерять тех же людей через 1—3 дня, так как временные изменения спектров используются для количественной оценки содержания радионуклидов в ЩЖ. Расшифровка спектров раннего периода не является задачей группы, проводящей мониторинг, она требует высокой квалификации специалиста и будет произведена позднее. Информацию о наличии таких измерений следует передать в комиссию по ликвидации последствий ЧС.

8.3.6. Активность ^{131}I в ЩЖ по результатам измерений шеи и бедра (или предплечья) вычисляют по формуле:

$$A = K(u)\cdot[(N_1 - F) - b\cdot(N_2 - F)]\text{, кБк, где} \qquad (8.1)$$

N_1 – показания прибора над шеей, имп./с;

N_2 – показания прибора над бедром (предплечьем), имп./с;

$K(u)$ – коэффициент калибровки, кБк (имп./с);

b – численный коэффициент, учитывающий геометрические соотношения при измерении шеи и бедра или предплечья, отн. ед. Соотношение шея/бедро для взрослых и подростков b = 0,9, для детей моложе 15 лет b = 1,0; соотношение шея/предплечье для всех возрастов b = 1,0;

F – фон прибора в отсутствии человека, имп./с;

u – возраст пациента, лет.

При использовании диагностических приборов и спектрометров, в которых фон вычитается автоматически по результату его первого измерения, формула принимает вид:

$$G = K(u)\cdot[N_1 - b\cdot N_2]\text{, кБк} \qquad (8.2)$$

Формула (8.2) применима также для случаев, когда значения N_1 и N_2 более чем в два раза превышают величину фона.

8.3.7. Коэффициент калибровки $K(u)$ прибора, незначительно изменяется с возрастом, если расстояние от детектора до поверхности шеи

равно или превышает 10 см. В этом случае $K(u)$ можно считать постоянной величиной для всех возрастов, которая определяется геометрией измерения (расстояние от поверхности шеи до сцинтилляционного кристалла, размером кристалла, величиной заглубления в коллиматоре, параметрами коллиматора). При меньших расстояниях требуется дополнительная калибровка прибора в зависимости от возраста (антропометрических параметров измеряемого человека).

8.3.8. Погрешность (среднеквадратичное отклонение) оценки содержания ^{131}I в ЩЖ определяют по формуле:

$$\sigma_G = \sqrt{K^2 \cdot (\sigma_{N_1}^2 + b^2 \cdot \sigma_{N_2}^2 + N_2^2 \cdot \sigma_b^2) + \sigma_K^2 \cdot (N_1 - b \cdot N_2)^2}\text{, где} \qquad (8.3)$$

σ_{Ni} (i = 1, 2) – статистические погрешности результатов измерений:

$$\sigma_{N_i} = \sqrt{\frac{N_i}{t_i}} \qquad (8.4)$$

t_i – длительность измерения, с;

σ_K – погрешность коэффициента калибровки определяется собственно погрешностью измерения прибора, которая для современных приборов не более 3—5 % при 95 % доверительной вероятности, погрешностью эталонного источника – 5 %; вариабельностью анатомических параметров человека и неточностью установки прибора – 10—15 %. При расстоянии от кристалла до поверхности шеи не менее 10 см суммарная погрешность составляет $\sigma_K = 0{,}15 \cdot K$;

$\sigma_b = 0{,}05$ – погрешность оценки параметра «b».

Формула (8.3) предполагает, что погрешность измерения фона пренебрежимо мала по сравнению с погрешностью измерений N_1 и N_2.

Результаты определения содержания ^{131}I в ЩЖ считаются достоверными с 5 % уровнем значимости, когда:

$$G \geq 1{,}64 \cdot \sigma_G \qquad (8.5)$$

Если условие (8.5) не выполняется, в журнал записывается результат: «меньше МДА», где МДА – минимально детектируемая активность метода, вычисляется как:

$$\text{МДА} = 1{,}64 \cdot \sigma_G \qquad (8.6)$$

9. Безопасность персонала

9.1. Персонал, занятый в отборе проб на загрязненной территории, может получить дополнительное внешнее облучение и поверхностное загрязнение, о чем он должен быть предупрежден и проинструктирован

о мерах безопасности. Руководитель аварийными работами принимает решение о необходимости применения мер индивидуальной защиты: защитной одежды для полевых работ (резиновые сапоги, рабочий халат или комбинезон, головной убор, резиновые перчатки), респираторов в случае ингаляционной опасности, приеме препаратов стабильного йода для защиты ЩЖ от радиоактивных изотопов йода. При выборе мер защиты необходимо учитывать психологический эффект, который производит вид человека в спецодежде и респираторе на местное население, проживающее на загрязненной территории.

Для работы в полевых условиях персонал снабжают прямопоказывающим дозиметром, с помощью которого они контролируют время своего пребывания в местах высокого локального загрязнения и получают информацию о мощности дозы гамма-излучения на местности.

По возвращении с полевых работ до входа в лабораторию необходимо сменить обувь и рабочую одежду на чистую, помыть руки и лицо в санпропускнике или в другом отведенном месте, проверить чистоту кожных покровов бета счетчиком.

9.2. Маловероятно, чтобы количество ^{131}I на рабочем месте при измерении проб в лаборатории превысило величину десяти минимально значимых активностей (МЗА) – 10^7 Бк (НРБ-99, табл. П-4, ОСПОРБ-99, табл. 3.8.1) – количества, выше которого требуется выполнение требований к обеспечению радиационной безопасности по III классу работ. Работу с загрязненными пробами выполняют в рабочей одежде (халат, тапки, резиновые перчатки). Первичную сортировку доставленных проб и подготовку их к измерениям необходимо проводить в отдельной комнате, используя при работе поддоны, пластиковую пленку, фильтровальную бумагу для предотвращения загрязнения рабочих поверхностей. Необходимо минимизировать время нахождения сотрудников в помещении, куда доставляют пробы и где они хранятся до измерений. В комнате измерений должно быть минимальное количество проб, подготовленных к измерениям. Для предохранения случайного загрязнения детектора рекомендуется дополнительно закрыть его полиэтиленовой пленкой. В конце рабочего дня заменяют сменные покрытия и проводят контроль загрязнения рабочих поверхностей, а также кожных покровов и одежды персонала.

