Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Реконструкция дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году

Методические указания
МУ 2.6.1.1000—00

Издание официальное

Минздрав России
Москва•2001

gost.e-ecolog.ru

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Реконструкция дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году

Методические указания
МУ 2.6.1.1000—00

ББК 51.26
Р36

Р36 **Реконструкция** дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году: Методические указания.—М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001.—62 с.

ISBN 5—7508—0297—3

1. Разработаны: Институтом радиационной гигиены МЗ РФ (директор – д. м. н., проф. Рамзаев П. В.): зав. отделом д. б. н. Балонов М. И., в. н. с., к. б. н. Звонова И. А., н. с. Братилова А. А., н. с. Власов А. Ю.; Медицинским радиологическим научным центром РАМН (директор – академик РАМН Цыб А. Ф.): зав. лаб., к. ф.-м. н. Питкевич В. А., в. н. с., д. т. н. Власов О. К., зав. лаб., к. б. н. Степаненко В. Ф., с. н. с. Шишканов Н. Г., с. н. с. Кондрашев Ф. Н.; с. н. с. Яськова Е. К., н. с. Щукина Н. В.; Государственным научным центром РФ – Институтом биофизики (директор – академик РАМН Ильин Л. А.): зав. лаб., д. т. н. Хрущ В. Т., в. н. с., к. т. н. Гаврилин Ю. И.; с. н. с., к. т. н. Шинкарев С. М.; НПО «Тайфун» Росгидромета (директор – проф. Орлянский А. Д.): зав. лаб. к. ф.-м. н. Махонько К. П., зав. отделом, к. ф.-м. н. Орлов М. Ю.; Российским научным центром рентгено-радиологии МЗ РФ (директор – академик АМН, проф. Харченко В. П.): в. н. с., к. ф.-м. н. Трушин В. И.; Институтом проблем безопасности развития атомной энергетики РАН (директор – проф. Большов Л. А.): с. н. с., к. ф.-м. н. Панченко С. В.; Брянским ОЦСЭН: главный врач Степаненко П. А., зав. отделом Шапошникова Е. Н.; Брянским онкологическим диспансером: зав. лабораторией Балева Г. Е.; Тульским ОЦСЭН: зам. главного врача Котик Д. С.; Тульской областной больницей: зав. отделением Гридасова С. А.; Орловским ОЦСЭН: зав. группой Потеев С. Н.; Орловским онкологическим диспансером: Сажнева В. П.; Орловской областной больницей: Митрохин М. А.; Калужским ОЦСЭН: зав. отделом Ткаченко Р. В., инж. Маленко Л. В.; Департаментом госсанэпиднадзора Минздрава РФ (руководитель – д. м. н. Иванов С. И.): зав. отделом Перминова Г. С.

2. Утверждены и введены в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации – Первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации 29 октября 2000 г.

3. Введены взамен методических указаний Минздрава СССР «Оценка поглощенной дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС», М., 1987, и методических указаний Госкомсанэпиднадзора России МУ 2.6.1.082—96 «Оценка дозы внутреннего облучения щитовидной железы иодом-131 по результатам определения содержания йода-129 в объектах окружающей среды».

4. Введены впервые.

ББК 51.26

© Минздрав России, 2001
© Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001

Содержание

1. Область применения 4
2. Нормативные ссылки 5
3. Общие требования 5
4. Требования к вычислению индивидуальной поглощенной дозы в щитовидной железе по результатам измерения в ней активности ^{131}I 9
5. Требования к вычислению средней дозы в щитовидной железе по результатам измерения содержания в ней ^{131}I у жителей населенного пункта 21
6. Требования к вычислению средней дозы в щитовидной железе по содержанию ^{131}I в молоке местного производства 24
7. Требования к вычислению средней дозы в щитовидной железе по плотности загрязнения местности ^{137}Cs 28
8. Требования к оценке индивидуализированной дозы в щитовидной железе по ее среднему значению для жителей населенного пункта 33
9. Требования к учету вклада короткоживущих радиоизотопов йода ^{132}I—^{135}I в дозу внутреннего облучения щитовидной железы 36
10. Требования к вычислению вклада поглощенной дозы в щитовидной железе в среднюю накопленную эффективную дозу у жителей населенного пункта 38
11. Требования к оценке погрешности определения индивидуальных и средних по населенному пункту доз внутреннего облучения щитовидной железы 39
Библиографический список 49
Приложение 1. Данные для реконструкции даты радиоактивных выпадений в десяти областях Российской Федерации после Чернобыльской аварии 50
Приложение 2. Время начала выпаса крупного рогатого скота в четырех областях России, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС (сутки после аварии на ЧАЭС) 56
Приложение 2а. Среднее время прекращения потребления молока местного производства жителями западных районов Брянской области (сутки после аварии на ЧАЭС) 60
Приложение 3. Специальные приемы расчета средней поглощенной дозы 61

УТВЕРЖДАЮ

Главный государственный санитарный врач Российской Федерации – Первый заместитель министра здравоохранения Российской Федерации

Г. Г. Онищенко

29 октября 2000 г.

Дата введения: с момента утверждения

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Реконструкция дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году

Методические указания
МУ 2.6.1.1000—00

Reconstruction of thyroid dose caused with incorporation of radioiodine in inhabitants of localities of the Russian Federation subjected to radioactive contamination due to the accident at the Chernobyl NPP in 1986

1. Область применения

1.1. Настоящие методические указания (далее – *указания*) определяют требования к исходным данным, а также процедуру реконструкции индивидуальной и средней поглощенной дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе (ЩЖ) жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г.

Значения дозы в ЩЖ определяют у жителей разных возрастных групп, проживающих в каждом населенном пункте загрязненной территории, для которого известна плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. или концентрация ^{131}I в молоке местного производства в мае 1986 г., с целью обоснования мер радиационной, медицинской и социальной защиты населения.

Значения дозы в ЩЖ могут также использоваться для прогноза коллективных медицинских последствий облучения населения вследствие Чернобыльской аварии и анализа данных о радиационно обусловленной заболеваемости щитовидной железы.

1.2. *Указания* предназначены для использования учреждениями и органами Минздрава Российской Федерации, а также РАМН, которые несут ответственность за выполнение дозиметрических расчетов в соответствии с требованиями данного документа. Результаты расчета, предназначенные для принятия решений о мерах защиты населения, должны быть согласованы с Минздравом Российской Федерации.

2. Нормативные ссылки

В настоящих *указаниях* использованы ссылки на следующие документы.

2.1. Закон Российской Федерации «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» от 15 мая 1991 г.

2.2. Нормы радиационной безопасности НРБ-99.

2.3. Методические указания МЗ СССР «Оценка поглощенной дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС», 1987, и Минздрава Российской Федерации МУ 2.6.1.579—96 «Реконструкция средней накопленной в 1986—1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году», 1997.

2.4. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению (РНКРЗ, 1995).

2.5. Публикации Международной Комиссии по радиологической защите №№ 56, 67 и 71.

2.6. Классификатор санитарно-гигиенических и эпидемиологических нормативных и методических документов, утвержденный Госкомсанэпиднадзором России от 09.04.93.

3. Общие требования

3.1. Методической основой реконструкции дозы в ЩЖ являются модели ее формирования у жителей территории Российской Фе-

дерации, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Параметры дозиметрических моделей для жителей разного возраста должны быть получены на основе результатов натурных радиационных измерений, а также данных о режимах выпаса молочного скота и потреблении молока местного производства, полученных в загрязненных областях России в различные сроки после аварии. Среди результатов измерений *приоритетными для определения поглощенной дозы внутреннего облучения являются данные* более 45 тысяч *измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе* у жителей четырех наиболее загрязненных областей России (Брянской, Тульской, Орловской и Калужской) и более 5 тысяч *измерений проб молока* местного производства в тех же областях, полученные в мае—начале июня 1986 г.

При наличии радиологических данных разных видов, которые могут быть использованы для реконструкции дозы в ЩЖ, последовательность их применения строится в зависимости от степени определенности результата. Измеренные значения содержания ^{131}I в щитовидной железе, наиболее тесно связанные с дозой ее внутреннего облучения, используют при расчете дозы в первую очередь. Во вторую очередь учитывают результаты измерения концентрации ^{131}I в молоке, потребляемом местными жителями. При отсутствии данных измерений содержания ^{131}I в организме человека и/или пробах молока дозу в щитовидной железе оценивают с помощью статистических моделей, связывающих дозу с уровнем радиоактивного загрязнения местности ^{137}Cs и основанных на результатах массовых радиационных измерений. Перенос параметров модели с одних территорий на другие, где количество выполненных измерений недостаточно для реконструкции дозы, осуществляют с учетом отношения активностей ^{131}I и ^{137}Cs в выпадениях, а также информации о развитии аварийной ситуации и принятии мер защиты населения.

3.2. При расчете доз облучения ЩЖ следует учитывать два основных пути поступления радиойода в организм – пищевой и ингаляционный. Поскольку основными исходными данными для расчета дозы в ЩЖ согласно настоящим *указаниям* являются результаты измерений активности ^{131}I в щитовидной железе жителей, тем самым учитываются оба основных пути поступления радионуклида в организм. Согласно данным радиационного мониторинга после Чернобыльской аварии, наибольшее количество радиойода поступило в организм жителей загрязненных территорий с молоком, а также другими пищевы-

ми продуктами (зеленые овощи и др.) вследствие поверхностного загрязнения растительности [1—4].

3.3. Согласно настоящим *указаниям* определяют дозу в ЩЖ излучения всех радиоизотопов йода, выброшенных в окружающую среду при аварии на Чернобыльской АЭС, в том числе дочерних продуктов, образовавшихся при распаде радиоизотопов теллура.

3.4. Базовой пространственной структурой для реконструкции дозы в ЩЖ является отдельный населенный пункт (НП) с окружающим его ареалом. В зависимости от источников потребления молока и молочных продуктов в мае 1986 г. в данных *указаниях* используется следующая градация населенных пунктов:

- село, поселок, деревня;
- город или поселок городского типа (ПГТ).

В рассматриваемый период сельское население преимущественно потребляло молоко, произведенное в частных хозяйствах. В города и ПГТ молоко и молочные продукты поставляли из общественных и частных хозяйств соответствующего административного района.

3.5. Согласно настоящим *указаниям*, дозу в ЩЖ рассчитывают за период с даты начала радиоактивных выпадений до 1 июля 1986 г., что захватывает период существования в окружающей среде всех радиологически значимых радиоизотопов йода. В данной методике выпадения рассматриваются как однократные.

3.6. Поглощенную дозу в ЩЖ рассчитывают согласно настоящим *указаниям* по фактическим материалам радиационного мониторинга в 1986—1999 гг. с учетом влияния мер радиационной защиты населения, в частности, запрета органами госсанэпиднадзора потребления пищевых продуктов местного производства, главным образом молочных продуктов, и поставками в детские учреждения и в торговую сеть радиационно-чистых пищевых продуктов.

3.7. В силу возрастных особенностей метаболизма радиойода и рациона питания доза внутреннего облучения щитовидной железы жителей населенного пункта радиоизотопами йода существенно зависит от возраста. В связи с этим в данных *указаниях* приведены требования к определению средней дозы в ЩЖ у лиц шести возрастных групп обоего пола, дозовые коэффициенты для которых установлены в Публикациях 56 [5], 67 МКРЗ [6]: 1 – до 1 года; 2 – 1—2 года; 3 – 2—7 лет; 4 – 7—12 лет; 5 – 12—17 лет и 6 – взрослые, старше 17 лет.

3.8. В качестве исходной информации для расчета дозы в ЩЖ у жителей данного НП необходимо использовать:

1 – дату начала и продолжительность радиоактивных выпадений в регионе, районе или НП;

2 – среднюю плотность загрязнения почвы на территории НП и в его ареале ^{137}Cs;

3 – соотношение ^{131}I и ^{137}Cs в составе радиоактивных выпадений в регионе;

4 – содержание ^{131}I в щитовидной железе жителей населенного пункта в мае—начале июня 1986 г.;

5 – среднюю удельную активность ^{131}I в молоке местного производства в мае—начале июня 1986 г.;

6 – дату начала выпаса молочного скота из частных и коллективных хозяйств в апреле—мае 1986 г.;

7 – в юго-западных районах Брянской области – дату прекращения потребления молока местного производства в населенных пунктах.

3.9. Официальные данные согласно п. п. 1, 2 и 3 параграфа 3.8 предоставлены Росгидрометом и содержатся в сборниках Росгидромета [7] и методических указаниях Минздрава РФ [8]. В том числе данные о времени радиоактивных выпадений в загрязненных районах десяти областей Российской Федерации представлены в прилож. 1 к настоящим *указаниям* в форме среднего интервала между моментом аварии на ЧАЭС (26.04.96, 1 ч) и моментами начала и окончания радиоактивных выпадений на территории района. Данные о содержании ^{131}I в щитовидной железе по п. 4 параграфа 3.8 представляют учреждения и органы Минздрава РФ и РАМН, располагающие соответствующими данными: СПНИИРГ МЗ РФ по Брянской, Тульской и Орловской областям и МРНЦ РАМН – по Калужской области. Данные о концентрации радионуклидов в молоке по п. 5 параграфа 3.8 предоставляют учреждения и местные органы госсанэпиднадзора МЗ РФ. Сведения о средних датах начала выпаса молочного скота в 1986 г. по п. 6 параграфа 3.8 и прекращения потребления молока местного производства в Брянской области по п. 7 параграфа 3.8 содержатся в прилож. 2 к настоящим *указаниям*.

3.10. Данные *указания* состоят из основной части и приложений. В основной части содержатся требования к исходным данным, необходимым для расчета дозы в ЩЖ для жителей Российской Федерации, и методики расчетов. Методики составлены и приводятся применительно к наличию в различных регионах разных наборов

данных радиационного мониторинга: содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей, содержания ^{131}I в молоке местного производства и радиоактивного загрязнения местности.

В прилож. 1 приведены сведения о датах радиоактивных выпадений на территории десяти областей Российской Федерации.

В прилож. 2 содержатся сведения, необходимые для определения параметров модели поступления ^{131}I в организм жителей четырех областей: Брянской, Тульской, Орловской и Калужской. В прилож. 2 представлены сведения о средних датах начала выпаса молочного скота в 1986 г. в районах четырех областей, полученные по данным опросов населения, преимущественно проведенных в 1986—1987 гг., данным архивных записей, или рассчитанные по агроклиматической модели, исходя из динамики погодных условий в 1986 году в рассматриваемых регионах. В прилож. 2а приведены сведения о датах прекращения потребления молока местного производства в западных районах Брянской области, оцененные по данным опросов населения.

