

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО

С. А. Ковалев, В. С. Кузеванов

АНТОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие



2019

УДК 539.1+504
ББК 68.518я73
К560

Рецензенты:

д-р хим. наук, профессор *И.В. Власова*;
канд. техн. наук, доцент *А.И. Бокарев*

Ковалев, С. А.

К560 Антология безопасности. Радиационная безопасность : учебное пособие / С. А. Ковалев, В. С. Кузеванов. – Омск : Изд-во Ом. гос. ун-та, 2019. – 64 с.

ISBN 978-5-7779-2350-9

Представлены теоретические основы обеспечения радиационной безопасности и принципы защиты, раскрывается сущность аварии на потенциально опасных объектах, а также дается подробное описание систем. Особое место уделяется расчетам показателей аварий на потенциально опасных объектах.

Для студентов высших учебных заведений, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности» в рамках освоения бакалавриата, а также преподавателей, ведущих эту дисциплину.

**УДК 539.1+504
ББК 68.518я73**

Учебное издание

Ковалев Станислав Александрович, **Кузеванов** Виктор Сергеевич

АНТОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Радиационная безопасность

Учебное пособие

Редактор *Д.С. Нерозник*

Технический редактор *Е.В. Лозовая*

Дизайн обложки *З.Н. Образова*

Подписано в печать 18.02.2019. Формат бумаги 60х84 1/16.

Печ. л. 4,0. Усл. печ. л. 3,7. Уч.-изд. л. 2,7. Тираж 70 экз. Заказ 27.

Издательство Омского государственного университета. 644077, Омск, пр. Мира, 55а
Отпечатано на полиграфической базе ОмГУ. 644077, Омск, пр. Мира, 55а

ISBN 978-5-7779-2350-9

© Ковалев С. А., Кузеванов В. С., 2019
© ФГБОУ ВО «ОмГУ
им. Ф.М. Достоевского», 2019

Предисловие

В мире, и в Российской Федерации в частности, всегда происходили и до сих пор не перестают происходить различные чрезвычайные ситуации, вызванные факторами военного, биологического, политического, технологического, социального и иного характера. В таких ситуациях особое внимание должно уделяться проблеме обеспечения безопасности и выработке стратегии защиты жизненно-важных интересов личности, общества и государства в чрезвычайных ситуациях, в том числе и от терроризма.

Большинство людей не всегда умеют грамотно реагировать и действовать в сложных ситуациях. Поэтому во всех средних и высших учебных заведениях введена дисциплина безопасности жизнедеятельности. В ходе изучения данной дисциплины учащиеся получают навыки по защите от вредных, травмирующих и поражающих факторов, знания по прогнозированию их действия и оценке риска, вырабатывают определенные модели поведения в случае опасности.

Во втором десятилетии третьего тысячелетия перед цивилизацией встала проблема обеспечения безопасности человека, общества и государства, и она прежде всего связана с защитой от традиционных и новых вызовов и опасностей, принявших глобальные масштабы и грозящих дальнейшему существованию и развитию человеческого рода.

На современном этапе развития общества оно представляется не только как общество новых возможностей, но и как общество риска, опасностей, катастроф, в котором обеспечение безопасности оказывается одной из главных общечеловеческих ценностей.

Проблема безопасности на каждом этапе развития общества требовала от человечества поиска различных методов достижения защищенности, которые обуславливались социально-экономическим развитием, конкретной культурно-исторической ситуацией, образом жизни и мировоззрением.

На современном этапе жизни общества становится очевидным и актуальным направление формирования нового человека – побуждение личности к безопасному поведению в социуме, техно-сфере и природе на основе формирования мировоззрения безопасного общественного и личного бытия.

Ведь главным объектом и субъектом безопасности является человек – самое ценное и уязвимое, но наиболее опасное для себя и среды обитания, что существует на Земле.

Среди вопросов, представляющих научный интерес, немногие приковывают к себе столь неослабевающее внимание общественности и вызывают так много споров, как вопрос о действии радиации на человека и окружающую среду.

Радиоактивность и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли. С момента зарождения Вселенной радиация постоянно наполняет космическое пространство. В любой живой ткани человека присутствуют в следовых количествах радиоактивные вещества. Основную часть облучения человек получает от естественных источников радиации. Большинство их таково, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей истории существования нашей планеты разные виды излучения попадают на ее поверхность из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре.