9.3. Каждого участника аварийных работ, независимо от места работы (в полевых условиях, в лаборатории, при измерении жителей на внутреннее содержание радионуклидов) необходимо обеспечить индивидуальным дозиметром (ТЛД или накопительного типа).

10. Первичный анализ и представление результатов

10.1. Лаборатория радиационного контроля с установленной периодичностью передает информацию о результатах проведенных исследований в вышестоящие организации. Лаборатории, привлеченные к аварийным работам, передают факсом результаты измерений проб в службу Роспотребнадзора (Управление по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по территории) в виде копий соответствующих листов журнала регистрации и журнала измерений.

10.2. Управление по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека анализирует полученную информацию из привлеченных лабораторий и собственные данные и готовит справку для вышестоящих органов. Цель анализа результатов лабораторных и полевых исследований – выявление и географическое выделение территорий наибольшего радиоактивного загрязнения, где необходимо в первую очередь принимать меры защиты населения и проводить дополнительные исследования. Справка передается в вышестоящие органы по установленному графику и оговоренными техническими средствами (электронной почтой, факсом, с курьером).

В справке необходимо представить сведения об объеме проделанной работы: количество измерений МЭД, перечень и число измеренных проб разного вида, территории отбора проб и измерений МЭД. В зависимости от особенностей аварии для разных локализаций (НП, территория местной администрации, территория района или части района) представляют число измерений и средние значения МЭД и удельной активности отдельных видов проб, среднеквадратичное отклонение и диапазон значений измеренных величин на данной территории. Представляют перечень НП, в которых измерения МЭД находятся в выделенных диапазонах значений; перечень НП, в которых концентрация ^{131}I в пищевых продуктах местного производства превышает 1 кБк/кг («Уровень А» табл. 6.5, НРБ-99), но ниже 10 кБк/кг («Уровень Б» табл. 6.5, НРБ-99); перечень НП, где уровень загрязнения продуктов превышает 10 кБк/кг; представляют перечень продуктов, в которых обнаружено превышение концентрации радиоизотопов йода выше установленных уровней вмешательства.

10.3. Результаты измерений местных жителей на содержание ^{131}I в ЩЖ представляют в виде средних значений со среднеквадратичным отклонением, числом измерений и диапазоном измеренных активностей для отдельного НП или выделенной территории.

10.4. Результаты серии m измерений какого-либо вида (A_n) (пробы пищевого продукта, МЭД, содержание ^{131}I в ЩЖ человека) представляют как среднее арифметическое значение $\overline{A}$ со среднеквадратичной погрешностью среднего (S_A) с использованием следующих формул:

$$\overline{A} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} A_i \qquad (10.1)$$

$$S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(A_i - \overline{A})^2}{m \cdot (m-1)}}, \qquad (10.2)$$

при этом необходимо указать число выполненных измерений m.

Если активность пробы меньше МДА, при вычислении среднего значения считать ее величиной, равной половине МДА.

11. Общие требования к аппаратурному и метрологическому обеспечению измерений при проведении радиационного мониторинга изотопов йода

11.1. Аппаратура для проведения измерений при радиационном мониторинге (контроле) должна соответствовать требованиям ГОСТ 29074—91. «Аппаратура контроля радиационной обстановки» и должна быть внесена в государственный реестр средств измерений РФ. Все средства измерений подлежат метрологической аттестации (поверке) с выдачей свидетельства установленного образца. Методики выполнения измерений (МВИ) должны быть аттестованы и согласованы с Госстандартом России в установленном порядке.

11.2. Требования к аппаратуре и методикам измерений, используемой для мониторинга радиоизотопов йода в условиях радиационной аварии, представлены в табл. 11.1. Требования установлены, исходя из установленных критериев принятия решений о введении защитных мероприятий для населения на раннем этапе аварии (раздел 6 НРБ-99). Используемая на раннем этапе аварии аппаратура должна обеспечивать надежные измерения образцов пищевых продуктов на уровне не ниже 0,2 от критерия для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов при относительно коротком времени измерения пробы. В дальнейшем, при нормализации радиационной обстановки, требования к чувствительности аппаратуры повышаются, ограничения на длительность измерений не требуется.

Современные спектрометры излучения человека позволяют измерять 30—100 Бк ^{131}I в ЩЖ человека за время измерения 3 мин. Однако в аварийных условиях для целей определения среднего уровня облучения жителей НП и выявления наиболее облученных лиц при массовых обследованиях населения такая точность является излишней.

Таблица 11.1

Требования к аппаратуре, используемой для мониторинга радиоизотопов йода в условиях радиационной аварии

Назначение	Тип прибора	Характеристики метода
Измерение гамма спектров проб неизвестного радионуклидного состава	Гамма-спектрометр с полупроводниковым детектором	Диапазон энергий не меньше 0,05—3,00 МэВ; энергетическое разрешение по ^{60}Co не хуже 2 кэВ; эффективность регистрации по пику ^{60}Co не меньше 25 % от эффективности 3″ кристалла NaI (Nl)
Контроль и бракераж продуктов питания на раннем этапе аварии	Гамма-спектрометр или гамма-радиометр со сцинтилляционным детектором, бета-спектрометр, бета-радиометр	МДА не хуже 200 Бк/кг при погрешности ± 20 %, P = 0,95, при времени измерения не более 300 с
Контроль продуктов питания на среднем этапе аварии	Гамма-спектрометр или гамма-радиометр со сцинтилляционным детектором	МДА не хуже 10 Бк/кг при погрешности ± 20 %, P = 0,95
Определение активности радионуклидов, выделенных радиохимическим методом	Бета-радиометр	МДА не хуже 1 Бк на пробу, погрешность ± 20 %, P = 0,95
Измерение содержания радионуклидов йода в ЩЖ человека	Гамма-спектрометр или гамма-радиометр со сцинтилляционным детектором	МДА не хуже 1 кБк в ЩЖ, при погрешности не более ± 30 %, P = 0,95, за время измерения 100 с
Измерение мощности дозы в воздухе	Измеритель мощности амбиентной дозы	Основная погрешность не хуже 20 %; энергетическая зависимость относительно ^{137}Cs не более ± 25 % в диапазоне энергий от 20 до 3 000 кэВ; диапазон измерений от 0,1 мкЗв/ч до 1 мЗв/ч

Список использованной методической и научной литературы

1. МУ 2.6.1.2153—06 «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем».