В прилож. 3 представлены специальные методы вычисления среднего значения дозы в ЩЖ для случаев, когда у части жителей в НП измеренное содержание ^{131}I в ЩЖ было меньше минимально детектируемой активности (МДА) прибора.

3.11. В документе используются следующие радиометрические и дозиметрические величины и единицы их измерения в системе СИ:

Величина	Символ	Единицы СИ
Поглощенная доза в щитовидной железе	D_{th}	мГр
Эффективная доза	E	мЗв
Содержание ^{131}I в щитовидной железе	G	кБк
Поступление ^{131}I в организм	I	кБк
Скорость поступления ^{131}I в организм	i	кБк/сут
Концентрация ^{131}I в молоке	N_m	кБк/л
Поверхностная активность ^{137}Cs в почве	S_{137}	кБк/м^2

4. Требования к вычислению индивидуальной поглощенной дозы в щитовидной железе по результатам измерения в ней активности ^{131}I

4.1. Вычисление активности ^{131}I в щитовидной железе

4.1.1. Для лица, проживавшего в апреле—июне 1986 г. в загрязненных районах Российской Федерации, вычисления активности ^{131}I

в щитовидной железе, измеренной в этот период по результатам индивидуальной радиометрии, предусматривает необходимость следующих исходных данных:

- тип использованного прибора;
- геометрия измерения;
- коэффициенты калибровки прибора в используемой геометрии;
- дата измерения;
- продолжительность измерения;
- результаты измерения фона в помещении, где проводилась радиометрия;
- результаты проверки стабильности прибора при проведении серии измерений;
- показания прибора при помещении детектора у щитовидной железы измеряемого лица;
- показания прибора при помещении детектора у бедра или печени измеряемого лица*;
- паспортные данные измеряемого лица, включая дату рождения или возраст *и*, лет, и адрес места жительства в апреле—июне 1986 г.;
- место проведения измерений (область, район, населенный пункт, учреждение)*;
- место работы и фамилия измерителя*.

4.1.2. В мае—июне 1986 г. массовые измерения активности ^{131}I в щитовидной железе жителей Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей проводили с помощью радиодиагностических приборов «Гамма» (Венгрия) и ГГРМ-01Ц (СССР), а также геологоразведочных приборов СРП-68—01 (СССР). Для вычисления активности ^{131}I в щитовидной железе следует использовать данные измерений, выполненных не позднее 10 июня 1986 г., при условии стабильности калибровочного коэффициента и фона прибора.

4.1.3. Активность ^{131}I в щитовидной железе G по результатам измерений скорости счета γ-излучения у шеи и бедра обследуемого лица радиодиагностическим прибором «Гамма» следует вычислять по формуле:

---

* Эти параметры желательны, но не обязательны для вычисления активности ^{131}I в щитовидной железе.

$$G = K \cdot [(N_ш - F) - b(u) \cdot (N_б - F)], \text{ кБк, где} \quad (4.1)$$

$N_ш$, имп/мин – скорость счета γ-излучения при расположении детектора в области шеи (щитовидной железы);

$N_б$, имп/мин – скорость счета γ-излучения при расположении детектора над бедром;

K, кБк/(имп/мин) – калибровочный коэффициент. Коэффициент калибровки определяется для каждой серии измерений по результатам измерения скорости счета от образцового источника ^{131}I;

$b(u)$, отн. ед. – численный коэффициент, учитывающий геометрические соотношения при измерении γ-излучения у шеи и бедра; принят равным 1,0 для взрослых, подростков и детей старше 7 лет и 1,15 для детей в возрасте до 7 лет включительно;

F, имп/мин – скорость счета в отсутствие измеряемого человека (фон прибора). За величину фона допускается принимать минимальные значения скорости счета над бедром за период неизменного режима измерений.

4.1.4. Активность ^{131}I в щитовидной железе G по результатам измерений скорости счета γ-излучения у шеи обследуемого лица радиодиагностическим прибором ГТРМ–01Ц в энергетическом канале излучения ^{131}I вычисляется в автоматическом режиме после вычитания фона как доля активности образцового источника по формуле:

$$G = K \cdot (N_ш - F), \text{ кБк, где} \quad (4.2)$$

обозначения определены выше в п. 4.1.3.

4.1.5. Активность ^{131}I в щитовидной железе G по результатам двух измерений у шеи и у бедра или печени измеряемого лица поисковым прибором СРП-68—01 без коллиматора следует вычислять по соответствующим формулам:

$$G = K(u) \cdot [(P_ш - a_ш(u) P_f) - b_{ш/б}(u)(P_б - a_б(u) \cdot P_f)], \text{ кБк,} \quad (4.3)$$

$$G = K(u) \cdot [(P_ш - a_ш(u) P_f) - b_{ш/п}(u)(P_п - a_п(u) \cdot P_f)], \text{ кБк,} \quad (4.3а),$$

где

$P_ш$, мкР/ч – показания прибора при расположении детектора вблизи шеи (щитовидной железы);

$P_б$, $P_п$, мкР/ч – показания прибора при расположении детектора над бедром или печенью, соответственно;

P_f, мкР/ч – показания прибора в точке измерения в отсутствие измеряемого лица (фон прибора);

$K(u)$, кБк/(мкР/ч) – калибровочный коэффициент, средние значения которого в зависимости от возраста u измеряемого лица представлены в табл. 4.1. При наличии калибровочных коэффициентов для отдельных экземпляров приборов, следует применять их для вычисления по (4.3). Если имеется значение калибровочного коэффициента использованного прибора для взрослых, поправку для других возрастных групп вводят умножением на коэффициент $g(u)$ из табл. 4.1.

$a_ш(u)$, $a_б(u)$, $a_п(u)$, отн. ед. – коэффициент экранирования внешнего фона телом человека в положении детектора у шеи, бедра или печени. Для прибора СРП-68—01 в использованной геометрии измерений и периода времени май—июнь 1986 г. все коэффициенты экранирования приняты равными 1.

$b_{ш/б}(u)$, $b_{ш/п}(u)$, отн. ед. – коэффициенты, учитывающие геометрические соотношения результатов измерения γ-излучения радионуклидов, равномерно распределенных в теле человека, при положении детектора у шеи и бедра или у шеи и печени, соответственно. Средние значения этого параметра в зависимости от возраста u измеряемого лица представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.1

Коэффициент калибровки *K(u)* радиометра СРП-68—1 для измерения ^{131}I в ЩЖ человека и поправочный коэффициент *g(u)* в зависимости от возраста *u* [10, 11]

u, полных лет	*K(u)*, кБк/(мкР/ч)	*g(u)*, отн. ед.	*u*, полных лет	*K(u)*, кБк/(мкР/ч)	*g(u)*, отн. ед.
0	0,13	0,60	10	0,15	0,71
1	0,13	0,60	11	0,16	0,74
2	0,13	0,61	12	0,16	0,76
3	0,13	0,62	13	0,17	0,79
4	0,14	0,63	14	0,18	0,82
5	0,14	0,64	15	0,18	0,85
6	0,14	0,65	16	0,19	0,90
7	0,14	0,67	17	0,20	0,94
8	0,15	0,68	>17	0,21	1,00
9	0,15	0,70			

Примечание: *в отсутствие результатов градуировки конкретного экземпляра прибора, приведенные в табл. 4.1 значения калибровочного коэффициента K(u) следует принимать как наиболее вероятное значение случайной величины, характеризуемой стандартным геометрическим отклонением* $\beta_K = 1{,}3$.

Таблица 4.2

Геометрические соотношения *b(u)* для измерений активности ^{131}I в щитовидной железе с помощью прибора СРП-68—01

Орган	Параметр	Возрастная группа, лет		
		≤7	8—17	> 17
Шея/бедро	$b_{o/a}(u)$	1,0 ± 0,15	1,0 ± 0,1	0,9 ± 0,1
Шея/печень	$b_{o/l}(u)$	0,87 ± 0,07	0,87 ± 0,07	0,87 ± 0,07

4.1.6. Активность ^{131}I в щитовидной железе *G* по результатам одного измерения прибором СРП-68—01 при расположении детектора вблизи шеи (щитовидной железы) измеряемого лица следует вычислять по формуле:

$$G = K(u)\cdot(P_ш - a_ш(u)\cdot P_f)\cdot(1 - b_{ш/п}(u)\cdot X(t)),\ кБк, \qquad (4.4)$$

где

$X(t)$, отн. ед. – безразмерная поправка на подсветку детектора СРП-68—01 γ-излучением радионуклидов, содержащихся в теле (главным образом, радиоизотопов цезия) и возможного поверхностного загрязнения тела и одежды измеряемого лица. Остальные обозначения определены в описании формулы 4.3.

Значение поправки $X(t)$ для измерений в конкретном НП в день «t» и соответствующие границы 95 %-ного доверительного интервала определяют по «двойным» измерениям жителей в этом НП как среднее значение индивидуальных величин X_i, если их число было не менее 10:

$$X_i = (P_б - a_б(u)\cdot P_f)/(P_ш - a_ш(u)\cdot P_f) \qquad (4.4а)$$

$$X_i = (P_п - a_п(u)\cdot P_f)/(P_ш - a_ш(u)\cdot P_f) \qquad (4.4б)$$

Если в НП отсутствовали «двойные» измерения, то используют зависимость коэффициента $X(t)$ от времени, определенную экспериментальным путем по всему массиву «двойных» измерений жителей Брянской и Калужской областей [12, 13]:

$$X(t) = (-0{,}48 \pm 0{,}11) + (0{,}034 \pm 0{,}03)\cdot t\ ,\ отн.\ ед. \qquad (4.4с)$$

Отсчет времени t, сут, ведется с даты аварии 26 апреля 1986 г.; формула действительна для периода с 26.05.86 до 07.06.86.

4.1.7. Методика оценки погрешности результата определения активности ^{131}I в щитовидной железе по результатам измерений на приборах типа «Гамма», ГТРМ и СРП-68—01 приведена в разделе 11.

4.2. Вычисление индивидуальной дозы в щитовидной железе по результатам измерения активности ^{131}I в ней

4.2.1. Требования к исходным данным.

Для вычисления индивидуальной дозы в щитовидной железе жителей необходимы следующие исходные данные:

- активность ^{131}I в щитовидной железе G, кБк, вычисленная согласно п. 4.1;

• паспортные данные измеряемого лица, включая дату рождения или возраст *u* и адрес места жительства в апреле—июне 1986 г.;

• дата проведения измерения;

• дата начала выпаса молочного скота;

• дата прекращения потребления местного молока (следование запрету санэпидслужбы, замена молока в торговой сети на незагрязненное, отъезд из загрязненной местности и т. д.).

При отсутствии индивидуальных сведений о дате начала выпаса молочного скота и/или прекращения потребления местного молока по п. 4.2.1, используются обобщенные данные для данного НП или района, полученные путем опроса жителей предпочтительно в 1986—1987 гг., или по архивным материалам, или по данным сельскохозяйственных служб о сроках начала выпаса молочного скота (см. прилож. 2).

4.2.2. Ожидаемую индивидуальную поглощенную дозу в щитовидной железе $D_{th}(u)$ лица в возрасте *u* вычисляют по формуле:

$$D(u) = I_h \cdot d_h(u) + I_g \cdot d_g(u), \text{ мГр, где} \qquad (4.5)$$

I_h, I_g, кБк – суммарное поступление ^{131}I в организм с вдыхаемым воздухом (индекс «*h*») и пищей (индекс «*g*»), соответственно;

$d_h(u)$, $d_g(u)$, мГр/кБк – дозовые коэффициенты для поступления ^{131}I в организм лиц возраста *u* ингаляционным и пищевым путями, соответственно [6, 9]. Значения дозовых коэффициентов для щитовидной железы лиц разного возраста приведены в табл. 4.3.

Суммарное поступление ^{131}I в организм с вдыхаемым воздухом или пищей определяется как интеграл по времени от соответствующей функции (скорости) поступления $i(t)$, кБк/сут:

$$I_h = \int_{t_0}^{\infty} i_h(\tau) \cdot d\tau, \text{ кБк} \qquad (4.6)$$

$$I_g = \int_{t_0}^{\infty} i_g(\tau) \cdot d\tau, \text{ кБк,} \qquad (4.7)$$

где

t_0 – время начала радиоактивных выпадений в данном регионе России, см. прилож. 1. За нулевой момент времени принят момент аварии 26 апреля 1986 г., 1 ч. Для *i*-го лица, прибывшего на загрязненную территорию после начала радиоактивных выпадений в день

t_i, интегрировать поступление следует с этого дня. Для лиц, постоянно проживающих на загрязненной территории, $t_i = t_0$.

Таблица 4.3

Значения эффективного периода полувыведения ^{131}I $T_{th}(u)$, сут, из щитовидной железы и дозовых коэффициентов $d_h(u)$ и $d_g(u)$, мГр/кБк, для поступления в организм лиц возраста u ингаляционным*) и пищевым путями, соответственно [6, 9]

Возраст u, полных лет	T_{th}, сут	$d_h(u)$, мГр/кБк	$d_g(u)$, мГр/кБк
0	5,4	2,40	3,70
1	5,5	2,40	3,60
2	5,7	2,13	3,22
3	5,9	1,88	2,85
4	6,1	1,63	2,47
5	6,3	1,40	2,10
6	6,5	1,24	1,88
7	6,6	1,10	1,66
8	6,7	0,95	1,44
9	6,8	0,81	1,22
10	6,9	0,69	1,0
11	7,0	0,61	0,93
12	7,0	0,57	0,87
13	7,1	0,54	0,81
14	7,1	0,49	0,74
15	7,2	0,44	0,68
16	7,2	0,39	0,59
17	7,3	0,34	0,51
>17	7,4	0,28	0,43

*)*Для смеси равных концентраций в воздухе ^{131}I в формах элементарного йода, метилиодида и аэрозольной фракции с АМАД, равным 1 мкм, и быстрым всасыванием в дыхательном тракте [9]. Индивидуальные вариации дозовых коэффициентов $d_h(u)$ и $d_g(u)$ для лиц из одной возрастной группы следует характеризовать стандартным геометрическим отклонением, равным 1,6.*

4.2.3. Для целей данной методики и с учетом ограниченности исходных природных (метеорологических и др.), хозяйственных (сельскохозяйственная технология и др.) и социальных (рацион питания и режим поведения жителей и др.) данных функции поступления ^{131}I в организм жителей возраста u с вдыхаемым воздухом i_h и с пищей i_g упрощенно представляются следующим образом:

$$i_h(u,S_{137}) = i_0 \cdot \varphi_h(u,S_{137}) \qquad (4.8)$$

$$i_g(t,u,S_{137}) = i_0 \cdot \varphi_g(t,u), \text{ где} \qquad (4.9)$$

i_0, кБк/сут – постоянная величина, принятая равной суточному поступлению ^{131}I с молоком в организм лица в возрасте u, аппроксимированному к моменту начала радиоактивных выпадений в данном регионе t_0, а функции $\varphi_h(u, S_{137})$ и $\varphi_g(t, u)$, отн. ед., определяются формулами 4.10 и 4.11.