Радиация действительно смертельно опасна. При больших дозах она вызывает серьезные поражения тканей, а при малых может вызвать рак и индуцировать генетические дефекты, которые, возможно, проявятся у детей и внуков человека, подвергшегося облучению, или у его более отдаленных потомков. С другой стороны, человек рождается и живет в условиях естественного радиационного воздействия, и оно оказывает благоприятное действие на развитие организма. Поэтому оценить радиационное воздействие на организм человека представляется довольно сложной задачей. Особенно трудно решается эта задача в области воздействия на человека малых доз.

Открытие радиоактивности датируется 1896 г., когда французский физик Анри Беккерель обнаружил испускание ураном неизвестного проникающего излучения, названного им радиоактивным.

В 1898 г. французские физики Мария и Пьер Кюри открыли два новых радиоактивных элемента – полоний и радий.

Работами английского физика Эрнеста Резерфорда, а также работами Марии и Пьера Кюри было установлено наличие трех видов радиоактивных излучений.

В 1934 г. французские физики, супруги Фредерик и Ирен Жолио-Кюри, открыли искусственную радиоактивность, изучение которой привело к открытию новых видов распада.

Изучение радиоактивного излучения и исследования ученых в этой области воплотились в создание в 1945 г. атомной бомбы. В августе 1945 г. атомное оружие впервые в истории было использовано не на испытаниях, а против мирного населения. Две бомбы в считанные секунды уничтожили более 200 тыс. человек, многие подверглись облучению, что повлекло за собой возникновение лучевой болезни, катаракты, рака, бесплодия.

В 1954 г. в СССР и в 1956 г. в Великобритании были созданы первые промышленные атомные станции.

К сожалению, человек не всегда в состоянии совладать с огромной силой, которую несет в себе атом. Человечеству известны катастрофы, ставшие результатом небрежного отношения к атомной энергии.

В нашей стране одной из таких катастроф была авария на химкомбинате «Маяк» в Челябинской области, где 29 сентября 1957 г. в результате выхода из строя системы охлаждения бетонной емкости с нитратно-ацетатными высокоактивными отходами произошел тепловой взрыв отходов, приведший к выбросу радиоактивных продуктов деления в атмосферу и последующему их рассеянию и осадению на части территорий Челябинской, Свердловской, Тюменской областей.

Весь мир потрясла трагедия в Чернобыле 26 апреля 1986 г. В результате двух взрывов произошел выброс радиоактивных газов и раскаленных паров в атмосферу, продолжавшийся примерно 20 суток, но особенно интенсивно – в первые 10 суток. В результате катастрофы было эвакуировано около 100 тыс. человек. Особенно пострадали территории Беларуси, Украины, Брянской области.

За 60 лет использования атомной энергии в мире накопились сотни миллионов тонн радиоактивных отходов, образующихся в

результате деятельности атомных электростанций (далее – АЭС). Ни одна из 34 стран с атомной энергетикой не знает сегодня решения проблемы отходов. Большая часть отходов сохраняет свою радиоактивность до 240 тыс. лет и должна быть изолирована от биосферы на это время. Сегодня отходы содержатся во «временных» хранилищах или захораниваются неглубоко под землей. Пока человечество не придумало ничего более разумного и надежного.

Глава 1

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ В НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Радиационный фон в различных районах земного шара разный, есть районы в Индии, Иране, Франции, Италии, Канаде, Чехии, где средние значения земной радиации выше нормы в 200–1000 раз. Это зависит, в частности, от залегания радиоактивных пород. У людей, родившихся и проживающих в этих районах, состояние здоровья не хуже, чем у людей, проживающих в условиях нормального радиационного фона. Однако, люди, приезжающие в эти районы, начинают болеть.

Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов, использование газа для приготовления пищи, открытых угольных жаровен, герметичность помещений и даже полеты на самолетах (за 3–4-часовой полет человек получает дозу 0,025 Зв) – всё это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации.

Естественные и искусственные источники ионизирующего излучения создают радиационный фон в окружающей среде.

Естественный радиационный фон создается космическим излучением и излучением от радионуклидов земного происхождения (калий-40, уран-238, торий-232, рубидий-87, радон).

Космическое излучение делят на галактическое, межгалактическое и солнечное. Средний возраст галактического излучения – от 1 до 10 млн лет, а плотность потока частиц – величина постоянная и составляет 1–2 частицы на см/с. Галактическое излучение обладает очень высокой энергией (10^{10} МэВ). Такое излучение губительно для всего живого.

Это излучение задерживается радиационными поясами Земли. Существование поясов связано с наличием магнитного пояса Земли. Заряженные частицы обычно движутся вдоль магнитных силовых линий по спирали.

Имеется два радиационных пояса:

- внешний;
- внутренний.

Наибольший прорыв космического излучения на полюсах, поэтому они имеют больше космической радиации.