2. МУ 2.6.1.1000—00 «Реконструкция дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г.».

3. МР «Спектрометрические измерения содержания гамма-излучающих радионуклидов в пробах почвы, продукции растениеводства и животноводства». М., 1994.

4. МИ 2143—91 «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометре». ВНИИФТРИ, 1991.

5. Методика измерения активности гамма-излучающих радионуклидов в источниках или активности проб, содержащих смесь радионуклидов, с использованием аттестованного гамма-спектрометра. Методика выполнения измерений МВИ 4/86.

6. НП-005—98 «Положение о порядке объявления аварийной обстановки, оперативной передачи информации и организации экстренной помощи атомным станциям в случае радиационно-опасных ситуаций».

7. Методика подготовки к реагированию на ядерные или радиационные аварии. IAEA-TECDOC-953/R. МАГАТЭ, 1998.

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

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

10. Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection Safety Guide. Safety Standards Series No. RS-G-1.8, 2005.

11. Ильин Л. А., Архангельская Г. В., Константинов Ю. О., Лихтарев И. А. Радиоактивный йод в проблеме радиационной безопасности. М.: Атомиздат, 1972.

12. Стыро Б. И., Недвецкайте Т. Н., Филистович В. И. Изотопы йода и радиационная безопасность. С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992.

13. ICRP Publication 56. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. Annals of the ICRP V.20, 1989.

14. МУ «Руководство по проведению радиометрического обследования территории и отбору проб объектов окружающей среды в начальный период радиационной аварии». Обнинск: Росгидромед, 1998.

15. Измерение активности радионуклидов: Справочное пособие. Под редакцией Ю. В. Тарбеева. Л.: ВНИИМ, 1997. 397 с.

16. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. М.: Минздрав СССР, 1980. 336 с.

Приложение 1

Свойства радиоизотопов йода при миграции в природе и при поступлении в организм человека

При организации мониторинга радиоизотопов йода необходимо учитывать следующее.

1. Повышенное внимание к радиоизотопам йода обусловлено тем, что они:

• образуются в больших количествах в процессе цепной реакции (управляемой или неуправляемой);

• обладают высокой летучестью, вследствие чего поступают в атмосферу в виде газов и аэрозолей и в такой форме переносятся на большие расстояния;

• беспрепятственно мигрируют по биологической цепочке: атмосферные выпадения – растительность – молочный скот – молоко – человек.

2. Поступление радиоизотопов йода в организм человека происходит с вдыхаемым воздухом во время прохождения радиоактивного облака и в результате потребления загрязненного молока и поверхностно загрязненных продуктов питания. В организме человека они накапливаются в ЩЖ, откуда выводятся с эффективным периодом, определяемым по формуле:

$$T_{эф} = \frac{T_б \cdot T_р}{T_б + T_р}, \text{ где}$$

$T_б$ – биологический период полувыведения, изменяется с возрастом в среднем от 11,2 сут. у новорожденных до 80 сут. у взрослых [13], формируя высокую дозу облучения этого органа;

$T_р$ – период полураспада радиоизотопа йода.

3. Дети младшего возраста являются критической группой при аварийном облучении радиоизотопами йода.

4. Радиационные характеристики радиоизотопов йода представлены в табл. П-1.

Таблица П-1

Характеристики распада радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада	Основная энергия гамма излучения, МэВ	Среднее число фотонов на 1 распад, (Бк с)$^{-1}$
1	2	3	4
^{131m}Te	30 ч	0,774	0,381
^{132}Te	78,2 ч	0,228	0,882
^{123}I	13,2 ч	0,159	0,828

Продолжение табл. П-1

1	2	3	4
^{125}I	60,1 сут.	0,035	0,067
^{129}I	$1,57 \cdot 10^7$ лет	0,040	0,075
^{130}I	12,4 ч	0,669	0,961
^{131}I	8,04 сут.	0,365	0,812
^{132m}I	83,6 мин	0,773	0,132
^{132}I	2,30 ч	0,668	0,987
^{133}I	20,8 ч	0,530	0,863
^{134}I	52,6 мин	0,847	0,954
^{135}I	6,61 ч	1,260	0,286

5. Из всех радиоизотопов йода, полученных в результате деления тяжелых ядер, наибольшую опасность для человека представляет ^{131}I с периодом полураспада $T_{1/2} = 8,04$ сут., так как он формирует основную часть дозы в ЩЖ через продолжительное поступление радионуклидов с молоком. Короткоживущие изотопы йода, также как и ^{132}Te ($T_{1/2} = 78,2$ ч) – предшественник ^{132}I, опасны в первые часы после выброса из-за возможного ингаляционного поступления в организм человека, их вклад в пищевое формирование дозы ничтожен.

6. ^{132}Te распадается с полупериодом 78,2 ч, превращаясь в ^{132}I ($T_{1/2} = 2,3$ ч). Поступая в организм человека воздушным путем, он оседает в легких и становится источником ^{132}I внутри организма в течение нескольких дней. Доза в ЩЖ от ^{132}I, полученного из распада ^{132}Te в легких, может достигать 20 % ингаляционной дозы от ^{131}I. Если в первые часы после аварии использовались препараты стабильного йода для блокады поступления радиоизотопов йода в ЩЖ, то доза от ^{132}I легочного происхождения может быть сравнима с дозой от ^{131}I. Поступление этого радионуклида в организм с молоком не происходит.

7. Содержание долгоживущего ^{129}I ($T_{1/2} = 1,57 \cdot 10^7$ лет) в продуктах распада тяжелых ядер на несколько порядков меньше, чем ^{131}I. Поступление его в окружающую среду в случае аварии ядерного реактора или предприятия по переработке ядерного топлива несоизмеримо меньше, чем других радиоизотопов йода и не приведет к заметным радиологическим последствиям для человека.

8. ^{123}I и ^{125}I, нашедшие применение в медицине, производят и используют в таких количествах, что их поступление в атмосферу может привести лишь к локальной аварии, которая не рассматривается в рамках настоящего документа.