4.2.4. Динамика ингаляционного поступления ^{131}I в организм жителей из проходящего облака моделируется равномерным процессом в течение одних суток с момента начала выпадений t_0:

$$\varphi_h(u,S_{137}) = f_1(u) \cdot f_2(S_{137}), \text{ если } t_0 < t < (t_0 + 1); \qquad (4.10)$$

$$\varphi_h(u,S_{137}) = 0 \qquad \text{при других } t, \text{ где}$$

$f_1(u)$, отн. ед. – коэффициент, учитывающий соотношение между поступлением ^{131}I с вдыхаемым воздухом и пищей в организм детей или подростков различных возрастных групп (см. п. 3.7) по сравнению с этим параметром у взрослых сельских жителей [9] – табл. 4.4. В связи с различием в рационах питания, значения $f_1(u)$ даны раздельно для сельских и городских жителей;

$f_2(S_{137})$, отн. ед. – коэффициент, учитывающий соотношение ингаляционного и пищевого путей поступления ^{131}I в организм взрослых сельских жителей в зависимости от плотности загрязнения почвы ^{137}Cs:

$$f_2(S_{137}) = 0{,}2 \qquad \text{при } S_{137} \le 100 \text{ кБк/м}^2; \qquad (4.11)$$

$$f_2(S_{137}) = 3{,}0 \cdot S_{137}^{-0{,}6} \qquad \text{при } S_{137} > 100 \text{ кБк/м}^2;$$

Таблица 4.4

Значения коэффициента $f_1(u)$, отн. ед., в формуле 4.10 для сельских и городских жителей разных возрастных групп

Возрастная группа	1	2	3	4	5	6
Возраст, лет	< 1	1—2	3—7	8—12	13—17	> 17
$f_1(u)$, отн. ед., (село)	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,0
$f_1(u)$, отн. ед., (город и ПГТ)	0,1	0,2	0,4	0,8	1,5	1,8

4.2.5. Динамика поступления ^{131}I в организм жителей с местными пищевыми продуктами моделируется многокомпонентной функцией, учитывающей загрязнение молока в стойловый и пастбищный периоды, а также листовых овощей:

$$\varphi_g(t) = \begin{cases} 0, \text{если } t < t_0 \\ f_3 \cdot f_{mS} \cdot e^{-ln2(t-t_0)/T_S}, \text{если } t_0 \le t \le t_1; \\ f_3 \cdot f_{mS} \cdot e^{-ln2\cdot(t-t_0)/T_S} + f_v \cdot f_4 \cdot e^{-ln2(t-t_0)/T_{ec}}, \\ \text{если } t_1 \le t \le t_2; \\ f_v \cdot f_4 \cdot e^{-ln2(t-t_0)/T_{ec}} + f_3 \cdot e^{-ln2(t_2-t_0)/T_{ec}} \cdot \\ \cdot (e^{-ln2(t-t_2)/T_{ec}} - e^{-ln2(t-t_2)/T_m}), \text{если } t_2 \le t \le t_3; \\ f_5 \cdot [f_v \cdot f_4 \cdot e^{-ln2(t-t_1)/T_{ec}} + f_3 \cdot e^{-ln2(t_2-t_0)/T_{ec}} \cdot \\ \cdot (e^{-ln2(t-t_2)/T_{ec}} - e^{-ln2(t-t_2)/T_m})], \text{если } t_3 < t; \end{cases} \quad (4.12)$$

где:

t, сут – время после момента аварии на Чернобыльской АЭС, 26 апреля 1986 г., 1 ч;

t_0, сут – время начала радиоактивных выпадений в данном регионе, согласно прилож. 1;

t_1, сут – время начала потребления листовых овощей местного производства. При отсутствии других данных принято равным дате начала выпаса скота t_2;

t_2, сут – время начала выпаса молочного скота, согласно прилож. 2;

t_3, сут – время прекращения потребления загрязненного молока и других продуктов местного производства в данном населенном пункте или районе Брянской области;

f_{ms}, отн. ед. – отношение поступления ^{131}I с молоком при нахождении молочного скота в стойловом режиме к поступлению при выпасе скота. По данным мониторинга в первые дни после радиоактивных выпадений, параметр f_{ms} принят равным 0,1 отн. ед. После начала выпаса скота f_{ms} принимается равным нулю;

f_3, отн. ед. – коэффициент, учитывающий факт потребления данным лицом молока и молочных продуктов местного производства в мае 1986 г., согласно индивидуальному опросу: равен 1 в случае подтверждения потребления молока или отсутствия данных, и равен 0,1, если молоко не потреблялось;

f_v, отн. ед. – коэффициент, учитывающий поступление ^{131}I с листовыми овощами. С учетом возрастных различий в рационе питания жителей f_v принят равным 0,05 для взрослых, подростков и детей старше 7 лет; 0,03 – для детей 3—7 лет; 0 – для детей младше 3 лет;

f_4, отн. ед. – коэффициент, учитывающий факт потребления данным лицом листовых овощей местного производства в мае 1986 г. согласно индивидуальному опросу, равен 1 в случае подтверждения потребления листовых овощей или отсутствия данных и равен 0, если листовые овощи не потреблялись;

f_5, отн. ед. – коэффициент снижения поступления ^{131}I в организм вследствие прекращения потребления молока и других пищевых продуктов местного производства в мае—июне 1986 г. Для лиц, в отношении которых установлен факт и дата выезда с загрязненной территории, f_5 принят равным 0 с этой даты; для лиц, прекративших потребление молока и продуктов местного производства, значение f_5 принято равным 0,1 с соответствующей даты, а для остальных – 1,0. Для жителей шести западных районов Брянской области, указанных в прилож. 2а, в отношении которых отсутствуют индивидуальные данные о прекращении потребления молока, принимается:

$$f_5 = 1 - 0{,}9 \cdot f_6, \text{ где}$$

f_6, отн. ед. – доля жителей НП, прекративших потребление молока местного производства, согласно данным опроса в 1986—1987 гг.;

T_s, сут – период снижения концентрации ^{131}I в стойловом молоке, принят равным 6,0 $\pm$ 1,5 сут;

T_{ec}, сут – период снижения концентрации ^{131}I в молоке коров, выпасаемых на загрязненной местности; принят равным 4,2 сут по данным мониторинга в России после Чернобыльской аварии;

T_m, сут – период снижения концентрации ^{131}I в молоке коров после однократного поступления; принят равным 1,5 сут [14].

4.2.6. Даты начала регулярного выпаса молочного скота из личных хозяйств, необходимые для определения параметра t_2, а также даты массового прекращения потребления загрязненного молока местного производства, необходимые для определения параметра t_3, приведены в прилож. 2 по загрязненным районам четырех областей. Более подробные данные по отдельным сельсоветам содержатся в базе данных СПНИИРГ МЗ РФ (г. С.-Петербург).

В других областях России, подвергшихся радиоактивному загрязнению после Чернобыльской аварии, сведения о датах начала выпаса молочного скота в 1986 г. для целей данного документа должны быть собраны учреждениями и местными органами госсанэпиднадзора, выполняющими дозиметрические расчеты, по данным архивных записей и опросов жителей.

4.2.7. Функция поступления ^{131}I в организм жителей городов или ПГТ принимается аналогичной функциям 4.10 и 4.12 для сельских жителей района, на территории которого расположен город или ПГТ. При этом, время начала выпаса молочного скота в функции поступления ^{131}I в организм городских жителей определяют путем усреднения значений этого параметра по территории района. Дату прекращения потребления загрязненного молока в городе или ПГТ определяют на основе данных опроса жителей и сведений о принятых администрацией мерах ограничения поступления загрязненной продукции в детские учреждения и в торговую сеть.

4.2.8. Неизвестный параметр i_0 функций поступления (4.8) и (4.9) определяется из уравнения:

$$i_0 = G(t_M) / \int_{t_0}^{t_M} [\varphi_h(\tau) \cdot \varepsilon_h + \varphi_g(\tau)] \cdot R_{th}(t_M - \tau; u) d\tau \text{, кБк,} \quad (4.13)$$

где:

$G(t_M)$, кБк – активность ^{131}I в щитовидной железе в момент измерения t_M;

$\varphi_h(t)$, $\varphi_g(t)$ определены уравнениями (4.10) и (4.12), соответственно;

ε_h, отн. ед. – доля радионуклида, поступающая в кровь в результате ингаляции, для смеси равных концентраций в воздухе ^{131}I в формах элементарного йода, метилиодида и аэрозольной фракции с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД), равным 1 μм, и быстрым всасыванием в дыхательном тракте $\varepsilon_h = 0{,}66$ [6, 9]. В расчетах по данной методике следует принимать, что 95 %-ный доверительный интервал значений ε_h составляет 0,66 ± 0,16;

$R_{th}(t;u) = 0{,}3 \cdot e^{-\frac{ln2 \cdot t}{T_{th}(u)}}$, отн. ед. – функция удержания ^{131}I в щитовидной железе после поступления его с пищей [6]. Значения периода полувыведения ^{131}I из щитовидной железы $T_{th}(u)$ для лиц разного возраста приведены в табл. 4.3.

4.2.9. После определения параметра функции поступления i_0 по формуле 4.13 с учетом 4.8 и 4.9, вычисляют суммарное поступление в организм индивидуума I_h и I_g с вдыхаемым воздухом и пищей, соответственно, по формулам 4.6 и 4.7, а затем ожидаемую дозу в щитовидной железе $D_{th}(u)$, мГр, по формуле 4.5.

4.2.10. Методика определения погрешности значения $D_{th}(u)$ по результату измерения активности ^{131}I в щитовидной железе $G(t_M)$ приведена в разделе 11.

5. Требования к вычислению средней дозы в щитовидной железе по результатам измерения содержания в ней ^{131}I у жителей населенного пункта

5.1. Требования к вычислению средней дозы в ЩЖ возрастной группы жителей населенного пункта

5.1.1. Согласно данным *указаниям* определяются средние поглощенные дозы в щитовидной железе (СПД ЩЖ) у шести возрастных групп жителей каждого населенного пункта Российской Федерации, для которого имеются измерения содержания ^{131}I в ЩЖ жителей или концентрации ^{131}I в молоке местного производства в мае 1986 г., или известна плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. Возрастные границы групп обоснованы в п. 3.7 *указаний*.

5.1.2. СПД ЩЖ для j-ой ($j = 1, \ldots 6$) возрастной группы жителей населенного пункта D_{th}^{j}, мГр, вычисляется как среднее арифметическое значение результатов определения индивидуальных доз $D_{th}(u_i)$,

мГр, у лиц *j*-ой группы по данным индивидуальной радиометрии щитовидной железы в мае—июне 1986 г., выполненного согласно требованиям раздела 4 настоящих *указаний*. Необходимое число индивидуальных доз для определения средней дозы в каждой возрастной группе: – в сельских населенных пунктах – не менее 5; в городах и ПГТ – не менее 10. При отсутствии необходимого числа индивидуальных измерений, СПД ЩЖ в возрастной группе оценивается по референтной дозе – см. подразделы 5.2 и 5.3 и разделы 6 и 7.

5.1.3. Методика определения погрешности полученного значения СПД ЩЖ в возрастной группе по результатам индивидуальной радиометрии приведена в разделе 11.

5.2. Требования к вычислению референтной дозы у жителей населенного пункта

5.2.1. Для населенных пунктов с малым числом измерений активности ^{131}I в щитовидной железе жителей (меньше 5 в селах и меньше 10 в городах и ПГТ), относящихся к отдельным возрастным группам, с целью уменьшения статистической погрешности дозовых оценок следует вычислить референтную дозу D_{th}^{r} как среднее арифметическое индивидуальных доз $D_{th}(u_i)$, скорректированных к референтному возрасту:

$$D_{th}^{j} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} D_{th}(u_i) \cdot p(u_i), \text{ мГр, где} \qquad (5.1)$$

n – число индивидуальных доз $D_{th}(u_i)$, оцененных для жителей всех возрастов u_i данного населенного пункта по результатам измерений активности ^{131}I в щитовидной железе;

$p(u_i)$, отн. ед. – среднее отношение дозы у лиц референтного возраста u_r к дозе у лиц возраста u_i – жителей того же населенного пункта.

5.2.2. Значения $p(u_i)$ и p_j для *j*-ой возрастной группы, оцененные по результатам индивидуальной радиометрии щитовидной железы у жителей населенных пунктов четырех областей России, приведены в табл. 5.1 и 5.2 в зависимости от возраста раздельно для сельского и городского (включая ПГТ) населения. В табл. 5.1 в качестве референтного возраста принят возраст 3 года, поскольку наибольшее число измерений ^{131}I в щитовидной железе детей четырех областей России в мае—июне 1986 г. было сделано у детей этого возраста, посещающих детские сады.

5.2.3. Референтную дозу в населенном пункте по результатам измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе следует вычислять

при условии, что число таких измерений в сельском населенном пункте или ПГТ не менее 10, а в городе не менее 30.

5.2.4. Методика определения погрешности значения референтной дозы по результатам измерения активности ^{131}I в щитовидной железе приведена в разделе 11.

Таблица 5.1

Средние отношения $p(u)$ дозы у лиц референтного возраста (детей 3-х лет) к дозе у лиц возраста u, отн. ед.*)

Возраст u, полных лет	Города и ПГТ	Села	Возраст u, полных лет	Города и ПГТ	Села
0	0,60 ± 0,05	0,6 ± 0,1	10	3,0 ± 0,4	2,5 ± 0,8
1	0,70 ± 0,07	0,7 ± 0,2	11	3,4 ± 0,4	2,7 ± 0,9
2	0,80 ± 0,08	0,8 ± 0,2	12	3,8 ± 0,5	2,9 ± 0,9
3	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,3	13	4,2 ± 0,5	3,1 ± 0,9
4	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,4	14	4,6 ± 0,6	3,3 ± 0,9
5	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,5	15	5,0 ± 0,6	3,4 ± 0,9
6	1,7 ± 0,2	1,6 ± 0,5	16	5,3 ± 0,6	3,5 ± 0,9
7	2,0 ± 0,3	1,9 ± 0,6	17	5,7 ± 0,6	3,6 ± 0,9
8	2,3 ± 0,3	2,1 ± 0,7	> 17	7,4 ± 0,4	4,1 ± 0,6
9	2,7 ± 0,4	2,3 ± 0,7			

*) *Представлены средние арифметические значения с ошибкой среднего.*

Таблица 5.2

Средние отношения p_j дозы у лиц референтного возраста (детей 3-х лет) к дозе у лиц j-й возрастной группы, отн. ед.*)

Возрастная группа j	Возрастной интервал, лет	Города и ПГТ	Села
1	< 1	0,6 ± 0,05	0,6 ± 0,1
2	1—2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2
3	3—7	1,5 ± 0,4	1,4 ± 0,5
4	8—12	3,1 ± 0,6	2,5 ± 0,8
5	13—17	5,0 ± 0,6	3,4 ± 0,9
6	> 17	7,4 ± 0,4	4,1 ± 0,6

*) *Представлены средние арифметические значения с ошибкой среднего.*

5.3. Требования к вычислению средней дозы в возрастной группе по референтной дозе

5.3.1. По значению референтной дозы в населенном пункте, определенной по результатам измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей (подраздел 5.2) либо оцененной интерполяционными методами (см. разделы 6 и 7), вычисляют средние дозы в возрастных группах 1—6 по формуле:

$$D_{th}^{j} = \frac{D_{th}^{r}}{p_j}, \text{ мГр, где} \qquad (5.3)$$

p_j, отн. ед. – среднее значение $p(u)$ у лиц j-ой возрастной группы – см. табл. 5.2.