Частично потерявшие энергию космические лучи попадают в атмосферу и ею поглощаются, вызывая вторичное излучение, представляющее почти все известные частицы.

Космические лучи, проходя через атмосферу, вызывают появление космогенных радионуклидов. Их насчитывается около 20 (наиболее известные из них – тритий, углерод-14, бериллий-7, сера-32, натрий-22).

Вклад в космическое излучение вносят и вспышки на солнце, при которых происходит выброс в космическое пространство протонов. Это явление называется солнечным излучением. По сравнению с галактическим излучением эта энергия не значительна.

Дадим определение ионизирующего излучения согласно ст. 1 Федерального закона от 9 ноября 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»: **ионизирующее излучение** – излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

Под ионизирующим излучением понимают любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разного знака. То есть термин «ионизирующее излучение» означает вид излучения, который изменяет физическое состояние атомов или атомных ядер, превращая их в электрически заряженные ионы или продукты ядерных реакций.

Процесс ионизации среды может сопровождаться как поглощением, так и выделением энергии, радиоактивность сопровождается излучениями, исходящими из ядра в процессе явления самопроизвольного превращения атомных ядер в ядра других химических элементов.

Радиоактивность может быть естественной и искусственной.

Естественная радиоактивность – это явление самопроизвольного превращения атомных ядер в ядра других химических элементов.

Искусственная – радиоактивность ядер, продуктов ядерных реакций. Из общего числа известных нуклидов (их более 2 000) только 300 – природные. Остальные получены в результате ядерных реакций.

Продолжительность жизни радиоактивных ядер характеризуется периодом полураспада (промежуток времени, за которое число радиоактивных ядер уменьшится в среднем вдвое).

Весь процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида называется радиоактивным распадом, а сам такой нуклид – радионуклидом.

Явление радиоактивности сопровождается образованием радиоактивных лучей, в магнитном поле эти лучи расщепляются на три части, они названы α -, β -, γ -лучами.

α -лучи – это поток положительно заряженных частиц, ядер атомов гелия. α -частица имеет большую массу, поэтому быстро теряет энергию, быстро тормозится, имеет маленький пробег. Проникающая способность α -излучения не велика, частицы полностью задерживаются листом бумаги.

β -лучи – это поток электронов, т. е. отрицательно заряженных частиц. Проникающая способность примерно в 100 раз больше, чем у α -лучей. β -лучи поглощаются алюминием толщиной в несколько сантиметров. β -частица в 4 000 раз меньше α -частицы.

α - и β -частицы не опасны как источники внешнего облучения, они опасны при попадании внутрь организма.

γ -лучи – электромагнитные волны наподобие рентгеновских, но с более короткой длиной волны. Их проникающая способность в 100 раз больше, чем у β -излучения, легко проникает через такие преграды, как бетон. В качестве эффективной защиты служит свинец.

По своему воздействию на организм человека наибольшую опасность представляет α -излучение, при работе с α - и β -источниками необходимо применять средства защиты, такие как респираторы (в 100 раз снижают риск), перчатки, защитные экраны, противогазы, очки, бахилы, защитные фартуки и т. п.

1.1. Активность радионуклида

Активность – мера радиоактивности источника, т. е. это число радиоактивных распадов в единицу времени.

Единица измерения активности – обратная секунда (с^{-1}), имеющая специальное название – беккерель (Бк). 1 Бк равен ак-

тивности радионуклида в источнике, в котором за 1 с происходит одно спонтанное ядерное превращение.

Внесистемная единица – кюри, $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Активность радионуклида (A) – это отношение числа dW спонтанных (самопроизвольных) ядерных превращений в источнике за интервал времени dt к этому интервалу:

$$A = dW / dt.$$

Существуют понятия удельной и объемной активности, если радионуклид находится в другом веществе, например в пищевых продуктах, строительных материалах, воздухе и т. д.

Активность удельная (объемная) – отношение активности радионуклида в веществе к массе m (объему V) вещества:

$$A_m = A / m;$$

$$A_v = A / v.$$

Единица удельной активности – Бк/кг.

Единица объемной активности – Бк/м³.

1.2. Доза поглощенная

В настоящее время для учета воздействия ионизирующего излучения на организм человека используют следующие виды доз излучения:

- поглощенная;
- эквивалентная;
- эффективная.

Каждый вид излучения несет с собой энергию, которая передается облучаемому веществу. Количество переданной энергии называется *дозой*. Дозу излучения человек может получить от любого радионуклида или их смеси, независимо от того, находятся ли они вне его тела или внутри него. Ни один вид энергии не приносит такого вреда организму человека, как ионизирующее излучение. Например, от стакана выпитого чая температура тела в среднем повышается на 0,01 °С, если такую энергию передать в виде ионизирующего излучения, то живой организм погибает.

Количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела (тканями, органами), называется **поглощенной дозой** (D):

$$D = d\bar{e} / dm,$$

где $d\bar{e}$ – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, а dm – масса вещества в этом объеме.

Энергия может быть усреднена по любому определенному объему, и в этом случае средняя доза будет равна полной энергии, переданной объему, деленной на массу этого объема:

$$D = E / M.$$

В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название – грей (Гр, Gy).

Использовавшаяся ранее внесистемная единица рад равна 0,01 Гр, или 1 Гр = 100 рад.

Ранее использовалась единица рентген (Р), 100 Р $\approx$ 1 Гр.

Поглощенная доза учитывает количество энергии, поглощенной телом человека, но эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе организму будет причинен не одинаковый вред, например, α -излучение гораздо опаснее, чем β - или γ -излучение. Для учета особенностей отдельных видов излучения используется доза эквивалентная.

1.3. Доза эквивалентная

Доза эквивалентная ($H_{T,R}$) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R},$$

где $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани T , W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R .

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R}.$$

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (W_R):

Фотоны любых энергий (γ -излучение).....	1
Электроны и мюоны любых энергий (β -излучение).....	1
Нейтроны (в зависимости от энергии)	5–20
Протоны	5
α -частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Единицей измерения эквивалентной дозы в системе СИ является зиверт (Зв), представляющий собой единицу поглощенной дозы, умноженную на взвешивающий коэффициент, учитывающий неодинаковую радиационную опасность для организма человека разных видов ионизирующего излучения.

Например, для γ -излучения 1 Зв = 1 Гр, но для α -излучения 1 Зв = 0,05 Гр.

Таким образом, эквивалентная доза учитывает вид излучения, однако одни части тела (органы, ткани) чувствительнее других. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе. Поэтому для учета радиочувствительности отдельных тканей и органов вводится эффективная доза.

1.4. Доза эффективная

Доза эффективная (E) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T,$$

где H_T – эквивалентная доза в органе или ткани T , W_T – взвешивающий коэффициент для органа ткани.

Единица измерения эффективной дозы – зиверт (Зв).

Взвешивающие коэффициенты для некоторых тканей при расчете эффективной дозы (W_T):

Гонады.....	0,20
Костный мозг (красный).....	0,12
Толстый кишечник.....	0,12
Легкие.....	0,12

Желудок.....	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Щитовидная железа.....	0,05
Кожа.....	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01

Доза эффективная (эквивалентная) годовая – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Единицей измерения единой годовой эффективной дозы является зиверт (Зв).

Доза эффективная коллективная – мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз.

Единица измерения эффективной коллективной дозы – человеко-зиверт (чел-Зв).

1.5. Мощность дозы излучения

Мощность дозы – это доза излучения за единицу времени, т. е. она характеризует скорость накопления дозы и может увеличиваться или уменьшаться со временем.

Единица измерения мощности (P) – Зв · ч⁻¹, или мкЗВ/ч – для эффективной и эквивалентной дозы, Гр/ч⁻¹, или мкГр/ч – для поглощенной дозы.

Глава 2

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

2.1. Общая характеристика аварий на радиационно опасных объектах

Источниками опасности радиационной аварии являются радиационно опасные объекты (далее – РОО), к числу которых относятся объекты, на которых хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества, при аварии на которых или их разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды (ГОСТ Р 220.05-94).

К РОО относятся:

- 1) атомные станции;
- 2) атомные электрические станции (АЭС);
- 3) атомные станции промышленного теплоснабжения;
- 4) полигоны для испытания ядерного оружия;
- 5) хранилища жидких и твердых радиоактивных отходов;
- 6) специальные комбинаты «Радон» по переработке и захоронению отходов;
- 7) различные научно-исследовательские институты, лаборатории и т. д.

Особое место среди РОО занимают атомные электростанции, атомные теплоэлектростанции, атомные станции теплоснабжения и атомные станции промышленного теплоснабжения.

Основным и наиболее опасным элементом атомных станций является **ядерный реактор**.

На атомных электростанциях наиболее широко распространены корпусные, водо-водяные энергетические реакторы ВВЭР и водо-графитные реакторы канального типа РБМК (реактор большой мощности). Существуют ядерные реакторы типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000, РБМК-1000, РБМК-1500, БН-600 (Белоярская АЭС).

В активной зоне реактора, где размещены тепловыделяющие элементы, происходит реакция деления ядер урана-235. В результате торможения осколков деления их кинетическая энергия преобразуется в тепловую и нагревает реактор.