9. Около 30 % ^{131}I, поступившего в организм, фиксируется в ЩЖ, откуда выводится с эффективным полупериодом 7,3 сут. у взрослых и несколько меньшим у детей – до 4,8 сут. у новорожденных. Максимум накопления ^{131}I в ЩЖ наступает через 24—30 ч после однократного поступления радионуклида в организм. Доля короткоживущих радиоизотопов йода, достигающая ЩЖ, эффективный период выведения из железы и доза на единицу активности, поступившей в организм, значительно меньше вследствие их быстрого радиоактивного распада.

10. Если радиоактивные выпадения произошли в период пастбищного содержания молочно-продуктивного скота, то уже через несколько часов ^{131}I регистрируют в молоке. Максимум концентрации при продолжающемся выпасе скота наступает через 3—5 дней, а максимум содержания ^{131}I в ЩЖ жителей при постоянном потреблении загрязненного молока наступает через 6—10 дней после радиоактивных выпадений на пастбище.

11. Доза облучения ЩЖ человека зависит от динамики поступления радиоизотопов йода в организм человека, которая определяется характером радиоактивных выпадений, закономерностями миграции радионуклидов в природе и воздействием социальных факторов, таких как рацион питания человека, меры противорадиационной защиты и поведение индивидуума. По этой причине в рабочих журналах необходимо фиксировать всю доступную информацию, характеризующую динамику радиационной обстановки и формирование внутреннего облучения человека радионуклидами йода. Это: сведения о времени прохождения радиоактивного облака над контролируемой территорией; метеорологические условия во время радиоактивных выпадений; динамика мощности дозы гамма-излучения в воздухе; сведения о характере и времени проведения защитных мероприятий; информация о содержании молочного стада (пастбищное или стойловое, используемые корма, даты начала выпаса); прочие сведения, которые могут влиять на формирование внутреннего облучения.

Приложение 2

Образец сопроводительного талона, прикрепляемого к пробе молока

№ пробы _____
(присвоенный при регистрации в лаборатории)

Дата, время отбора проб: _____

Молоко: ☐ из коллективного хозяйства ☐ из личного хозяйства

☐ коровье ☐ козье ☐ другое:_____
(указать какое)

Объем пробы _____ [л]

Общий объем молока, который представляет проба: _____ [л]

Дата, время дойки: _____

Место производства: _____
(Район, поселковая администрация, населенный пункт, хозяйство, молочная ферма)

Место отбора пробы:_____

МЭД в месте производства молока:_____ мкЗв/ч; Дозиметр: _____
(если отбор произведен на молочной ферме)

В случае отбора проб у частных лиц:

Ф., И., О. лица, сдавшего пробу: _____

Содержание скота: ☐ Пастбищное ☐ Стойловое ☐ Другое: _____

Местоположение пастбища: _____
(описать)

Координаты (если имеются): широта _____ долгота _____

Дата выпадения осадков на пастбище:_____

ПРИМЕЧАНИЯ:

Ф., И., О. и подпись лица, отобравшего пробу: _____

_____

Пробу принял: _____
(Ф., И., О.)

Дата доставки пробы: _____ *Время доставки пробы:*_____

Подпись: _____

Приложение 3

Образец сопроводительного талона, прикрепляемого к пробе пищевых продуктов, воды, травы

№ пробы _____
(присвоенный при регистрации в лаборатории)

Дата, время отбора проб: _____

Наименование пробы: _____ Масса [г] _____ Обьем [л]
Площадь отбора пробы: _____ [см] на _____ [см]

Место производства: _____
(Район, поселковая администрация, населенный пункт, хозяйство, молочная ферма)

_____

Место отбора пробы: _____
В случае отбора проб у частных лиц:
Ф., И., О. лица, сдавшего пробу: _____

Координаты (если имеются): широта _____ долгота _____
МЭД в месте отбора на высоте 1 м: _____ мкЗв/ч;
(если отбор произведен в полевых условиях)

Дозиметр: _____ Серийный № _____

ПРИМЕЧАНИЯ:

Ф., И., О. и подпись лица, отобравшего пробу: _____
_____

Пробу принял: _____
(Ф., И., О.)

Дата доставки пробы: _____ Время доставки пробы: _____

Подпись: _____

Приложение 4

Журнал регистрации проб пищевых продуктов[1)]

№	Код пробы[2)]	Наименование пробы	Дата регистрации	Место отбора проб		Координаты[3)]		Объем (масса) пробы, л (кг)	Площадь отбора пробы, $см^2$	Дата отбора пробы	Время отбора пробы (для молока – время дойки)	Комментарии	Ф., И., О. принявшего пробу
				район	населенный пункт, хозяйство	широта	долгота						

[1)] На титульной странице журнала пишется фамилия и должность ответственного за прием и регистрацию проб.

[2)] Присваивается при приеме пробы. Рекомендуется использовать одну или две (при повторе) первые буквы названия пробы и порядковый номер регистрации поступившей пробы.

[3)] При наличии прибора спутниковой навигации.

Приложение 5

Журнал измерений пищевых продуктов[1)]

№	Код пробы[2)]	Наименование пробы	Дата, время отбора/дойки[3)], t_1	Масса (объем) пробы до обработки[4)], кг (л)	Масса (объем) пробы после обработки[4)], кг (л)	Дата, время измерения, t_2	Фон, имп./с[5)]	Длительность измерения, с	Счет пробы, имп./с[5)]	^{131}I в пробе на время отбора (ф-ла 7.1), Бк/кг (Бк/л)	Примечания

[1)] Журнал измерений заводят отдельно для каждого измерительного прибора. На первом листе пишут название, тип и № прибора, коэффициент и дату калибровки, сведения о контрольном источнике, результаты и дату его измерений на приборе.

[2)] Код пробы по журналу регистрации проб.

[3)] Для проб молока писать дату и время дойки, для всех прочих проб – дату отбора.

[4)] Если используемый метод требует особой обработки пробы.

[5)] Или другие единицы измерений, которые соответствуют шкале конкретного прибора.