5.3.2. Методика определения погрешности средней дозы в возрастной группе по референтной дозе приведена в разделе 11.

5.3.3. В случае, когда у части жителей НП измеренная активность ^{131}I в щитовидной железе ниже минимально детектируемой активности, для вычисления средней дозы в НП используют специальные расчетные методы, приведенные в прилож. 3.

6. Требования к вычислению средней дозы в щитовидной железе по содержанию ^{131}I в молоке местного производства

6.1. Анализ данных мониторинга радиоактивного загрязнения пищевых продуктов в мае—июне 1986 г. показал, что более 90 % дозы в щитовидной железе обусловлено поступлением ^{131}I пищевым путем, преимущественно с молоком и молочными продуктами местного производства [1—4, 12, 13]. Статистическая связь между дозой и потреблением молока, содержанием в нем ^{131}I имеет линейный характер и высоко достоверна. В связи с этим в данных *указаниях* зависимость средней дозы в ЩЖ от концентрации ^{131}I в молоке местного производства использована для реконструкции дозы в тех населенных пунктах России, где радиометрию щитовидной железы у жителей в мае—июне 1986 г. не проводили, либо она не удовлетворяла требованиям разделов 4 и 5, но где были проведены измерения концентрации ^{131}I в молоке.

6.2. Поглощенная доза в щитовидной железе зависит от концентрации ^{131}I в молоке и ее изменения со временем, потребления молока, возраста индивидуума и защитных мер. Для установления количественной зависимости средней дозы в ЩЖ от концентрации ^{131}I в молоке значения дозы стандартизуют относительно времени

начала выпаса молочного скота, возраста и защитных мер. С этой целью в данных *указаниях* использована расчетная величина стандартной дозы в щитовидной железе жителей населенного пункта D_{th}^{st}. Эта величина определена как референтная доза (см. раздел 5, формула 5.1) у жителей данного населенного пункта, вычисленная с использованием значения i_0, рассчитанного для конкретных условий выпаса и защитных мер в данном НП (формулы 4.12, 4.13), и интегралом функции поступления (формулы 4.6, 4.7), пересчитанным для «стандартных» условий: содержание молочного скота в пастбищном режиме, потребление листовых овощей и молока к моменту начала радиоактивных выпадений ($t_1 = t_2 = t_0$; $f_{ms} = 0$; $f_3 = f_4 = 1$ в формуле 4.12), отсутствие защитных мер ($t_3 = \infty, f_5 = 1$).

6.3. Среднюю стандартную дозу у жителей населенного пункта D_{th}^{st} вычисляют как среднее арифметическое значение индивидуальных доз $D_{th}^{st}(u_i)$ числом не менее 10 в селах и ПГТ и не менее 30 в городах, скорректированных к стандартным условиям поступления:

$$D_{th}^{st} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} D_{th}^{st}(u_i) \cdot p(u_i), \text{ мГр, где} \qquad (6.1)$$

$D_{th}^{st}(u_i)$, мГр – ожидаемая индивидуальная стандартная доза в щитовидной железе i-го лица в возрасте u_i, вычисленная по формуле 4.5 с использованием i_0, определенной по формуле 4.13, для условий, сформулированных в п. 6.2;

$p(u_i)$, отн. ед. – среднее отношение дозы у лиц референтного возраста u_r к дозе у лиц возраста u_i, приведенное в табл. 5.1.

6.4. Согласно данным радиационного мониторинга в четырех наиболее загрязненных областях России (Брянской, Калужской, Орловской и Тульской), средняя стандартная доза в щитовидной железе у жителей населенного пункта D_{th}^{st} связана с референтной концентрацией ^{131}I в молоке C_m^r, кБк/л (см. п. 6.5), уравнением линейной регрессии:

$$D_{th}^{st} = c \cdot C_m^r, \text{ мГр, где} \qquad (6.2)$$

$c = (10{,}5 \pm 0{,}7)$ мГр · л/кБк для сельских населенных пунктов, городов и ПГТ.

Уравнение регрессии (6.2) следует непосредственно использовать для оценки средней стандартной дозы D_{th}^{st} в щитовидной железе у жителей сельских и городских населенных пунктов, где в мае–июне 1986 г. измерения содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей не проводили, либо их количество и/или качество не удовлетворяют требованиям разделов 4 и 5, и где были проведены оценки концентрации ^{131}I в молоке и определена референтная концентрация ^{131}I в молоке C_m^r, которая не превысила 100 кБк/л.

6.5. Референтную, т. е. среднюю, приведенную к 8 мая 1986 г., концентрацию ^{131}I в молоке C_m^r, кБк/л, производимом и/или потребляемом в населенном пункте, определяют как среднее арифметическое значение концентрации $C_m(t_i)$ в пробах молока (числом n не менее 5 в селе или 10 – в городе, ПГТ), оцененной по результатам измерений в мае 1986 г. и приведенной к референтной дате по формуле:

$$C_m^r = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} C_m(t_i) \cdot e^{\frac{\ln 2 \cdot (t_i - t_r)}{T_{ec}}}, \text{ кБк, где} \qquad (6.3)$$

t_i – время отбора i-ой пробы молока (сут) после начала радиоактивных выпадений;

t_r – референтное время, равное 10 сут после начала радиоактивных выпадений на территории Брянской области и соответствующее референтной дате 8 мая 1986 г.;

T_{ec} – период снижения активности ^{131}I в молоке, принятый равным 4,2 сут.

6.6. В России концентрацию радионуклидов ^{131}I и ^{134}Cs, ^{137}Cs в пробах молока в мае—июне 1986 г. измеряли гамма-спектрометрическим методом либо радиометрией суммарной бета-активности в «толстом» слое с помощью прибора ДП-100, в сочетании с радиохимическим анализом проб.

Коэффициенты калибровки прибора ДП-100 для определения активности ^{131}I и суммы радионуклидов цезия равнялись: 1,30 (кБк/кг)/(имп/мин) (0,035 (мкКи/кг/(имп/мин) и 0,74 (кБк/г)/(имп/мин) (0,020 (мкКи/кг)/(имп /мин), соответственно [15]. Коэффициент калибровки прибора ДП-100 для оценки активности смеси этих радионуклидов после чернобыльских выпадений изменялся со временем в соответствии с формулой:

$$K_{sum}(t) = \frac{0{,}74}{1+14{,}4 \cdot exp(-0{,}119 \cdot t)} + \frac{1{,}30}{1+0{,}0694 \cdot exp(0{,}119 \cdot t)}, \frac{\text{имп/мин}}{\text{кБк/кг}}, \quad (6.4)$$

где,

t, сут – время после момента Чернобыльской аварии.

При наличии записи о скорости счета пробы (N_n) и фона ($N_ф$) в журнале измерений на ДП-100 суммарную бета активность (C_{sum}) вычисляют по формуле:

$$C_{sum} = K_{sum} \cdot (N_n - N_ф), \text{ кБк/кг} \quad (6.5)$$

При записи в журнале только рассчитанной активности пробы $C_{ж}$ вводится поправка:

$$C_{sum} = C_{ж} \cdot \frac{K_{sum}}{K_{ж}}, \text{ кБк/кг, где} \quad (6.6)$$

$K_{ж}$, (имп/мин)/(мкКи/кг), – коэффициент калибровки, по которому велись расчеты в 1986 году.

Концентрацию ^{131}I в пробе на день измерения t вычисляют по формуле:

$$C_m(t) = \frac{C_{sum} \cdot N}{1+0{,}0694 \cdot exp(0{,}119 \cdot t)}, \text{ где} \quad (6.7)$$

N, отн. ед. – параметр, учитывающий различие отношений радионуклидов йода-131 к цезию-137 в выпадениях, пересчитанных на момент аварии, в рассматриваемой местности по сравнению с Брянской областью.

Значения концентрации ^{131}I, рассчитанные по формуле 6.7, используют для вычисления референтной концентрации по формуле 6.3, а затем для расчета стандартной дозы по формуле 6.2.

6.7. Для городских населенных пунктов, где в течение мая 1986 г. измерение содержания радионуклидов в молоке не проводили или число измерений было меньше десяти, референтную концентрацию C_m^r, кБк/л, следует оценивать по средней референтной концентрации ^{131}I в молоке, производимом в сельских населенных пунктах соответствующего района:

$$C_m^r = q \cdot \overline{C}_m^r, \text{ кБк/л, где} \quad (6.8)$$

$q = (0{,}75 \pm 0{,}04)$, отн. ед.;

C_m^r, кБк/л – средняя референтная концентрация ^{131}I в молоке, производимом в сельских населенных пунктах соответствующего района.

6.8. После определения средней стандартной дозы D_{th}^{st} по результатам индивидуальной радиометрии щитовидной железы у жителей населенного пункта в мае—июне 1986 г., согласно п. 6.3 или с помощью уравнения регрессии 6.2, среднюю дозу в щитовидной железе j-ой возрастной группы жителей населенного пункта D_{th}^{j} вычисляют по формуле:

$$D_{th}^{j} = \frac{D_{th}^{st}}{p_j} \cdot \frac{D_{1j}}{D_{1j}^{st}}, \text{ мГр, где} \qquad (6.9)$$

значения p_j для шести возрастных групп приведены в табл. 5.2;

D_{1j}, мГр – доза у лиц j-ой возрастной группы, вычисленная по (4.5) для скорости поступления $i_0 = 1$ кБк/сут и фактических условий данного НП;

D_{1j}^{st}, мГр, – доза у лиц j-ой возрастной группы, вычисленная по (4.5) для скорости поступления $i_0 = 1$ кБк/сут и стандартных условий: содержание молочного скота в пастбищном режиме и потребление листовых овощей и молока к моменту начала радиоактивных выпадений ($t_1 = t_2 = t_0$; $f_{ms} = 0$; $f_3 = f_4 = 1$ в формуле 4.12), а также отсутствие защитных мер ($t_3 = \infty, f_5 = 1$).

6.9. Методика определения погрешности значения C_m^r и средней дозы в ЩЖ в j-ой возрастной группе, определенной по содержанию ^{131}I в молоке, производимом и/или потребляемом в населенном пункте, приведена в разделе 11.

7. Требования к вычислению средней дозы в щитовидной железе по плотности загрязнения местности ^{137}Cs

7.1. Способ реконструкции средней дозы в ЩЖ жителей сельских населенных пунктов по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs применен в данных *указаниях* для западных районов Брянской области, где в наиболее загрязненной местности было выполнено основное количество измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей, но результаты мониторинга загрязнения молока этим ра-

дионуклидом недостаточны для обоснования методики реконструкции дозы. Основой реконструкции служит достоверная статистическая связь между стандартной дозой в ЩЖ жителей и плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs, полученная по результатам измерений в 42 селах Брянской области с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs более 500 кБк/м^2 (≈ 10 Ки/км^2) – см. п. 7.2.

Этот способ применен также для тех населенных пунктов Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей, в которых в мае—июне 1986 г. измерения содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей и в пробах молока местного производства не проводили либо их количество и/или качество не удовлетворяло требованиям разделов 4 и 5. Способ реконструкции дозы в ЩЖ по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs применен также для сельских НП других областей России, кроме Брянской, Тульской, Орловской и Калужской, а также для всех НП, где плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. не превышала 37 кБк/м^2 – см. пп. 7.4, 7.5.

7.2. Стандартная доза в щитовидной железе жителей сельского населенного пункта западных районов Брянской области D_{1j}^{st} связана со средней плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в населенном пункте и его окрестностях S_{137} в 1986 г. уравнением линейной регрессии:

$$D_{th}^{st} = s + w \cdot S_{137}, \text{ мГр, где} \qquad (7.1)$$

s = (220 ± 120) мГр;

w = (0,75 ± 0,08) мГр · м^2/кБк.

Уравнение (7.1) с приведенными параметрами непосредственно используют для оценки стандартной дозы в ЩЖ жителей сельских населенных пунктов западных районов Брянской области, где в мае—июне 1986 г. измерения содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей не проводили либо их количество и/или качество не удовлетворяло требованиям разделов 4 и 5.

Уравнение 7.1 пригодно для оценки стандартной дозы D_{th}^{st} для жителей сельских населенных пунктов западных районов Брянской области только при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. более 500 кБк/м^2.

7.3. Для реконструкции стандартной дозы в щитовидной железе сельских и городских жителей четырех областей, где в мае—июне 1986 г. органами ГСЭН не проводился регулярный мониторинг содержания ^{131}I в молоке местного производства, также применяют уравнение 7.1 с параметрами, полученными из комбинации уравнения 6.2 и уравнений зависимостей референтной концентрации ^{131}I в

молоке от плотности загрязнения почвы [16]. Параметры уравнения 7.1 для четырех областей России представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Параметры уравнения регрессии (7.1) для населенных пунктов четырех областей с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 500 кБк/м²

Область	s, мГр		w, мГр·м²/кБк	
	Села	Города и ПГТ	Села	Города и ПГТ
Брянская	105 ± 14	79 ± 12	0,95 ± 0,10	0,71 ± 0,08
Тульская и Калужская	42 ± 4	32 ± 4	0,97 ± 0,06	0,72 ± 0,05
Орловская	26 ± 8	20 ± 7	0,89 ± 0,11	0,67 ± 0,09

Уравнение 7.1 с параметрами из табл. 7.1 непосредственно используют для оценки стандартной дозы в ЩЖ жителей сельских и городских населенных пунктов четырех указанных областей с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs выше 37 до 500 кБк/м², где в мае—июне 1986 г. измерения содержания ^{131}I в щитовидной железе жителей и в пробах молока не проводили либо их количество и/или качество не удовлетворяло требованиям разделов 4—6. Для расчета стандартной дозы в городах и ПГТ в формулу 7.1 подставляют S_{137}, равную средней плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. в сельских населенных пунктах района, для которых имеются данные Росгидромета [7].