Процесс деления в тепловыделяющих элементах длится несколько лет, поскольку загрузка реактора ядерным топливом осуществляется, как правило, один раз в три года.

Во время реакции в тепловыделяющих элементах накапливаются продукты ядерного деления с большим периодом полураспада: Sr-90, Cs-137, Pu-239 (240, 241, 242).

В ходе трехгодичного периода эксплуатации реактора процентное содержание долгоживущих радионуклидов увеличивается. В случае радиационной аварии долгоживущие радионуклиды создают устойчивое радиоактивное загрязнение местности.

В период нормального функционирования РОО с целью профилактики и контроля устанавливают основные зоны безопасности:

1. Санитарно-защитная зона (далее – СЗЗ) – территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации может превысить предел дозы облучения населения.

2. Зона наблюдения – территория за пределами СЗЗ, на которой проводится традиционный контроль.

Потенциальная опасность РОО определяется его возможным радиационным воздействием на население при радиационной аварии.

По потенциальной радиационной опасности устанавливают четыре категории объектов, согласно СП.2.6.1.799-99:

- **к 1-й категории** относятся объекты, при аварии на которых возможно радиационное воздействие на население и могут потребоваться меры по его защите;

- **к 2-й категории** относятся объекты, при аварии на которых радиационное воздействие ограничивается территорией СЗЗ;

- **к 3-й категории** относятся объекты, при аварии на которых радиационное воздействие ограничивается территорией объекта;

- **к 4-й категории** относятся объекты, при аварии на которых радиационное воздействие ограничивается помещением, где проводятся работы с источником излучения.

Виды радиационных аварий и их стадий

Радиационная авария – авария на РОО, приводящая к выходу или выбросу радиоактивных веществ и/или ионизирующих излучений за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации данного объекта границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасности его эксплуатации.

В зависимости от возможности предусмотреть возникновение аварии заблаговременно и осуществить необходимые меры, аварии на АЭС могут быть разделены на:

- проектные;
- запроектные (гипотетические).

Практика эксплуатации РОО показывает, что на них возможны следующие виды радиационных аварий:

1. Выброс радиоактивных веществ с газами, сброс их с водой при нарушениях в технологических системах очистки и охлаждения. Радиационное заражение не выходит за пределы РОО.

2. Выброс радиоактивных веществ вследствие теплового взрыва, приводящего к заражению окружающей среды.

Радиационные аварии по масштабу воздействия подразделяются на три типа:

• **Локальные** – нарушения в работе РОО, при которых не произошел выход радиоактивных веществ или ионизирующих излучений за предусмотренные границы оборудования, технических систем, зданий и сооружений в количествах, превышающих установленные для нормальной эксплуатации предприятия значения.

• **Местные** – нарушения в работе РОО, при которых произошел выход радиоактивных веществ за границы СЗЗ в количествах, превышающих установленные нормы для данного предприятия.

• **Общие** – нарушения в работе РОО, при которых произошел выход радиоактивных веществ за границы СЗЗ в количествах, приводящих к радиоактивному загрязнению прилегающих территорий и возможному облучению проживающего на ней населения выше установленных норм.

При оценке событий на АЭС в международном масштабе различают виды событий, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Международная шкала ядерных событий (JNES)

Уровень	Тип	Воздействие на окружающую среду	Пример
7	Крупная авария	Крупный выброс, крупномасштабное воздействие на здоровье и окружающую среду	Чернобыль, СССР, 1986 г.
6	Серьезная авария	Значительный выброс: возможно, потребуется полное осуществление запланированных контрмер	Завод по переработке топлива в Кыштыме, СССР, 1957 г.
5	Авария, сопровождаемая риском за пределами площадки	Ограниченный выброс: возможно, потребуется частичное осуществление запланированных контрмер	Реактор в Уиндскейле, Великобритания, 1957 г.
4	Авария, не сопровождаемая значительным риском за пределами площадки	Незначительный выброс. Облучение населения по порядку сравнимо с установленными пределами	Завод по переработке топлива в Уиндскейле, Великобритания, 1989 г.
3	Серьезный инцидент	Весьма небольшой выброс. Облучение населения на уровне доли установленных пределов	АЭС «Вандельос», Испания, 1989 г.
2	Инцидент	–	–
1	Аномалия	–	–
0 (ниже уровня)	Отклонение	Не имеет значимости с точки зрения безопасности	–

При прогнозе радиационных последствий мер по защите населения выделяют три фазы протекания аварии:

1. **Ранняя фаза** – от начала аварии до момента прекращения выброса радиоактивных веществ в атмосферу и окончания формирования следа на местности. Продолжительность фазы от нескольких часов до нескольких суток.