Приложение 6

Методика радиохимического определения удельной активности радионуклидов йода, цезия, стронция, лантана и бария в пробах молока в условиях аварийного загрязнения местности

Характеристика методики

После радиоактивного загрязнения местности продуктами деления тяжелых ядер в молоке можно обнаружить целый ряд радионуклидов, способных преодолевать биологические барьеры и концентрироваться в молоке. Радиохимический метод позволяет сделать химическое выделение и количественно оценить содержание ^{131}I, ^{133}I, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{90}Y, ^{140}Ba, ^{140}La в одной пробе молока. В зависимости от поставленной задачи проводится выделение всех нуклидов или только радиоизотопов йода.

Чувствительность определения содержания радионуклидов – не менее 1,5 Бк на пробу при точности определения + 20 % (при бета-радиометрии препаратов на установках УМФ-1500, РКБ4-1еМ в течение 15 мин и при химическом выходе радионуклидов не менее 50 %). В отдаленный период времени после выпадений (1—1,5 мес.) удельную активность ^{131}I в пробах, как правило, можно определить только радиохимическим методом.

Принцип методики

Методика основана на экстракционном выделении йода, концентрировании цезия на осадке ферроцианида никеля с последующим выделением в виде сурьмянойодидной соли, последовательном выделении бария и стронция осаждением в виде сульфатов (после отделения стронция от макроколичеств кальция осаждением последнего ферроцианидом калия).

Реактивы.

Аммиак водный, 25 %-й водный раствор без CO_2	ГОСТ 24147—80
Кислота соляная, 6 н, 2 н	ГОСТ 3118—77
Кислота азотная, конц., 6 н	ГОСТ 44621—77
Кислота уксусная, лед.	ГОСТ 61—75
Кислота серная 5 %-я	ГОСТ 4204—77
Кислота щавелевая, нас. раствор	ГОСТ 22180—76
Стронций хлористый, водный раствор	ГОСТ 4140—55
Иттрий хлористый, водный раствор	МРТУ 6-09-3407—67
Цезий хлористый, водный раствор	16-2ТУ6-09-8778—74

Барий хлористый, водный раствор	ГОСТ 4108—65
Лантан хлористый, водный раствор	МРТУ 6-09-3409—67
Калий йодистый, водный раствор	ГОСТ 4232—74
Натрий йодистый, 0,1 н	ГОСТ 4328—77
Натрий хлорновато-кислый, 5 %-й раствор	МРТУ 6-09-3929—67
Натрия нитрит, кристаллический	ГОСТ 4197—66
Натрий сернисто-кислый, 9 %-й раствор	ГОСТ 195—77
Аммоний серно-кислый, 10 %-й раствор	ГОСТ 3769—78
Ферроцианид калия, 1 н раствор, нас. раствор	ГОСТ 4207—65
Сурьма треххлористая, 6,9 г $SbCl_3$ или 4,4 г Sb_2O_3 в *100 мл HCl* конц.	*ТУ 6-09-636—71*
Никель азотно-кислый, 0,1 н раствор	ГОСТ 4055—70
Серебро азотно-кислое, 1 % раствор	ГОСТ 1277—63
Комплексон III, динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты, 1 н раствор	ГОСТ 10652—73
Диэтиловый эфир (или четыреххлористый углерод)	ГОСТ 5826—68
Ацетон	ГОСТ 2603—79
Спирт этиловый	ГОСТ 183300—87

Подготовка пробы к полному анализу

Пробу молока помещают в фарфоровую чашку, вносят носители: растворы солей йода (100 мг по AgI), цезия (100 мг по $Cs_3Sb_2I_9$), стронция (100 мг по $SrSO_4$), бария (100 мг по $BaSO_4$), лантана (несколько капель). Добавляют сухой углекислый калий из расчета 5 г K_2CO_3 на 100 мл пробы. Содержимое чашки упаривают досуха на электроплитке и озоляют в муфельной печи при температуре 400 °С. Золу выщелачивают 2—3 раза горячей дистиллированной водой (300 мл). Вытяжки фильтруют, объединяют и нейтрализуют концентрированной HNO_3. Нерастворившийся осадок сохраняют.

Подготовка пробы к радиохимическому анализу ^{131}I

Принцип радиохимического определения ^{131}I в выпадениях, растительности, пищевых продуктах основан на окислении радионуклида до элементарного состояния, экстрагировании органическим растворителем, последующей реэкстракции водой и выделении в виде препарата иодистого серебра.

Элементарный йод уже при обычной температуре заметно летуч, поэтому при переведении проб в раствор следует обеспечить условия, при которых не происходит потерь вследствие улетучивания йода. Для

этого как сухое, так и мокрое озоление проб производят в щелочной среде, либо пробу растворяют непосредственно в щелочи.

В фарфоровую чашку отбирают определенный объем пробы молока, вносят 10 мг стабильного йода и сухой углекислый калий из расчета 5 г K_2CO_3 на 100 мл пробы. Содержимое чашки упаривают досуха под инфракрасной лампой или на электрической плитке и озоляют в муфельной печи при температуре около 400 °С. Золу выщелачивают три раза при нагревании дистиллированной водой (объем около 300 мл). Вытяжки фильтруют через бумажный фильтр и объединяют, затем осторожно нейтрализуют концентрированной азотной кислотой.

Ход анализа

Фильтрат помещают в делительную воронку, добавляют 100 мл диэтилового эфира (можно использовать четыреххлористый углерод или хлороформ), 1,5—2,0 г нитрита натрия и осторожно подкисляют раствор концентрированной HNO_3. После чего встряхивают в течение 1—2 мин и дают фазам расслоиться. Органическую фазу, содержащую экстракт йода, окрашенную в фиолетово-розоватый цвет, переливают в другую делительную воронку. Экстракцию повторяют до тех пор, пока органический слой не перестанет окрашиваться. Объединенные экстракты промывают 200 мл воды. В органической фазе можно определить гамма-спектрометрически активность ^{133}I по гамма-линии 0,53 Мэв (94 %) и ^{131}I – по гамма-линии 0,364 Мэв (81 %), а выход носителя – фотометрически при длине волны 540 мм (на ФЭК-56, светофильтр № 6).