7.4. При наличии необходимой информации, для уточнения дозовых оценок следует использовать следующий метод оценки дозы в НП.

Среднюю стандартную дозу внутреннего облучения ЩЖ для взрослых сельских жителей $D^{st}_{взр}$ рассчитывают по формуле зависимости от интегральных выпадений ^{131}I в рассматриваемом НП (j) и в ареале (x) окружающих населенных пунктов:

$$D^{st}_{взр\,jx} = B \cdot S^{131}_{jx} + C \cdot S^{131}_{x}, \text{ где} \qquad (7.2)$$

$B = 1{,}3 \cdot 10^{-8}$ Гр · м² · Бк$^{-1}$ (стандартное геометрическое отклонение $\beta_B = 1{,}4$) и $C = 3{,}3 \cdot 10^{-8}$ Гр · м² · Бк$^{-1}$ (стандартное геометрическое отклонение $\beta_C = 1{,}4$) – основные расчетные параметры, одинаковые для всех регионов и принимаемые как статистически независимые между собой;

S_{jx}^{131}, S_{x}^{131} – интегральное выпадение радионуклида ^{131}I, соответственно, по территории (x) и пункту (j), Бк · м$^{-2}$.

7.5. При наличии соответствующей информации о выпадении ^{131}I при чисто «сухих» выпадениях на выделенной территории (x), для получения более точных значений $D_{взр\,jx}$ по НП, характеризующимися комбинированными («сухие» плюс «мокрые» – индекс «k») выпадениями, расчеты необходимо проводить по соотношению [17]:

$$C_{взр\,jx}^{st} = B \cdot S_{jx}^{131} + C_k \cdot S_{xc}^{131}, \text{ где} \qquad (7.3)$$

C_k = 12,4 · 10^{-8} Гр · м^2 · Бк$^{-1}$ (стандартное геометрическое отклонение β_{Ck} = 1,2);

S_{xc}^{131} – интегральное выпадение ^{131}I на территории (x) при чисто «сухом» выпадении, Бк · м$^{-2}$.

По НП, характеризующимся чисто «сухими» выпадениями, значения $D_{взр\,jx}$ следует оценивать по формуле:

$$D_{взр\,jx}^{st} = C_c \cdot S_{jxc}^{131}, \text{ где} \qquad (7.4)$$

C_c = 1,2 · 10^{-7} Гр · м^2 · Бк$^{-1}$ (стандартное геометрическое отклонение β_{Cc} = 1,2).

7.6. При выделении территории (x), к которой причисляют рассматриваемый НП, следует учитывать, что и при комбинированных («сухие» плюс «мокрые»), и при чисто «сухих» выпадениях должны сохраняться радионуклидные соотношения, за исключением значений отношения активности ^{131}I к активности изотопов других химических элементов. При выпадениях с дождем значения этого отношения могут уменьшаться в несколько раз по сравнению с его значением при чисто «сухих» выпадениях из одного и того же облака (см. п. 7.5).

7.7. Выделение территорий (x) с комбинированными выпадениями следует осуществлять с ориентацией на чисто «сухие» выпадения из одного и того же облака. При этом постулируют, что значения q_{jxc} для рассматриваемого радионуклида (обычно – ^{137}Cs) в пределах рассматриваемой территории не должны варьировать относительно друг друга более чем в три раза (это соответствует 50 %-ной погрешности результатов определения значений интегральных выпадений радионуклида в окрестностях отдельных НП [18]).

Примечание: *выделение территорий (x) с чисто «сухими» выпадениями можно не сопровождать ограничением по п. 7.4: «сухие» террито-*

рии могут занимать сколь угодно большую площадь вне зависимости от абсолютных значений уровня радиоактивных выпадений из одного и того же облака.

7.8. При отсутствии данных о выпадении ^{131}I по отдельным НП или даже по выделенной территории (x) в целом при определении средней дозы по НП необходимо руководствоваться следующими полуэмпирическими соотношениями:

$$S_{xc}^{131} = R_{x\tilde{n}} \cdot S_{x\tilde{n}}^{137} \qquad (7.5)$$

$$S_{jx}^{131} = R_{jx} \cdot S_{jx}^{137}, \text{ где} \qquad (7.6)$$

R_{xc} – отношение интегрального выпадения ^{131}I к интегральному выпадению ^{137}Cs в среднем по выделенной территории (x) при чисто «сухом» выпадении радиойода.

7.9. Необходимое уточнение интегрального выпадения ^{131}I в рассматриваемом НП и на территории, к которой он отнесен, следует осуществлять путем определения интегрального выпадения долгоживущего изотопа йода ^{129}I и расчета интегрального выпадения ^{131}I по формуле [19]:

$$q(^{131}I) = a \cdot q(^{129}I) \cdot exp(-0{,}0862 \cdot t_1), \text{ где} \qquad (7.7)$$

$a = (5{,}0 \pm 1{,}5) \cdot 10^7$ отн. ед. – реакторное отношение активности ^{131}I к активности ^{129}I в момент аварии;

t_1, сут – время от момента аварии до момента основного радиоактивного загрязнения местности.

Относительную погрешность определения величин S_{xc}^{129} и S_{jx}^{131} следует обеспечивать равной не более 50 % путем отбора достаточного числа представительных проб почвы на анализ содержания ^{129}I в ней.

7.10. После определения D_{th}^{st} по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs среднюю дозу в ЩЖ жителей j-ой возрастной группы вычисляют согласно п. 6.8.

7.11. Методика определения погрешности значения средней дозы в ЩЖ в возрастной группе, определенной по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs, приведена в разделе 11.

8. Требования к оценке индивидуализированной дозы в щитовидной железе по ее среднему значению для жителей населенного пункта

8.1. Найденное в соответствии с разделами 5—7 среднее значение дозы для данной возрастной группы жителей населенного пункта следует принимать в качестве опорного значения, относительно которого реальные индивидуальные дозы распределены в соответствии с логарифмически нормальным законом. Значение стандартного отклонения для этого распределения определяют в соответствии с разделом 11 .

Персональную оценку следует уточнять, если объем и вид (козье, коровье) потреблявшегося молока или зеленных овощей, время их потребления или время пребывания конкретного человека в населенном пункте существенно отличались от принятых средних для населенного пункта. При наличии достоверных сведений о таких персональных особенностях следует индивидуализировать среднюю оценку и соответствующий доверительный интервал возможных значений индивидуальной дозы.

8.2. Индивидуальное суточное потребление коровьего молока и/или листовых овощей может значительно отличаться от среднего по НП. Следует учитывать потребление козьего молока, т. к. концентрация радиойода в козьем молоке в среднем в K_{gm} раз выше, чем в коровьем. Таким образом, индивидуализированное значение дозы в ЩЖ $D_{th,ind}$ необходимо определять через среднее для данной возрастной группы значение $D_{th,j}$ по формуле:

$$D_{ind} = D_{th,j} \cdot [(1 - r_m - r_{gv}) + r_m \cdot (V_{m,ind} + K_{gm} \cdot V_{gm,ind}) / V_m + r_{gv} \cdot V_{gv,ind} / V_{gv}] \quad , \qquad (8.1)$$

где

r_m, r_{gv}, отн. ед. – доли от суммарного поступления ^{131}I в результате потребления коровьего молока и зеленных овощей соответственно, принятые при определении средней дозы для данной возрастной группы;

$V_{m,ind}$, $V_{gm,ind}$, л·сут$^{-1}$ – индивидуальное суточное потребление коровьего и козьего молока соответственно; $K_{gm} = (5 \pm 2)$ отн. ед. – кратность превышения концентрации ^{131}I в козьем молоке по отношению к коровьему;

$V_м$, л·сут$^{-1}$ – среднее суточное потребление цельного молока лицами данной возрастной группы;

$V_{gv.ind}$, V_{gv}, кг · сут$^{-1}$ – индивидуальное и среднее суточное потребление зеленных овощей лицами данной возрастной группы, соответственно.

При отсутствии данных о среднем значении потребления молока в конкретном НП или районе рекомендуется использовать ориентировочные значения из табл. 8.1.

Таблица 8.1

Среднее потребление молока жителями загрязненных территорий России, л/сут

Возраст, лет	Село	Город, ПГТ
< 1	0,35	0,35
1—2	0,50	0,40
3—7	0,50	0,25
8—12	0,45	0,30
13—17, i	0,60	0,30
13—17, ?	0,40	0,25
> 17	0,70	0,25

8.3. Для жителей шести западных районов Брянской области, указанных в прилож. 2а, которые были измерены на содержание йода-131 в ЩЖ, но сведения об их индивидуальном прекращении потребления молока отсутствуют, вычисляют два значения дозы: D_1 – для непрерывного потребления продуктов местного производства f_5 =1 в формуле 4.12 и D_2 – для средней для НП даты прекращения потребления местных продуктов t_3, после чего f_5 = 0,1 в формуле 4.12. Оценка поглощенной дозы в ЩЖ измеренного человека находится в пределах значений D_1 и D_2.

8.4. Прибытие рассматриваемого лица в загрязненный населенный пункт в день t_i позже дня радиоактивных выпадений t_0 или отъезд в день t_3 в мае—июне 1986 г. следует учитывать согласно п. 4.2.

8.5. Индивидуализированную оценку дозы внутреннего облучения щитовидной железы вследствие поступления ^{131}I во внутриутробный период D_f для лиц, родившихся с 27 апреля до 27 ноября 1986 г., следует определять по модели пролонгированного поступления в организм матери [20]:

$$D_f(u_f) = k_f(u_f) \cdot D_{moth}, \text{ где} \qquad (8.2)$$

u_f, сут – срок беременности на дату радиоактивного загрязнения местности;

$k_f(u_f)_i$, отн. ед. – коэффициент связи дозы в щитовидной железе плода с дозой в щитовидной железе у матери. Значения = $k_f(u_f)$ представлены в табл. 8.2 в зависимости от срока беременности и даты рождения по декадам 1986 г.

Таблица 8.2

Коэффициенты $k_f(u_f)$ для вычисления дозы в ЩЖ плода и $k_{(f+m)}(u_f)$ для новорожденного через дозу в ЩЖ матери в зависимости от срока беременности u_f на день радиоактивного загрязнения местности

u_f, сутки	Дата рождения	$k_f(u_f)$	u_f, сутки	Дата рождения	$k_f(u_f)$	$k_{(f+m)}(u_f)$
60	24.11—15.11	0,1	170	06.08—28.07	1,5	1,5
70	14.11—05.11	0,3	180	27.07—18.07	1,4	1,4
80	04.11—26.10	0,9	190	17.07—08.07	1,3	1,3
90	25.10—16.10	1,6	200	07.07—28.06	1,2	1,2
100	15.10—06.10	2,0	210	27.06—18.06	1,1	1,1
110	05.10—26.09	2,1	220	17.06—08.06	1,0	1,0
120	25.09—16.09	2,1	230	07.06—29.05	0,9	0,9
130	15.09—06.09	2,0	240	28.05—19.05	0,7	0,9
140	05.09—27.08	1,9	250	18.05—09.05	0,4	1,1
150	26.08—17.08	1,8	260	08.05—04.05	0,2	1,8
160	16.08—07.08	1,6	265	03.05—28.04	0,1	2,8
			270	28.04.86 и ранее	0	3,5

8.6. Индивидуализированную дозу внутреннего облучения щитовидной железы грудных младенцев вследствие внутриутробного поступления ^{131}I и вскармливания материнским молоком следует определять с учетом дозы в ЩЖ матери D_{moth} по формуле:

$$D_f(u_f) = k_{f+m}(u_f) \cdot D_{moth} \qquad (8.3)$$

Если младенец кроме материнского молока получал прикорм или полностью был на искусственном вскармливании, то доза в его ЩЖ оценивается как средняя доза в возрастной группе меньше 1 года.

9. Требования к учету вклада короткоживущих радиоизотопов йода ^{132}I—^{135}I в дозу внутреннего облучения щитовидной железы

9.1. Во всех расчетах по внутреннему облучению щитовидной железы короткоживущими радиоизотопами йода необходимо учитывать и их образование в результате радиоактивного распада предшественников, соответствующих радиоизотопов теллура (исходную информацию об основных радиоизотопах теллура и йода применительно к условиям аварии на ЧАЭС см. в табл. 9.1).

9.2. Применительно к задачам реконструкции доз облучения все изотопы одного и того же химического элемента следует считать идентичными по всем свойствам, кроме скорости их радиоактивного распада. Таким образом, для любого рассматриваемого объекта и любого времени t после взрыва реактора справедливы соотношения:

$$A(^{133}I, t) / A(^{131}I, t) = 1{,}5 \cdot \exp(-0{,}714 \cdot t) \quad (9.1)$$

$$A(^{135}I, t) / A(^{131}I, t) = 0{,}91 \cdot \exp(-2{,}43 \cdot t) \quad (9.2)$$

$$A(^{131m}Te, t) / A(^{132}Te, t) = 0{,}14 \cdot \exp(-0{,}342 \cdot t), \text{ где} \quad (9.3)$$

$A(^{133}I, t)$, $A(^{135}I, t)$, $A(^{131}I, t)$, $A(^{131m}Te, t)$, $A(^{132}Te, t)$ – активность указанного радионуклида в момент времени t, Бк.

Примечание. *В расчетах следует принимать, что во всех объектах внешней среды и пищевых продуктах активность короткоживущего изотопа ^{132}I равна активности родительского радионуклида ^{132}Te (динамическое равновесие).*

Следует иметь в виду, что в различные периоды времени после взрыва реактора отношение $A(^{132}Te, t) / A(^{131}I, t)$ из-за различия в физико-химических свойствах теллура и йода было разным как непосредственно в выбросах из реактора, так и при их выпадении на местность.