2. **Промежуточная фаза** – от момента завершения формирования следа до принятия всех мер по защите населения. Длительность от нескольких дней до года после возникновения аварии.

3. **Восстановительная фаза** – длится до прекращения необходимости выполнения защитных мер.

При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение последующего облучения осуществляется защитными мероприятиями, применяемыми, как правило, к окружающей среде и/или к человеку.

2.2. Оценка годовых эффективных доз облучения населения

Общее облучение организма складывается из внутреннего и внешнего облучения. Эффективная доза облучения равна сумме эффективной дозы внешнего облучения и эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов.

Радионуклиды, находящиеся на местности и содержащиеся в воздухе, в продуктах питания, в воде, подразделяются (характеризуются периодом полураспада) на:

- короткоживущие, с периодом полураспада до 1 года (J-131, Ni-56, Zn-65);
- долгоживущие, с периодом полураспада более 1 года (Sr-90, Cs-137 и др.).

Поступление радионуклидов в организм может идти различными путями, основными из которых являются:

- пероральный (с продуктами питания и питьевой водой);
- ингаляционный (с вдыхаемым воздухом).

В региональном органе санэпиднадзора имеются данные о загрязненности радионуклидами продуктов питания. НРБ-99/2009 устанавливают стандартные условия для поступления радионуклидов в организм человека, которые характеризуются:

- величиной объема воздуха ($V_{\text{нас}}$), с которым радионуклиды поступают на протяжении календарного года;
- массой воды (рациона) ($M_{\text{нас}}$), с которой радионуклиды поступают в организм на протяжении календарного года;
- временем облучения в течение календарного года.

Оценка годовых эффективных доз облучения населения включает порядок ее определения.

Задача 1. Определить годовую эффективную дозу облучения детей (1–2 года) от продуктов питания, загрязненных радионуклидами: молоко – 50 кг, Bi-206 – удельная активность – 1000 Бк/кг.

Решение:

1. По табл. П.1.1 норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009) определяем период полураспада Bi-206: $T_{1/2} = 6,24$ сут.

2. Определяем годовую активность по молоку:

$$A_{\text{Bi-206}} = m \cdot A_0 \cdot T / 8800 / 0,693 = \\ = 50 \cdot 1000 \cdot 149,76 / 8800 / 0,693 = 1227,863 \text{ Бк.}$$

3. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) определяем дозовый коэффициент:

$$E_{\text{Bi-206}} = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк.}$$

4. Определяем годовую эффективную дозу облучения от потребляемого молока:

$$E_{\text{эфф}} = A_{\text{Bi-206}} \cdot E^{\text{пп}} = 1227,863 \cdot 1,10^{-8} \approx 0,01 \text{ мЗв.}$$

5. Естественное облучение в полученную дозу не входит.

Вывод: если другие продукты питания не загрязнены радионуклидами, то эффективная доза не превосходит значения 1 мЗв, следовательно, его можно употреблять в пищу.

Задача 2. Определить эффективную дозу облучения детей в возрасте 12–17 лет от продуктов питания, загрязненных радионуклидами: мясо – 50 кг; Ca-41 – удельная активность 700 Бк/кг; Pb-202 – удельная активность 15 Бк/кг.

Решение:

1. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) определяем период полураспада Ca-41: $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^5$ лет; Pb-202: $T_{1/2} = 3,00 \cdot 10^5$ лет.

2. Определяем суммарную годовую активность продуктов питания:

$$A_{\text{Ca-41}} = 50 \cdot 700 = 35\,000 \text{ Бк;}$$

$$A_{\text{Pb-202}} = 50 \cdot 15 = 750 \text{ Бк.}$$

3. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) находим дозовые коэффициенты:

$$E_{\text{Ca-41}} = 5,0 \cdot 10^{-10} \text{ Зв/Бк;}$$

$$E_{\text{Pb-202}} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк.}$$

4. Определяем дозы от каждого радионуклида:

$$E(\text{Ca-41})_{\text{эфф}} = 35\,000 \cdot 5 \cdot 10^{-10} = 0,0175 \text{ мЗв;}$$

$$E(\text{Pb-202})_{\text{эфф}} = 750 \cdot 2,7 \cdot 10^{-8} = 0,02025 \text{ мЗв.}$$

5. Определяем общую дозу облучения от двух радионуклидов:

$$E(\text{общ})_{\text{эфф}} = 0,0175 + 0,02025 = 0,03775 \text{ мЗв.}$$

Задача 3. Определить эффективную дозу облучения взрослых людей (старше 17 лет) от вдыхаемого воздуха, загрязненного радионуклидом Ra-232, объемная активность – 10 Бк/м³.