При определении активности йода по бета-излучению к промытому экстракту приливают 100 мл воды и 9 %-й раствор Na_2SO_3 до обесцвечивания органической фазы при встряхивании. Водную фазу переливают в стакан, добавляют 6 н HNO_3 (3 мл кислоты на 20 мл реэкстракта) и кипятят для удаления SO_2. При появлении окраски свободного йода в растворе, сразу же добавляют 6 мл 1 %-го раствора нитрата серебра при энергичном перемешивании. Осадок отфильтровывают, промывают 0,5 н HNO_3, водой и ацетоном, высушивают, взвешивают и переносят на подложку из плексигласа. Измеряют скорость счета импульсов препарата ^{133}I ($T = 20,8$ ч) и ^{131}I ($T = 8,04$ сут.) несколько раз в течение 16 дней (до полного распада ^{133}I и возможности проверки химической чистоты ^{131}I). Различие в периодах полураспада позволяет определить концентрацию каждого радионуклида по изменению скоростей счета препарата со временем (2—3 измерения в день). По результатам измерений строят график в координатах «логарифм скорости счета – время». Если экспериментальные точки не укладываются на прямую, это означает, что в пре-

парате присутствуют два радионуклида йода. Через 5 суток после начала измерения препарата ^{133}I в нем практически полностью распадется и скорость счета будет определяться лишь присутствием более долгоживущего ^{131}I. С этого момента график скорости счета будет характеризоваться прямой линией с наклоном, соответствующим $T_{1/2}$ ^{131}I. Экстраполируя эту прямую до оси ординат, можно получить значение логарифма скорости счета и, следовательно, самой скорости счета ^{131}I. Вычитая ее из суммарной скорости счета препарата в начальный момент времени, определяют скорость счета ^{133}I.

Строят график распада изотопов йода. Разлагают кривую на составляющие, убеждаясь в радиохимической чистоте ^{133}I и ^{131}I и определяя их $T_{1/2}$. Вычисляют концентрации каждого из изотопов в момент отбора пробы или для молока во время надоя молока:

$$C_{133} = \frac{n_{133} \cdot K_{133} \cdot M}{V \cdot m} \cdot \exp(\lambda_{133} \cdot t), \text{ где} \qquad (П\ 7.1)$$

t – время, прошедшее от момента отбора (надоя) пробы до момента измерения;

n – скорость счета выделенного препарата за вычетом фона, имп./мин;

K – коэффициент связи, Бк/имп./мин;

V – объем пробы, л;

M – внесенное количество носителя, мг;

m – количество препарата на подложке, мг;

$\exp(\lambda \cdot t)$ – поправка, учитывающая распад изотопов йода за время, прошедшее с момента доения до момента измерения препарата йодида серебра.

$$C_{131} = \frac{n_{131} \cdot K_{131} \cdot M}{V \cdot m} \cdot \exp(\lambda_{131} \cdot t) \qquad (П\ 7.2)$$

Нерастворившийся после выщелачивания золы остаток объединяют с водной фазой, полученной после экстракции йода, и выпаривают до влажных солей. Добавляют 300—400 мл 4—6 н HCl и кипятят в течении 30 мин. Выщелачивание повторяют 2 раза. Нерастворившуюся часть отфильтровывают.

Фильтрат разбавляют водой до 400—500 мл, вносят 10—20 г щавелевой кислоты, нагревают до кипения и по каплям при перемешивании добавляют аммиак до $pH = 4$. Раствор с выпавшим осадком оксалатов кальция (Ba, Sr, Y, La) оставляют на 2 ч, после чего осадок отфильтровывают и 2—3 раза промывают 1 %-м раствором $H_2C_2O_4$.

К фильтрату приливают 0,1 М раствор нитрата никеля (10 мл) и осаждают ферроцианид никеля-цезия добавлением 5 мл 10 % водного раствора $K_4Fe(CN)_6$. Перемешивают, дают отстояться 20 мин и фильтруют через фильтр «синяя лента». При наличии гамма-спектрометра измеряют активность ^{134}Cs *по линии* 0,80 МэВ, а ^{137}Cs *по линии* 0,66 МэВ. Осадок с фильтром озоляют в муфеле при температуре 450 °С в течение 30 мин. Озоленный осадок растворяют в 100 мл 2 н HCl и выпаривают до объема 25—30 мл. Отфильтровывают через фильтр «синяя лента», в фильтрат добавляют 2 мл треххлористой сурьмы (раствор 7 г $SbCl_3$ в 100 мл концентрированной уксусной кислоты) и йодистый калий до появления красного осадка $Cs_3Sb_2I_9$. Осадку дают отстояться 20—30 мин, отфильтровывают, промывают ледяной уксусной кислотой до бесцветных промывных вод и два раза спиртом. Осадок сушат при температуре 110 °С в сушильном шкафу, взвешивают и переносят на подложку. Измеряют скорость счета импульсов препарата цезия без фильтра ($n_{134,\,137}$) и с фильтром 120 мг/см (0,5 n_{137}, z = 1,18 МэВ, 8 %). Вычисляют концентрацию ^{137}Cs в молоке:

$$C_{137} = \frac{n_{137} \cdot k_{137} \cdot M}{V \cdot 0,08 \cdot m} \qquad (П\ 7.3)$$

и концентрацию ^{134}Cs:

$$C_{134} = \frac{[(n_{134,137} - n_{137}) \cdot k_{134} - n_{137} \cdot k_{137}/0,08] \cdot M}{V \cdot m}, \text{ где} \qquad (П\ 7.4)$$

n – скорость счета за вычетом фона;

k – коэффициент связи;

V – объем пробы, л;

M – внесенное количество носителя, мг;

m – количество препарата на подложке, мг.

Осадок оксалатов кальция прокаливают при температуре 700—800 °С в течение 30 мин и растворяют в 2 н HCl. Из горячего раствора осаждают сульфат бария добавлением 10 мл 10 %-го раствора H_2SO_4. Записывают время осаждения. Осадку дают отстояться в течение 1 ч, затем отфильтровывают через фильтр «синяя лента» и промывают водой. Фильтр с осадком прокаливают при температуре 800 °С. Осадок взвешивают и переносят на подложку.

Измерение скорости счета импульсов препарата ^{140}Ba должно быть выполнено как можно скорее после осаждения $BaSO_4$, которое рассматривается как нулевое время накопления дочернего радионуклида ^{140}La.