9.3. Расчеты доз внутреннего облучения щитовидной железы короткоживущими радионуклидами $D(z)$ проводить в относительных единицах дозы $D(^{131}I)$, обусловленной ^{131}I, по соотношению:

$$D(z) / D(^{131}I) = R(z) \cdot rTf(Z) \cdot \{CD_p(z) \cdot I_g(z) / I_g(^{131}I) + CD_h(z) \cdot I_h(z)] / I_h(^{131}I)\} \quad (9.4)$$

$$rTf(z) = Tf(z) \cdot k_g(z) / [Tf(^{131}I) \cdot k_g(^{131}I)], \text{ где} \quad (9.5)$$

z – символ, обозначающий рассматриваемый радиоизотоп йода или теллура;

$R(z)$ – отношение активности радионуклида z к активности ^{131}I, при $t = t_{max}$ (время достижения максимума загрязнения, см. прилож. 1) с учетом отношения $A(^{132}Te) / A(^{131}I, \Theta_0)$, найденного по результатам измерений в рассматриваемом НП; при отсутствии результатов измерения использовать типовые значения, приведенные в табл. 9.2;

$rTf(z)$ – поправка на возможное различие между рассматриваемым изотопом химического элемента (z) и йодом при осаждении на пастбищную траву и при переходе из организма коровы в молоко;

принимать:

$rTf(z) = 1$ в случае изотопов йода;

$rTf(z) = 0{,}24 \pm 0{,}20$ (95 %-ный интервал) в случае изотопов теллура;

$CD_p(z)$ и $CD_h(z)$ – отношение дозового коэффициента радионуклида z к дозовому коэффициенту ^{131}I, соответственно, при пероральном и ингаляционном поступлении, представлено в табл. 9.3 ;

I_g и I_h – вычислять согласно разделу 4 с параметрами расчета, соответствующими рассматриваемому радионуклиду.

Таблица 9.1

Начальные относительные активности радионуклидов на момент взрыва аварийного реактора

Радионуклид	^{131m}Te	^{131}I	^{132}Te	^{132}I	^{133}I	^{135}I
Относительная активность	0,18	1,0	1,3	1,3	1,5	0,91
Постоянная распада, λ_0, сут$^{-1}$	0,555	0,0862	0,213	7,23	0,800	2,52

Таблица 9.2

Типовые значения отношения $A(^{133}I, t_{max}) / A(^{131}I, t_{max})$ и $A(^{132}Te, t_{max}) / A(^{131}I, t_{max})$ для основных загрязненных территорий России

Область	Брянская	Калужская (юг, юго-запад)	Орловская	Тульская
$A(^{133}I, t_{max}) / A(^{131}I, t_{max})$	0,22	0,16	0,29	0,14
$A(^{132}Te, t_{max}) / A(^{131}I, t_{max})$	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,2

Таблица 9.3

Отношение возрастозависимых дозовых коэффициентов радионуклида для перорального или ингаляционного поступлений к соответствующим коэффициентам ^{131}I

Даты рождения	Вид поступления	Радионуклиды				
		^{131m}Te	^{132}Te	^{132}I	^{133}I	^{135}I
26.04.85 и позже	Пероральный	0,070	0,17	0,011	0,27	0,056
	Ингаляционный	0,10	0,26	0,013	0,27	0,055
от 26.04.83 по 25.04.85	Пероральный	0,042	0,083	0,0097	0,24	0,049
	Ингаляционный	0,086	0,21	0,011	0,25	0,050
от 26.04.78 по 25.04.83	Пероральный	0,042	0,076	0,0090	0,23	0,047
	Ингаляционный	0,088	0,19	0,010	0,22	0,045
от 26.04.73 по 25.04.78	Пероральный	0,045	0,071	0,0083	0,19	0,042
	Ингаляционный	0,089	0,16	0,0092	0,20	0,041
от 26.04.68 по 25.04.73	Пероральный	0,043	0,068	0,0079	0,20	0,041
	Ингаляционный	0,091	0,17	0,0095	0,20	0,040
25.04.68 и раньше (взрослые)	Пероральный	0,044	0,067	0,0079	0,20	0,042
	Ингаляционный	0,082	0,17	0,0093	0,19	0,038

Примечание. *Отношения дозовых коэффициентов рассчитаны на основе дозовых коэффициентов, представленных в Публикациях МКРЗ 67, 71 и 72. Для случаев ингаляции изотопов и теллура, и йода принят тип F абсорбции аэрозолей с АМАД, равным 1 μm.*

10. Требования к вычислению вклада поглощенной дозы в щитовидной железе в среднюю накопленную эффективную дозу у жителей населенного пункта

10.1. Доза в щитовидной железе жителей населенных пунктов России, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие Чернобыльской аварии, учитывается при расчете эффективной дозы E, накопленной за 1986—1995 гг. [5].

10.2. Вклад СПД ЩЖ у j-ой возрастной группы от инкорпорированных радионуклидов йода (преимущественно, ^{131}I) E_{th}^{j} в эффек-

тивную дозу у этой группы определяют умножением D_{th}^{j} в группе на взвешивающий тканевой множитель, равный 0,05 Зв/Гр. Вклад дозы в щитовидной железе в среднюю накопленную эффективную дозу у жителей данного населенного пункта E_{th} вычисляют взвешиванием средней дозы в щитовидной железе у шести возрастных групп жителей по их численности (гр. 1 – до 1 года, гр. 2 – 1—2 года, гр. 3 – 3—6 лет, гр. 4 – 7—11 лет, гр. 5 – 12—17 лет и гр. 6 – взрослые старше 17 лет):

$$E_{th} = 0{,}05 \cdot \sum_{j=1}^{6} w_j \cdot D_{th}^{j}, \text{ мЗв, где} \qquad (10.1)$$

w_j, отн. ед. – доля жителей данного населенного пункта в j-ой возрастной группе.

Для определения w_j следует использовать демографические данные населенного пункта за 1986 г. При отсутствии таких данных допускается использование возрастной структуры городского и сельского населения соответствующего района согласно Всесоюзной переписи 1989 года.

11. Требования к оценке погрешности определения индивидуальных и средних по населенному пункту доз внутреннего облучения щитовидной железы

11.1. Общие требования к оценкам погрешности результатов расчета

11.1.1. Под погрешностью определения индивидуальных и средних доз понимается возможное отклонение результатов расчета по представленным формулам, обусловленное только неопределенностью значений параметров этих моделей и зависимостей.

11.1.2. Каждый результат определения индивидуальной дозы внутреннего облучения ЩЖ, оценка среднего по возрастной группе отдельного населенного пункта значения дозы, а также индивидуализированное значение, найденное через среднее по населенному пункту, должны быть выражены одним основным числом (наиболее подходящая точечная оценка) в виде двух значащих цифр, а также должны быть указаны значения нижней и верхней границ 95 %-ного доверительного интервала, построенного относительно основного числа.

11.1.3. Следует иметь в виду, что погрешность, которая сопровождает каждое получаемое основное число, является результатом сложной суперпозиции отдельных искажений, имеющих часто различную физическую природу и в силу этого относящихся к одной из трех групп погрешностей:

- истинно случайные,
- псевдослучайные,
- систематические.

Общим свойством истинно случайной величины является уменьшение погрешности определения средних значений с увеличением числа значений такой величины, используемых в расчете.

Систематическая погрешность может обусловить определенное смещение расчетного значения от истинного, причем это смещение не уменьшается за счет усреднения многих результатов расчета.

Псевдослучайная величина в зависимости от физического смысла расчетных формул, в которые она входит в явном или неявном виде, может проявлять свойства как постоянного фактора, определяющего систематическую погрешность, так и свойства истинно случайной величины. Соответственно, один и тот же расчетный параметр (например, калибровочный коэффициент измерительного прибора), может менять принадлежность к той или иной из названных выше групп погрешностей, а значит, – по-разному входить в формулы для расчета результирующих погрешностей.

11.1.4. Исходя из эмпирически установленных статистических свойств основных величин, фигурирующих в расчетах, регламентированных данными *указаниями*, формулы для оценки погрешностей необходимо строить, исходя из приближенного представления результатов расчета как случайных величин, подчиняющихся следующим законам распределения.

Нормальное распределение – для оценки погрешности арифметически средней дозы, референтной дозы и средней по возрастной группе дозы, найденных в соответствии с разделом 5, а также средней стандартной дозы, определяемой по «измеренным» индивидуальным дозам в соответствии с формулой 6.1.

Логарифмически нормальное распределение – для оценки погрешности:

- индивидуальной дозы, найденной по результатам измерения содержания радиойода в ЩЖ в соответствии с разделом 4;
- индивидуализированной дозы, найденной в соответствии с указаниями раздела 8;

• стандартных и средних по возрастным группам доз, определяемых в соответствии с разделами 6 и 7.

11.1.5. В качестве основного параметра функции распределения случайной величины Y следует ориентироваться на медиану Y, которая в случае нормальной функции в точности совпадает с арифметически средним значением $Y_{ариф}$, а в случае логарифмически нормальной функции – с геометрически средним значением $Y_{геом}$. В качестве исходной величины для определения границ доверительных интервалов следует использовать значение стандартного отклонения σ_Y в случае нормального распределения или стандартного геометрического отклонения β_Y в случае логарифмически нормального распределения. С помощью геометрического среднего рассчитываются по формулам (11.3 и 11.4) средние арифметические оценки, которые используются в дальнейшем.

Нижнюю Y_- и верхнюю Y^+ границы 95 %–ного доверительного интервала следует вычислять по соотношениям:

в случае логарифмически нормальной функции распределения –

$$Y_- = Y \cdot \exp(-2 \cdot \ln\beta_Y), \qquad Y^+ = Y \cdot \exp(+ 2 \cdot \ln\beta_Y), \qquad (11.1)$$

в случае нормальной функции распределения

$$Y_- = Y - 2 \cdot \sigma_Y, \qquad Y^+ = Y + 2 \cdot \sigma_Y \qquad (11.2)$$

11.1.6. Для представления окончательной оценки в одной из форм, указанных выше в п. 11.1.5, следует применять искусственный прием взаимных переходов от стандартного геометрического отклонения к стандартному отклонению и наоборот, с тем чтобы воспользоваться, в частности, свойством аддитивности дисперсии случайных величин (с поправкой на возможную корреляцию величин). Связь между соответствующими парами параметров для логарифмически нормальной функции распределения случайной величины Y дается соотношениями:

$$Y_{ариф} = Y_{геом} \cdot \exp[0{,}5 \cdot (\ln\beta_Y)^2], \qquad (11.3)$$

$$(\sigma_Y)^2 = (Y_{геом})^2 \cdot \exp[(\ln\beta_Y)^2] \cdot \{\exp[(\ln\beta_Y)^2] - 1\} \qquad (11.4)$$

$$Y_{геом} = Y_{ариф} \cdot [1 + (\sigma_Y / Y_{ариф})^2]^{-0{,}5} \qquad (11.5)$$

$$(\ln\beta_Y)^2 = \ln[1 + (\sigma_Y / Y_{ариф})^2] \qquad (11.6)$$

11.2. Погрешность определения индивидуальной дозы в ЩЖ по результатам измерения активности ^{131}I в ней (раздел 4) следует характеризовать *стандартным геометрическим отклонением* β_D, найденным по соотношению:

$$(\ln\beta_D)^2 = 0{,}22 + (\ln\beta_G)^2 + (\ln\beta_F)^2, \text{ где} \qquad (11.7)$$

0,22 – составляющая, связанная с неопределенностью в значении дозового коэффициента d и найденная с учетом корреляции этого коэффициента с эффективным периодом полуочистки ЩЖ от ^{131}I и с долей радионуклида, поступающей из крови в ЩЖ и реализованной для каждого обследованного индивида *де факто*;

β_G и β_F – соответственно, эффективные стандартные геометрические отклонения для результата $G(t_м)$ определения содержания ^{131}I в ЩЖ и для функции кинетики поступления и удержания ^{131}I в ЩЖ $F(t_м)$.

11.2.1. Эффективное стандартное геометрическое отклонение β_G для результата $G(t_м)$ определения содержания ^{131}I в ЩЖ следует вычислять по формуле:

$$\beta_G = \exp\{\ln[1 + (\sigma_G)^2 / (G(t_м))^2]\}^{0,5}, \text{ где} \qquad (11.8)$$

$(\sigma_G)^2$ – дисперсия результата определения содержания ^{131}I в ЩЖ, которую следует вычислять по одной из следующих формул, соответствующих использованному способу измерения.

Способ по формуле 4.1:

$$\sigma^2 G = K^2 \cdot (\sigma^2 N_ш + (2\sigma^2 b + 2b^2 - 2b + 1) \cdot \sigma^2 F + \\ + (N_б - F)\,\sigma^2 b) + \sigma^2 K \cdot [(N_ш - F) + b\,(N_б - F)]^2 \qquad (11.9)$$

Способ по формуле 4.2:

$$\sigma^2 G = K^2 \cdot (\sigma^2 N_ш + \sigma^2 F) + \sigma^2 K \cdot (N_ш - F)^2 \qquad (11.10)$$

Способ по формуле 4.3:

$$\sigma^2 G = K^2 \cdot (\sigma^2 P_ш + (\sigma^2 b_{ш/б} + b^2_{ш/б}) \cdot \sigma^2 P_f + (P_б - a_ш \cdot P_f) \cdot \sigma^2 b_{ш/б} + \\ + [(\sigma^2 b_{ш/б} + (1 - b_{ш/б}) \cdot (a^2_ш \cdot \sigma^2 P_f + P_f^2 \cdot \sigma^2 a_ш + \sigma^2 P_f \sigma^2 a_ш)]^2 + \\ + \sigma^2 K^2 \cdot [(P_ш - a_ш \cdot P_f) + b_{ш/б} \cdot (P_б - P_f)]^2 \qquad (11.11)$$

Способ по формуле 4.3а:

$$\sigma^2 G = K^2 \cdot [(\sigma^2 P_ш + (\sigma^2 b_{ш/п.} + b^2_{ш/п}) \cdot \sigma^2 P_f + (P_п - a_ш \cdot P_f) \cdot \sigma^2 b_{ш/п} + \\ + (\sigma^2 b_{ш/п.} + (1 - b_{ш/п}) \cdot (a^2_ш \cdot \sigma^2 P_f + P_f^2 \cdot \sigma^2 a_ш + \sigma^2 P_f \cdot \sigma^2 a_ш)]^2 + \\ + \sigma^2 K^2 \cdot [(P_ш - a_ш \cdot P_f) + b_{ш/п} \cdot (P_п - a_ш \cdot P_f)]^2 \qquad (11.12)$$

Способ по формуле 4.4:

$$\sigma^2 G = (a^2_ш \cdot \sigma^2 P_f + P_f^2 \cdot \sigma^2 a_ш + \sigma^2 P_f \cdot \sigma^2 a_ш) \cdot K^2 \cdot Z^2 +$$
$$+ (P_ш - a_ш \cdot P_f)^2 \cdot K^2 \cdot (\sigma_Z^2 + Z^2 \cdot \sigma^2 K), \text{ где}$$
$$Z = 1 - b_{ш/п} \cdot X(t) \qquad (11.13)$$

Здесь дисперсию σ_Z^2 определяют по результатам обработки выборочных значений Z, рассчитанных с учетом формул (4.4а, б). В отсутствие необходимой выборки, представительной для рассматриваемого НП, следует принимать $\sigma_Z^2 = 0{,}023$.