Решение:

1. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) определяем период полураспада Ra-232: $T_{1/2} = 1,31$ сут.

2. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) определяем объем вдыхаемого воздуха: $V = 8100 \text{ м}^3$.

3. Определяем годовую суммарную активность радионуклида:

$$A_{\text{Ra-232}} = V \cdot A_0 \cdot T / 8800 / 0,693 = 8100 \cdot 10 \cdot 31,44 / 8800 / 0,693 = 417,59148 \text{ Бк.}$$

4. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) определяем дозовый коэффициент:

$$E_{\text{Ra-232}} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк.}$$

5. Определяем эффективную дозу облучения:

$$E(\text{возд.})_{\text{эфф}} = 417,59 \cdot 1 \cdot 10^{-8} = 0,00418 \text{ мЗв.}$$

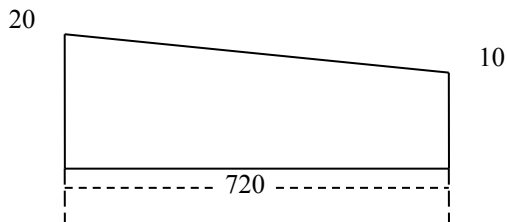
Задача 4. Определить эффективную дозу облучения населения в течение одного месяца (30 суток), если известно, что мощность дозы j -излучения на начало месяца на открытой местности составляет 20 мкЗв/ч, в зданиях – 25 мкЗв/ч, в конце месяца на открытой местности – 10 мкЗв/ч, в зданиях – 0,7 мкЗв/ч.

Решение:

1. Продолжительность облучения в часах составит $30 \cdot 24 = 720$ ч.

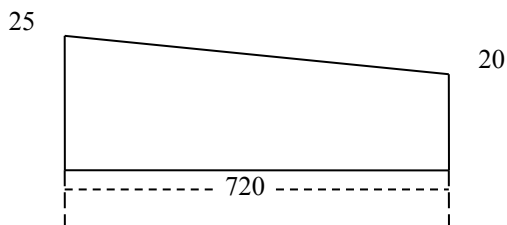
2. Доза на открытой местности (при условии нахождения населения на открытой местности 20 % времени):

$$E(\text{ом})_{\text{эфф}} = (20 + 10) \cdot 720 \cdot 0,2 / 2 = 2160 \text{ мкЗв.}$$



3. Доза, полученная населением в зданиях (при условии нахождения населения 80 % времени в зданиях):

$$E(\text{зд})_{\text{эфф}} = (25 + 20) \cdot 720 \cdot 0,8 / 2 = 12960 \text{ мкЗв}.$$



4. Поглощенная доза составит:

$$E_{\text{эфф}} = 2160 + 12960 \text{ мкЗв} = 15,12 \text{ мЗв}$$

– без учета дозы облучения от естественного облучения.

Задача 5. Оценить качество потребляемой воды, если в воде обнаружены следующие радионуклиды: La-137, удельная активность – 1000 Бк/кг; Sm-146, удельная активность – 2 Бк/кг.

Решение:

$$\sum_{i=1}^n A_i / \text{VB}_2 \leq 1, \quad 1000 / 1700 + 2 / 2,6 = 1,357 > 1.$$

Уровень вмешательства находим в табл. П.1.1 (НРБ-99/2009).

Вывод: данную воду употреблять нельзя.

Задача 6. Определить общую эффективную годовую дозу облучения людей, если известно, что мощность дозы j -излучения на открытой местности составляет 0,8 мкЗв/ч, а в зданиях – 0,9 мкЗв/ч, употребляющих продукты питания, загрязненные радионуклидами: молоко 50 кг Bi-206, удельная активность –

1000 Бк/кг. Естественный радиационный фон на местности $P_o^M = 0,12$ мкЗв/ч, в зданиях – 0,25 мкЗв/ч.

Решение:

1. Определяем $E_{\text{эфф}}^{\text{внеш}}$:

$$E_{\text{эфф}}^{\text{внеш}} = 8800 \cdot 0,7 [(P^M - P_o^M) \cdot 0,2 + (P^{30} - P_o^{30}) \cdot 0,8] = \\ = 8800 \cdot 0,7 [(0,8 - 0,12) \cdot 0,2 + (0,9 - 0,25) \cdot 0,8] = 39 \text{ мЗв},$$

где 0,7 – коэффициент перехода от эквивалентной дозы к эффективной дозе для j -излучения.

2. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) определяем период полураспада Bi-206: $T_{1/2} = 6,24$ сут.