Нарастание активности ^{140}La является почти линейным вначале и наблюдаемая скорость счета препарата ^{140}Ba (n_t) может быть исправлена к нулевому моменту времени накопления лантана по уравнению:

$$n_{0_{140}} = \frac{n_{t_{140}}}{1 + 0{,}015 \cdot t}, \text{ где} \qquad (П\ 7.5)$$

n_0 – первоначальная скорость счета импульсов за вычетом фона;

n_t – скорость счета через t часов без фона. Это уравнение справедливо для первых 5—7 ч после осаждения сульфата бария. Рассчитывают концентрацию ^{140}Ba в молоке в момент надоя, введя поправку на распад за время, прошедшее до измерения:

$$C_{140} = \frac{n_{140} \cdot k_{140} \cdot M}{V \cdot m \cdot \exp(-\lambda_{140} \cdot t)} \qquad (П\ 7.6)$$

Фильтрат, оставшийся после осаждения сульфата бария, нагревают и, добавляя безугольный аммиак, доводят pH до 8—9 в присутствии буферного раствора (хлористый аммоний + аммиак). Приливают горячий насыщенный раствор $K_4Fe(CN)_6$ из расчета 2,5 мл на каждые 100 мл пробы молока. Осадок $Ca_2Fe(CN)_6$ отфильтровывают и отбрасывают. В фильтрате осаждают карбонаты стронция и кальция прибавлением углекислого натрия или аммония, которые после фильтрования растворяют в 2 н HCl. К соляно-кислому раствору добавляют 10—15 мл раствора динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты и 10 мл раствора ацетатного буфера. Доводят pH до 4,5—5,0 раствором H_2SO_4, приливают 20—30 мл 20 % раствора $(NH)_2SO_4$, нагревают и постоянно перемешивая, добавляют равный объем спирта. Записывают время осаждения.

Скорость счета препарата стронция измеряют дважды: без фильтра ($n_{89,90}$) и с фильтром 100 мг/см ($0{,}5n_{90}$), в 16 раз уменьшающем скорость счета ^{90}Sr и только в 2 раза скорость счета ^{89}Sr. Вычитая из суммарной скорости счета скорость счета, обусловленную ^{89}Sr:

$$n_{90} = n_{89,90} - n_{89} \qquad (П\ 7.7)$$

определяют скорость счета импульсов, обусловленную $^{90}Sr(n_{90})$. Измерение скорости счета препарата стронция должно быть выполнено как можно скорее после осаждения $SrSO_4$ (не более 5—7 ч), которое рассматривается как нулевое время накопления дочернего радионуклида $^{90}Sr + {}^{90}Y$.

Более точно активность ^{90}Sr может быть определена измерением скорости счета препарата через несколько суток после осаждения сульфата стронция, когда в нем накопится заметное количество дочернего ^{90}Y.

При этом скорость счета импульсов ^{90}Y, соответствующая его равновесному содержанию, определяется по уравнению:

$$n_{90_Y} = \frac{n_t - n_0}{1 - \exp(-0,693 \cdot t/64)}, \text{ где} \qquad (П\ 7.8)$$

$n_0 = n_{89,90}$ без фона;

t – время после осаждения сульфата стронция, ч;

n_t – скорость счета препарата ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{90}Y в момент времени t за вычетом фона.

Вычисляют концентрацию ^{89}Sr и ^{90}Sr в молоке:

$$C_{89} = \frac{n_{89} \cdot k_{89} \cdot M}{V \cdot m} \qquad (П\ 7.9)$$

$$C_{90} = \frac{n_{90} \cdot k_{90} \cdot M}{V \cdot m} \qquad (П\ 7.10)$$

$$C_{90_Y} = \frac{n_{90_Y} \cdot k_{90_Y} \cdot M}{V \cdot m} \qquad (П\ 7.11)$$

Градуировка радиометрических установок

Градуировку измерительных установок для определения содержания долгоживущих радионуклидов $^{90}Sr + ^{90}Y$ и ^{137}Cs можно проводить по тонкому образцовому источнику из равновесного $^{90}Sr + ^{90}Y$ и ^{137}Cs.

При отсутствии образцовых источников и для короткоживущих радионуклидов можно использовать химически чистый хлористый калий, удельная бета-активность которого равна 0,0143 Бк/мг. KCl предварительно прокаливают при температуре 120—130 °С в течение 2 ч, затем растирают в фарфоровой ступке. Готовят серию образцовых источников из разных навесок KCl (от 50 до 100 мг) на таких же подложках, на каких были приготовлены препараты определяемых радионуклидов. По скоростям счета импульсов от образцовых источников разного веса рассчитывают коэффициенты связи:

$$K_{KCl} = \frac{0,0143 \cdot m}{n_{KCl}}, \text{ где} \qquad (П\ 7.12)$$

n_{KCl} – скорость счета импульсов от препарата KCl весом m, мг. Строят график зависимости коэффициента связи от массы эталона.

Зная коэффициент связи между скоростью счета импульсов KCl и его удельной активностью, можно определить коэффициент связи для любого радионуклида (K_x):

$$K_x = K_{KCl} \cdot \frac{P_{c,KCl} \cdot P_{n,KCl}}{P_{c_x} \cdot P_{n_x}} \qquad (П\ 7.13)$$

Коэффициент самопоглощения (P_c) определяют по формуле:

$$P_c = [1 - \exp(-0{,}693 \cdot d / \Delta_{1/2})] \cdot \frac{\Delta_{1/2}}{0{,}693 \cdot d}, \text{ где} \qquad (П\ 7.14)$$

d – толщина слоя исследуемого материала на подложке, мг/см^2;

$\Delta_{1/2}$ – слой половинного ослабления бета-частиц, мг/см; P_c можно определить по таблице П 2.1.

Поправку на поглощение бета-частиц в материале окошка счетчика определяют по формуле:

$$P_n = \exp(-0{,}693 \cdot h / \Delta_{1/2}), \text{ где} \qquad (П\ 7.15)$$

h – толщина материала окошка счетчика, мг/см^2.

Пример: Рассчитать коэффициент связи для препарата ^{131}I весом 50 мг (диаметр подложки 2,5 см^2), измеренного на установке УМФ-1500 (счетчик СБТ-13, h = 3 мг/см^2).