11.2.2. Функция кинетики поступления и удержания ^{131}I в ЩЖ $F(t_м)$ здесь введена с целью упрощения оценок погрешности и описывается следующей аналитической формулой:

$$F(t_M) = \frac{\int_0^\infty [\int_0^t \Phi(\tau) d\tau] dt}{\int_0^{t_M} \Phi(\tau) d\tau}, \text{ где} \qquad (11.14)$$

$\Phi(\tau) = \varphi_п(\tau) \cdot \varepsilon_п + \varphi_г(\tau)$,

функции $\varphi_п(\tau)$, $\varphi_г(\tau)$ определены формулами 4.10, 4.12, соответственно.

В типовом случае потребления загрязненного молока местного производства при однократном радиоактивном выпадении необходимо принимать следующие значения эффективного стандартного геометрического отклонения β_F:

2,5 – при проведении измерения раньше начала выпаса молочного скота, если выпас был начат после радиоактивного выпадения ($t_0 < t_M < t_{gr}$);

– в соответствии с табл. 11.1 – при проведении измерения после начала выпаса – в зависимости от числа дней после первого дня выпаса ($t_M - t_{gr}$), если выпас был начат после радиоактивного выпадения ($t_0 < t_M < t_{gr}$), или в зависимости от числа дней после дня радиоактивных выпадений ($t_M - t_0$), если выпас молочного скота был начат раньше радиоактивных выпадений ($t_0 = t_M$).

Таблица 11.1

Значения стандартного геометрического отклонения β_F в зависимости от интервала времени между измерением и началом выпаса молочного скота ($t_M - t_{gr}$)

($t_M - t_{gr}$) или ($t_M - t_0$), сут	1	2	3	4	5	6	7—9	10—34	35—48
β_F	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,3

11.3. Погрешность определения средней арифметической дозы $D_{ариф}$ в ЩЖ для возрастной группы жителей НП по данным индивидуальной радиометрии в соответствии с п. 5.1 данных *указаний* необходимо характеризовать *стандартным отклонением* $\sigma(D_{ариф})$, вычисленным в соответствии со следующим соотношением для дисперсии арифметически средней величины:

$$\sigma^2(D_{ариф}) = 1/n^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} [\sigma^2 D(u_i) - \delta_K^2] + \delta^2, \text{ где} \qquad (11.15)$$

δ^2 – дисперсия, связанная с систематической составляющей δ_K погрешности определения калибровочного коэффициента K и функции кинетики поступления и удержания ^{131}I в ЩЖ $F(t_M)$:

$$\delta^2 = \delta_K^2 + D^2_{ариф} \cdot \{\exp[(\ln\beta_F)^2] - 1\}$$

Для прибора СРП-68—01 с незарегистрированными результатами специальной градуировки следует принимать

$$\delta_K^2 = 0{,}051 \cdot D^2_{ариф}$$

11.4. Погрешность определения референтной дозы D^r (п. 5.2, формула 5.1) и средней стандартной дозы D^{st} (п. 6.3, формула 6.1), найденных для НП на основе данных индивидуальной радиометрии ЩЖ, следует характеризовать *стандартными отклонениями* $\sigma(D^r)$ и $\sigma(D^{st})$ соответственно:

$$\sigma^2(D^r)=\frac{1}{n^2}\cdot\sum_{i=1}^{n}\{[\sigma^2(D(u_i))-\delta^2]\cdot p^2(u_i)\}+$$
$$+\frac{1}{n^2}\cdot\sum_{i=1}^{n}(D^2(u_i))^2\cdot\sigma^2(p(u_i))+\delta^2 \qquad (11.16)$$

$$\sigma^2(D^{st})=\frac{1}{n^2}\cdot\sum_{i=1}^{n}[\sigma^2\cdot D^{st}(u_i)-\delta^2]\cdot p^2(u_i)+$$
$$+\frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{n}[D^{st}(u_i)]^2\cdot\sigma^2[p(u_i)]+\delta^2 \quad \text{, где} \qquad (11.17)$$

$\sigma^2[p(u_i)] = [p(u_i)]^2 \cdot \exp[(\ln\beta_{p(u)})^2] \cdot \{\exp[(\ln\beta_{p(u)})^2] - 1\} =$
$= 0{,}43 \cdot (p(u_i))^2,$
$\sigma^2[p(u_i)] = 0$ для референтного возраста $u_i = 3$ г.

11.5. Погрешность средней по возрастной группе дозы, найденной через референтную дозу в соответствии с формулой 5.2, следует характеризовать *стандартным отклонением* $\sigma(D^k)$:

$$\sigma^2(D^k) = (D^k)^2 \cdot [\sigma^2(D^r) / (D^r)^2 + \sigma^2(p_k) / (p_k)^2], \text{ где} \qquad (11.18)$$

$$\sigma^2(p_k) / (p_k)^2 = \exp[(\ln\beta_p)^2] \cdot \{\exp[(\ln\beta_p)^2] - 1\} = 0{,}076$$

11.6. Погрешность стандартизованной дозы D^{st}, рассчитанной для НП через референтную концентрацию ^{131}I в молоке в соответствии с формулой 6.2, следует характеризовать *стандартным геометрическим отклонением* β_{Dst}, рассчитанным по соотношению:

$$(\ln\beta_{Dst})^2 = (\ln\beta_0)^2 + \ln[1 + (\sigma_{Dst} / D^{st})^2], \text{ где} \qquad (11.19)$$

$\beta_0 = 1{,}15$ стандартное геометрическое отклонение, ассоциируемое со случайными факторами, дающими отклонение от эмпирической линии регрессии при переносе линейной модели на другие НП;

$$(\sigma_{Dst})^2 = \sigma_c^2 + c_h^2\,(C_m^r)^2 + h^2\,\sigma^2(C_m^r) \qquad (11.20)$$

Здесь дисперсию $\sigma^2(C_m^r)$ референтной концентрации C_m^r, найденной по формуле 6.3, следует оценивать по соотношению, где:

$X_i = -\ln 2 \cdot (t_i - t_r) / T_m,$
$\sigma^2 X_i = X_i^2 \cdot [(\sigma^2 t_i + \sigma^2 t_r) / (t_i - t_r)^2 + \sigma^2 T_m / T_m^2]$

11.7. Погрешность стандартизованной дозы D^{st}, рассчитанной для НП по формуле 7.1 следует характеризовать *стандартным геометрическим отклонением* β_{Dst}, рассчитанным по соотношению (11.19), где дисперсию $(\sigma_{Dst})^2$ следует вычислять по формуле:

$$(\sigma_{Dst})^2 = \sigma_s^2 + \sigma_w^2 \cdot S_{137}^2 + w^2 \cdot \sigma^2 \cdot S_{137} \qquad (11.22)$$

11.8. Погрешность стандартизованной дозы $D^{st}_{взр\ jx}$, найденной по одной из формул 7.1, 7.2 следует характеризовать *стандартным геометрическим отклонением* $\beta(D^{st}_{взр\ jx})$, которое соответствует соотношению:

$$[\ln\beta(D^{st}_{взр\ jx})]^2 = \ln[1 + (\sigma(D^{st}_{взр\ jx})) / D^{st}_{взр\ jx})^2] \qquad (11.23)$$

Здесь дисперсию $[\sigma(D^{st}_{взр\ jx})]^2$ необходимо оценивать в зависимости от примененной для расчета формулы по одному из следующих соотношений:

- в случае применения формулы 7.2:

$$[\sigma(D^{st}_{взр\ jx})]^2 = B^2 \cdot \{[\exp((\ln\beta_B)^2) - 1] \cdot S^2_{jx}(^{131}I) + \sigma^2 S_{jx}(^{131}I)\} + C^2 \cdot \{[\exp((\ln\beta_C)^2) - 1] \cdot S^2_{x}(^{131}I) + \sigma^2 S_{x}(^{131}I)\}, \qquad (11.24)$$

- в случае применения формулы 7.3:

$$[\sigma(D^{st}_{взр\ jx})]^2 = B^2 \cdot \{[\exp((\ln\beta_B)^2) - 1] \cdot S^2_{jx}(^{131}I) + \sigma^2 S_{jx}(^{131}I)\} + C_k^2 \cdot \{[\exp((\ln\beta_{Cx})^2) - 1] \cdot S^2_{xc}(^{131}I) + \sigma^2 S_{xc}(^{131}I)\}, \qquad (11.25)$$

Здесь дисперсии $\sigma^2 S_{jx}(^{131}I)$, $\sigma^2 S_x(^{131}I)$ и $\sigma^2 S_{xc}(^{131}I)$ следует определять непосредственно из результатов измерений или по формулам:

$$\sigma^2 S_{jx}(^{131}I) = \sigma^2 R_{jx} \cdot S^2_{jx}(^{137}Cs) + R^2_{jx} \cdot \sigma^2 S_{jx}(^{137}Cs), \qquad (11.26)$$

$$\sigma^2 S_x(^{131}I) = \sigma^2 R_x \cdot S^2_x(^{137}Cs) + R^2_x \cdot \sigma^2 S_x(^{137}Cs), \qquad (11.27)$$

$$\sigma^2 S_{xc}(^{131}I) = \sigma^2 R_{xc} \cdot S^2_{xc}(^{137}Cs) + R^2_{xc} \cdot \sigma^2 S_{xc}(^{137}Cs) \qquad (11.28)$$

Дисперсии $\sigma^2 S_{jx}(^{137}Cs)$, $\sigma^2 S_x(^{137}Cs)$ и $\sigma^2 S_{xc}(^{137}Cs)$ находят по результатам измерений плотности загрязнения ^{137}Cs, проведенным в окрестностях рассматриваемого НП и всей выделенной территории «х».

11.9. Погрешность средней дозы D^k в ЩЖ у k-ой возрастной группы жителей НП, рассчитанной для фактических условий НП по формуле 6.6 через стандартизованную дозу D^{st}, вычисленную по одной из формул – 6.2, 7.1, 7.2, 7.3 или 7.8, следует характеризовать

стандартным геометрическим отклонением $\beta(D^k)$, которое оценивать по соотношению:

$$[\ln\beta(D^k)]^2 = [\ln\beta(D^{st})]^2 + [\ln\beta_p]^2 + [\ln\beta(D_{1k} / D^{st}_{1k})]^2 \qquad (11.29)$$

При оценке последнего слагаемого в формуле 11.29 следует учитывать высокую степень корреляции величин D_{1k} и D^{st}_{1k}:

$$[\ln\beta(D_{1k} / D^{st}_{1k})]^2 = [\ln\beta(D_{1k})]^2 + [\ln\beta(D^{st}_{1k})]^2 - \\ - 2 \cdot cor(lnD_{1k}, \cdot lnD^{st}_{1k}) \cdot \ln\beta(D_{1k}) \cdot \ln\beta(D^{st}_{1k}), \text{ где} \qquad (11.30)$$

$cor(lnD_{1k}, lnD^{st}_{1k})$ – коэффициент корреляции между указанными в скобках величинами.

С целью упрощения расчетов погрешностей, во всех случаях следует принимать:

$cor(lnD_{1k}, lnD^{st}_{1k}) = 0{,}9$.

11.10. Погрешность определения индивидуализированной дозы D_{ind} по формуле 8.1 следует характеризовать *стандартным геометрическим отклонением* $\beta(D_{ind})$, оцениваемым по соотношению:

$$[\ln\beta(D_{ind})]^2 = \ln[1 + (\sigma D_{ind}) / D_{ind})^2], \qquad (11.31)$$

где дисперсию $(\sigma(D_{ind})^2$ следует рассчитывать по формуле:

$$\sigma^2 D_{ind} = \sigma^2 D_k \cdot [(1 - r_m - r_{gv}) + r_m \cdot (V_{m,ind} + K_{gm} \cdot V_{gm,ind}) / V_м + \\ + r_{gv} \cdot V_{gv,ind} / V_{gv})^2 + D^2_k \cdot [\sigma^2 r_m + \sigma^2 r_{gv} + \sigma^2 r_m \cdot (V_{m,ind} + \\ + K_{gm} \cdot V_{gm,ind})^2 / V^2_м + r^2_m \cdot \sigma^2((V_{m,ind} + K_{gm} \cdot V_{gm,ind}) / V_м + \\ + \sigma^2 r_{gv} \cdot (V_{gv,ind} / V_{gv})^2 + r^2_{gv} \cdot \sigma^2(V_{gv,ind} / V_{gv})] \qquad (11.32)$$

11.11. Погрешность определения дозы $D_f(u_f)$ облучения ЩЖ во внутриутробный период по формуле 8.2 или суммарной дозы $D_f(u_f)$, накопленной вследствие внутриутробного поступления ^{131}I и вскармливания материнским молоком (формула 8.2), следует характеризовать стандартным геометрическим отклонением βD_f, найденным по соответствующим соотношениям:

$$(\ln\beta D_f)^2 = (\ln\beta_{kf})^2 + (\ln\beta_{Dmoth})^2 \qquad (11.33)$$

$$(\ln\beta D_f)^2 = (\ln\beta_{kf+m})^2 + (\ln\beta_{Dmoth})^2, \qquad (11.33а)$$

где принимается, что стандартное геометрическое отклонение $\beta k_f = \beta k_{f+m} = 1{,}5$.

11.12. Погрешность определения вклада E_{th} поглощенной дозы в ЩЖ в среднюю накопленную эффективную дозу у жителей НП следует характеризовать *стандартным отклонением* σE_{th}, найденным из соотношения:

$$\sigma^2 E_{th} = 0{,}0025 \cdot \sum_{k=1..6} (\sigma^2 D^k \cdot w_{k^2} + (D^k)^2 \cdot \sigma^2 w_k) \quad (11.34)$$

Библиографический список

1. Оценка поглощенной дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС: Методические указания.—М.: Минздрав СССР, 1987.

2. One Decade after Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. IAEA, Vienna, 1996.

3. Звонова И. А., Балонов М. И., Братилова А. А., Балева Г. Е., Гридасова С. А., Митрохин М. А., Сажнева В. П. Оценка поглощенной дозы в щитовидной железе жителей Брянской, Тульской, Орловской областей по результатам радиометрии в 1986 году // Радиация и риск.—1997.—Вып. 10.—С. 95—116.

4. Арефьева З. С., Бадьин В. И., Гаврилин Ю. И., Гордеев К. И., Ильин Л. А., Крючков В. П., Маргулис У. Я., Осанов Д. П., Хрущ В. Т. Руководство по оценке доз облучения щитовидной железы при поступлении радиоактивных изотопов йода в организм человека / Под ред. Л. А. Ильина.—М.: Энергоатомиздат, 1988.