Спектр бета-излучения ^{131}I сложный, он характеризуется двумя основными энергиями – 0,608 МэВ (выход на 1 распад 87,2 %) и 0,335 МэВ (9,3 %). Этим энергиям соответствуют слои половинного ослабления 24,5 и 8,2 мг/см^2. Эффективный слой полуослабления бета-частиц ^{131}I равен:

$$\Delta_{1/2} = (24{,}5 \cdot 0{,}872 + 8{,}2 \cdot 0{,}093) = 22{,}1 \text{ мг/см}^2$$

Таблица П 2.1

Радионуклид	$\Delta_{1/2}$	Кол-во препарата на подложке, мг	d, мг/см^2	$d/\Delta_{1/2}$	P_C	P_n
^{40}K	81	50	20	0,25	0,919	0,975
^{131}I	22,1	50	20	0,90	0,744	0,910

Следовательно, коэффициент связи для препарата ^{131}I, весом 50 мг равен:

$$K_{131} = K_{KCl} \cdot \frac{0{,}919 \cdot 0{,}975}{0{,}744 \cdot 0{,}910} = 1{,}32 \cdot K_{KCl}$$

Приложение 7

Журнал измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе человека [1)]

№	Дата измерения	Адрес проживания	Ф., И., О.	Дата рождения	Масса тела, кг	Фон[2)]	Измерение ЩЖ	Измерение бедра (предплечье)[2,3)]	Длительность измерения, с	^{131}I в ЩЖ	Дополнительные сведения

[1)] Каждую серию измерений начинать с записи в журнале:
- дата измерений;
- место проведения измерений;
- тип и номер прибора;
- коэффициент калибровки прибора;
- дата калибровки;
- длительность измерений человека;
- фон прибора в рабочем помещении до начала измерений;
- Ф., И., О. оператора.

[2)] В зависимости от типа прибора написать единицы измерения.

[3)] Указать или бедро, или предплечье.

Приложение 8

Вопросы для уточнения динамики поступления радиоизотопов йода в организм человека

Перед началом измерений формулируется ряд вопросов к обследуемому человеку, которые направлены на прояснение динамики поступления радионуклидов йода в организм человека. В зависимости от особенностей аварии, времени года, местных условий жизни населения вопросы формулируются по разному, однако они должны включать следующие группы вопросов:

- личные данные: Ф., И., О, дата рождения, адрес постоянного проживания, вес, окружность талии, окружность шеи;
- сведения о времени и месте пребывания в зоне радиоактивного загрязнения: НП, время (даты, часы) приезда-отъезда на загрязненную территорию;
- среднее время пребывания на открытом воздухе и в помещении за сутки. Если поступление радионуклидов произошло только ингаляционным путем в течение короткого пребывания человека в зоне загрязнения может быть полезен опрос о почасовом поведении человека;
- сведения о потреблении загрязненного молока: пил ли молоко в дни после аварии. Какое молоко потреблял: коровье, козье, из личного хозяйства или с общественной молочной фермы, или магазинное. Среднесуточное потребление молока (л/сут.);
- сведения о защитных мероприятиях: даты, время, количество приема препаратов стабильного йода; дата прекращения потребления местного молока;
- сведения о содержании личного и общественного молочного скота, если авария произошла в вегетационный период (пастбищное или стойловое, даты начала выпаса);
- потребление поверхностно загрязненных овощей, фруктов, других продуктов.

За детей на вопросы отвечают родители.

При обследовании детей младше 1 года необходимо выяснить их рацион питания: сколько они потребляют материнского молока, сколько местного коровьего (или козьего, или другого натурального молока), сколько сухих молочных смесей. Кроме этого надо заполнить анкету на мать младенца.

Пример вопросника приведен ниже.

АНКЕТА **Дата:**

1. Ф., И., О. (полностью): .....
2. Дата рождения: .....3. Пол: .....
4. Адрес: Район: ..... Нас. пункт: .....
   Почтовый индекс: .....Улица: ..... дом: .....
5. Кем и где работаете: .....
6. Материал жилого дома: дерев., камен. (обвести) Этаж: .....
7. Вы работаете: в деревянном доме, каменном, на откр. воздухе (обвести)
8. Сколько времени вы проводили на открытом воздухе в дни аварии: __ час.
9. Даты отъезда из НП: с_____ по_____ Куда: .....
   с_____ по_____ Куда: .....
   с_____ по_____ Куда: .....
10. Прием препаратов стабильного йода: НЕТ/ДА (обвести) Дата, время: .....
    а) какой препарат: .....
    б) когда начали принимать: .....
    в) сколько дней принимали, в какие даты: .....
11. Пили ли вы молоко: ДА/НЕТ (обвести) коровье, козье (обвести)
12. Молоко было: 1) из частного хозяйства (собственное, от соседа, с рынка);
    2) из магазина (обвести)
13. Сколько молока вы выпивали за день:_____ стаканов;_____литров
14. Когда прекратили пить молоко в период после аварии: .....
15. Молочный скот из вашего хозяйства (НП) после аварии был:
    НА ПАСТБИЩЕ / НА СТОЙЛОВОМ содержании (подчеркнуть)
16. Употребляли ли вы овощи, фрукты местного производства: ДА/НЕТ
17. Ограничивали ли вы себя в потреблении местных продуктов: ДА/НЕТ
    а) да, во всех продуктах; б) в некоторых; в) нет, не ограничивал (обвести)

Дополнительные вопросы к ребенку младше 1 года

18. Потребление материнского молока ..... л/сут.
19. Потребление сухих молочных смесей.....л/сут.
20. Потребление молочных продуктов с детской молочной кухни ..... л/сут.

Ф., И., О. (разборчиво), принявшего анкету:

Мониторинг радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии

Методические указания
МУ 2.6.1.2396—08

Редакторы Е. В. Емельянова, Л. С. Кучурова
Технический редактор Е. В. Ломанова

Подписано в печать 30.09.09

Формат 60x88/16 Печ. л. 3,0

Тираж 500 экз. Заказ 59

Федеральная служба по надзору
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
127994, Москва, Вадковский пер., д. 18/20

Оригинал-макет подготовлен к печати и тиражирован
отделом издательского обеспечения
Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора
117105, Москва, Варшавское ш., 19а
Отделение реализации, тел./факс 952-50-89

gost.e-ecolog.ru