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

6. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. Annals of the ICRP, v. 23, № 3/4, 1993.

7. База данных плотности загрязнения территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239, -240 на 1 января 1996 г. / Росгидромет.

8. Реконструкция средней накопленной в 1986—1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов РФ, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году: МУ 2.6.1.579—96.—М.: Информационно-издательский центр МЗ РФ, 1997.

9. ICRP Publication 71. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4. Inhalation Dose Coefficients. Annals of the ICRP, v. 25, № 3/4, 1995.

10. Кайдановский Г. Н., Долгирев Е. И. Калибровка радиометров для массового контроля инкорпорированных нуклидов 131I, 134Cs и 137Cs, выполненная с помощью добровольцев // Радиация и риск.—1996.—Вып. 7.—С. 76—86.

11. Улановский А. В., Дроздович В. В. Влияние радионуклидов, распределенных в теле человека, на оценку доз облучения щитовидной железы по результатам прямых измерений. Препринт ИПЭ-27.—Минск, 1997.

12. Zvonova I. A., Balonov M. I., Bratilova A. A.. Thyroid Dose Reconstruction for Population of Russia Suffered after the Chernobyl Accident. Radiation Protection Dosimetry, 79, № 1—4, pp.175—178, 1998.

13. Питкевич В. А., Хвостунов И. К., Шишканов Н. Г. Влияние динамики выпадения 131I вследствие аварии на Чернобыльской АЭС на величину поглощенных доз в щитовидной железе для жителей Брянской и Калужской областей России // Радиация и риск.—1996.—Вып. 7.—С. 192—215.

14. Корнеев Н. А., Сироткин А. Н. Радиология сельскохозяйственных животных.—М.: Энергоатомиздат, 1987.—208 с.

15. Панченко С. В. Реконструкция уровней загрязнения молока 131I и другими радионуклидами на территории Брянской области в мае 1986 года. Препринт № IBRAE-99—04.—М., 1999.

16. Zvonova I. A., Balonov M. I., Bratilova A. A., Vlasov A. Ju., Pitkevich V. A., Vlasov O. K., Shishkanov N. G.. Methodology of Thyroid Dose Reconstruction for Population of Russia after the Chernobyl Accident. Proceedings of the 10-th IRPA Congress, Hiroshima, 2000.

17. Y. Gavrilin, V. Khrouch, S. Shinkarev, et.al. Chernobyl accident: reconstruction of thyroid dose for inhabitants of the Republic of Belarus. Health Physics, v.76, № 2, 105—118, 1999.

18. Гаврилин Ю. И., Хрущ В. Т., Шинкарев С. М. Обоснование полуэмпирической модели формирования доз внутреннего облучения щитовидной железы и выделения территории при расчете средних тироидных доз для сельских жителей // Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии.—1999.—№ 11.—С. 33—41.

19. Оценка дозы внутреннего облучения щитовидной железы йодом-131 по результатам определения содержания йода—129 в объектах окружающей среды: МУ 2.6.1.082—96—М.: Информационно-издательский центр МЗ РФ, 1997.

20. Звонова И. А. Оценка поглощенной дозы в щитовидной железе плода и новорожденных после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск.—1998.—Вып. 10.—С. 117—123.

Приложение 1

Данные для реконструкции даты радиоактивных выпадений в десяти областях Российской Федерации после Чернобыльской аварии

Административный район	Средний интервал времени между моментами аварии[1] и начала загрязнения, сут	Средний интервал времени между моментами аварии[1] и «максимума» загрязнения, сут[2]
1	2	3
Брянская		
Брасовский	3,1	3,9
Выгоничский	3,1	3,9
Гордеевский	2,6	3,6
Дятьковский	3,1	4,3
Злынковский	2,5	3,5
Карачевский	3,2	4,1
Климовский	2,6	3,6
Клинцовский	2,8	3,6
Комаричский	3,3	3,9
Красногорский	2,5	3,6
Мглинский	2,8	3,8
Навлинский	3,1	3,9
Новозыбковский	2,5	3,5
Погарский	2,8	3,8
Рогнединский	3,1	4,0
Севский	3,1	3,9
Стародубский	2,8	3,6
Суземский	3,1	3,9
Суражский	2,8	3,7
Трубчевский	2,8	3,7
Унечский	2,8	3,7

Продолжение приложения 1

1	2	3
Калужская		
Думиничский	3,6	4,3
Жиздринский	3,3	4,3
Кировский	3,6	4,3
Козельский	3,6	4,4
Куйбышевский	3,6	4,3
Людиновский	3,6	4,3
Мещовский	3,6	4,3
Ульяновский	3,3	4,3
Хвастовичский	3,3	4,2
Орловская		
Болховский	3,3	4,2
Верховский	3,3	4,2
Глазуновский	3,3	4,2
Дмитровский	3,3	4,0
Залегощенский	3,3	4,3
Знаменский	3,3	4,3
Корсаковский	3,5	4,2
Кромский	3,3	4,2
Малоархангельский	3,3	4,2
Мценский	3,3	4,3
Новодеревеньковский	3,4	4,2
Новосильский	3,5	4,3
Орловский	3,3	4,3
Покровский	3,3	4,3
Свердловский	3,3	4,2
Сосковский	3,3	4,2
Троснянский	3,3	4,1
Урицкий	3,3	4,1
Хотынецкий	3,3	4,2

Продолжение приложения 1

1	2	3
Шаблыкинский	3,3	4,0
Тульская		
Арсеньевский	3,4	4,4
Белевский	3,4	4,5
Богородицкий	3,5	4,3
Воловский	3,5	4,3
Донской	3,5	4,4
Ефремовский	3,4	4,3
Каменский	3,5	4,3
Кимовский	3,5	4,3
Киреевский	3,5	4,4
Куркинский	3,5	4,4
Новомосковский	3,5	4,3
Одоевский	3,5	4,3
Плавский	3,5	4,3
Тепло-Огаревский	3,5	4,3
Узловский	3,5	4,4
Чернский	3,5	4,2
Щекинский	3,5	4,4
Белгородская		
Алексеевский	3,8	5,0
Красненский	3,8	5,0
Новооскольский	3,5	4,8
Ровеньский	4,1	5,3
Старооскольский	3,5	4,8
Чернянский	3,8	4,9
Воронежская		
Аннинский	3,8	5,0
Верхнехавский	3,8	4,7

Продолжение приложения 1

1	2	3
Каширский	3,8	5,0
Нижнедевицкий	3,5	4,7
Ольховатский	3,9	5,2
Острогожский	3,8	5,0
Панинский	3,8	5,0
Репьевский	3,8	4,9
Хохольский	3,5	5,0
Курская		
Горшеченский	3,5	4,6
Дмитриевский	3,3	4,0
Железногорский	3,3	4,0
Поныровский	3,3	4,3
Фатежский	3,3	4,2
Хомутовский	3,3	4,0
Липецкая		
Грязинский	3,5	4,6
Данковский	3,3	4,5
Измалковский	3,3	4,6
Краснинский	3,3	4,5
Лев-Толстовский	3,3	4,6
Становлянский	3,3	4,5
Усманский	3,4	4,6
Чаплыгинский	3,5	4,5
Рязанская		
Кораблинский	3,5	4,7
Милославский	3,5	4,5
Михайловский	3,5	4,5
Ряжский	3,5	4,6
Скопинский	3,5	4,6

Продолжение приложения 1

1	2	3
Старожиловский	3,5	4,6
Тамбовская		
Моршанский	3,5	4,6
Петровский	3,5	4,8
Сосновский	3,5	4,7

(1) За момент Чернобыльской аварии принято время 01 ч 26.04.86.
(2) Точность оценки интервала времени t_1 – 0,1—0,2 сут.

Приложение 2

Время начала выпаса крупного рогатого скота в четырех областях России, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС (сутки после аварии на ЧАЭС)

№ п/п	Название района	Начало пастбищного сезона
1	2	3
Брянская область		
1	Брасовский	0
2	Брянский	0
3	Выгоничский	6
4	Гордеевский	0
5	Дубровский	6
6	Дятьковский	6
7	Жирятинский	6
8	Жуковский	6
9	Злынковский	0—4
10	Карачевский	0
11	Клетнянский	6
12	Климовский	0
13	Клинцовский	0
14	Комаричский	0
15	Красногорский	0—5
16	Мглинский	0
17	Навлинский	0
18	Новозыбковский	0—14
19	Погарский	0
20	Почепский	0
21	Рогнединский	4
22	Севский	0
23	Стародубский	0
24	Суземский	0

Продолжение приложения 2

1	2	3
25	Суражский	0
26	Трубчевский	0
27	Унечский	0
Калужская область		
1	Бабынинский	11
2	Барятинский	11
3	Думиничский	9
4	Жиздринский	9
5	Кировский	11
6	Козельский	9
7	Куйбышевский	9
8	Людиновский	9
9	Мещовский	11
10	Мосальский	11
11	Перемышльский	11
12	Спас-Деменский	11
13	Сухиничский	11
14	Ульяновский	9
15	Хвастовичский	9
Орловская область		
1	Болховский	7
2	Верховский	6
3	Глазуновский	1
4	Дмитровский	1
5	Должанский	6
6	Залегощенский	6
7	Знаменский	7
8	Колпнянский	1
9	Корсаковский	7
10	Краснозоренский	6

Продолжение приложения 2

1	2	3
11	Кромский	1
12	Ливенский	6
13	Малоархангельский	1
14	Мценский	7
15	Новодеревеньковский	6
16	Новосильский	7
17	Орловский	7
18	Покровский	7
19	Свердловский	1
20	Сосковский	1
21	Троснянский	1
22	Урицкий	1
23	Хотынецкий	7
24	Шаблыкинский	7
Тульская область		
1	Алексинский	11
2	Арсеньевский	9
3	Белевский	9
4	Богородицкий	10
5	Веневский	7
6	Воловский	10
7	Дубенский	11
8	Ефремовский	8
9	Заокский	11
10	Каменский	10
11	Кимовский	10
12	Киреевский	11
13	Куркинский	13
14	Ленинский	11
15	Новомосковский	10

Продолжение приложения 2

1	2	3
16	Одоевский	10
17	Плавский	11
18	Суворовский	11
19	Тепло-Огаревский	9
20	Узловский	6
21	Чернский	15
22	Щекинский	10
23	Ясногорский	11

Приложение 2а

Среднее время прекращения потребления молока местного производства жителями западных районов Брянской области (сутки после аварии на ЧАЭС)

Район	Время прекращения потребления молока, сут
Гордеевский	15—19
Злынковский	10—19
Климовский	14—17
Клинцовский	13—17
Красногорский	9—19
Новозыбковский	9—17

Приложение 3

Специальные приемы расчета средней поглощенной дозы

В случае, когда для некоторого числа жителей НП результаты расчета индивидуального содержания ^{131}I в ЩЖ в соответствии с основной формулой (3.3) оказываются отрицательными, необходимо провести оценку геометрически и арифметически средних значений несколькими методами, описанными ниже. При этом анализируются данные, приведенные к одной возрастной группе. Каждый из этих методов в той или иной мере основывается на свойствах логарифмически нормального распределения случайных величин.

1п. Метод порядковых статистик

Имеющиеся «n» индивидуальных значений доз D_i, включая и получившиеся формально отрицательные значения, следует расположить в порядке возрастания: $D_1<D_2<...D_{n-1}<D_n$. При нечетном числе «n» значение индивидуальной дозы D_i *с номером порядковой статистики* $i = (n + 1)/2$ в этом *вариационном ряду* является несмещенной и эффективной точечной оценкой медианы D распределения индивидуальных доз независимо от конкретного вида функции этого распределения. В случае четного числа «n» точечную оценку медианы распределения индивидуальных доз следует определять как среднее от двух значений: с номерами n/2 и n/2 + 1.

В соответствии с постулатом о логарифмически нормальном распределении индивидуальных доз, таким образом, геометрически среднюю дозу $D^{прив}$(геом. ср.) следует оценивать по соотношению:

$$D^{прив}(геом.\ ср.) = D, \qquad (1п)$$

2п. Метод линии регрессии в логарифмически нормальных координатах

При наличии достаточно большого числа (более 30) положительных расчетных значений индивидуальных «измеренных» доз следует провести в логарифмически нормальном масштабе графический анализ эмпирического распределения полученных данных, начиная построение кумулятивного распределения с положительных значений, учитывая в величине накопленной частоты и все формально отрицательные точечные значения. Координата по оси абсцисс, визуально найденная для точки пересечения прямой линии

регрессии с уровнем, соответствующим 50 % накопленной частоты, интерпретируется как логарифм от геометрически среднего значения.

Аналитическую оценку геометрически среднего значения дозы и соответствующей погрешности следует проводить методом наименьших квадратов.

Переход от геометрически среднего значения и стандартного геометрического отклонения к арифметически среднему значению и стандартному отклонению следует осуществлять в соответствии с формулами связи этих величин в случае логарифмически нормальной функции распределения (см. раздел 11).

3п. Метод арифметически среднего

В случае, когда формально отрицательные значения составляют небольшую (менее 10 %) долю в общем массиве данных по рассматриваемому НП, следует вычислить арифметически среднее значение через алгебраическую сумму всех индивидуальных значений, включая отрицательные. Аналогичный формальный расчет с сохранением отрицательных значений следует осуществить и для оценки стандартного отклонения. Следует также выполнить расчет арифметически среднего и стандартного отклонения, приписывая всем формально отрицательным величинам точное нулевое значение. Эти заведомо смещенные оценки арифметически средней дозы и стандартного отклонения полезны для общей ориентации в степени устойчивости получаемых результатов расчета.

Результаты расчетов, выполненных в соответствии с п. п. 5.4.1—5.4.3, следует сопоставить между собой, после чего сделать окончательный выбор относительно средней (приведенной) дозы, приписываемой жителям рассматриваемого НП.

Условия определения геометрически и арифметически средних значений дозы для каждого населенного пункта должны быть запротоколированы.

Реконструкция дозы излучения радиоизотопов йода в щитовидной железе жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году

МУ 2.6.1.1000—00

Редакторы Акопова Н. Е., Барабанова Т. Л., Кожока Н. В.
Верстка Юшкова Т. Г.
Технический редактор Смирнов В. В.

Подписано в печать 14.09.01

Формат 60x88/16 Печ. л. 4,0
Заказ 35

Тираж 500 экз.

ЛР № 021232 от 23.06.97

Министерство здравоохранения Российской Федерации
101431, Москва, Рахмановский пер., д. 3

Оригинал-макет подготовлен к печати и тиражирован
Издательским отделом Федерального центра госсанэпиднадзора
Минздрава России
125167, Москва, проезд Аэропорта, 11.
Отделение реализации, тел. 198-61-01

gost.e-ecolog.ru