3. Определяем суммарную активность продуктов питания:

$$A_{\text{Bi-206}} = 50 \cdot 1000 \cdot 149,76 / 8800 / 0,693 = 1227,863 \text{ Бк}.$$

4. По табл. П.1.1 (НРБ-99/2009) находим дозовый коэффициент:

$$E_{\text{Bi-206}} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк}.$$

5. Определяем дозу облучения от продуктов питания:

$$E_{\text{эфф}}^{\text{внутр}} = 1227,863 \cdot 1 \cdot 10^{-8} \approx 0,01 \text{ мЗв}.$$

6. Определяем общую эффективную годовую дозу облучения:

$$E_{\text{эфф}}^{\text{общ}} = E_{\text{эфф}}^{\text{внеш}} + E_{\text{эфф}}^{\text{внутр}} = 3,9 + 0,01 = 3,91 \text{ мЗв}.$$

2.3. Критерии принятия решений на вмешательство и зонирование загрязненных территорий

При проведении противорадиационных вмешательств основные дозовые пределы не принимаются.

Исходя из принципов планирования вмешательств на случай радиационной аварии, органами госсанэпиднадзора устанавливаются **уровни вмешательства** (дозы и мощности дозы облучения, уровни радиоактивного загрязнения) применительно к конкретному РОО и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии, сценариев развития аварийной ситуации и складывающейся радиационной обстановки.

Срочное вмешательство

Срочное вмешательство необходимо, если предполагаемая доза облучения достигает уровней, при превышении которых возможны клинически определенные эффекты (табл. 2).

Таблица 2

Дозы облучения, критические для тканей и органов человека

<i>Орган или ткань</i>	<i>Поглощенная доза за двое суток, Гр</i>
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	2
Плод	0,1

Обязательное вмешательство

Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием с уровнями А и Б (табл. 3–5).

Уровни вмешательства по пищевым продуктам применяются в отношении общего потребления пищи. Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов и отселении приведены в табл. 4 и 5.

Уровни вмешательства при хроническом облучении приведены в табл. 6.

Таблица 3

**Критерии для принятия неотложных решений
в начальном периоде аварии**

<i>Меры защиты</i>	<i>Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр</i>			
	<i>На все тело</i>		<i>Щитовидная железа, легкие, кожа</i>	
	<i>Уровень А</i>	<i>Уровень Б</i>	<i>Уровень А</i>	<i>Уровень Б</i>
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика:				
– взрослые;	–	–	250*	2500*
– дети	–	–	100*	1000*
Эвакуация	50	500	500	5000

* Только для щитовидной железы.

Таблица 4

Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов

<i>Меры защиты</i>	<i>Предотвращаемая эффективная доза, мЗв</i>	
	<i>Уровень А</i>	<i>Уровень Б</i>
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды	5 за первый год	50 за первый год
	1/год в последующие годы	10/год в последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за все время отселения	

Таблица 5

Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов питания в первый год после возникновения аварии

<i>Радионуклиды</i>	<i>Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, кБк/кг</i>	
	<i>Уровень А</i>	<i>Уровень Б</i>
I-131, Cs-134, Cs-137	1	10
Sr-90	0,1	1
Pu-238, Pu-239, Am-241	0,01	0,1

Таблица 6

Уровни вмешательства при хроническом облучении

<i>Орган или ткань</i>	<i>Годовая поглощенная доза, Гр</i>
Гонады	0,2
Хрусталик глаза	0,1
Красный костный мозг	0,4

Зона радиационной аварии – территория, на которой установлен факт радиационной аварии. Защита населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, осуществляется путем вмешательства на основе *принципов безопасности вмешательства*.

На разных стадиях аварии вмешательство регулируется зонированием загрязненных территорий, которое основывается на

величине годовой эффективной дозы, которая может быть получена жителями в отсутствие мер радиационной защиты.

Под годовой дозой здесь понимается эффективная доза, средняя у жителей населенного пункта за текущий год, обусловленная количеством искусственных радионуклидов, поступивших в окружающую среду в результате радиационной аварии.

На территории, где годовая эффективная доза не превышает 1 мЗв, производится обычный контроль радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, по результатам которого оценивается доза облучения населения. Проживание и хозяйственная деятельность населения на этой территории по радиоактивному фактору не ограничивается. Она не относится к зонам радиоактивного загрязнения.

При величине годовой дозы более 1 мЗв загрязненные территории по характеру необходимого контроля обстановки и защитных мероприятий разделяются на четыре зоны:

1. **Зона радиационного контроля** – от 1 до 5 мЗв. В этой зоне, помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внешнего и внутреннего облучения, критических групп населения осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения.

2. **Зона ограниченного проживания** – от 5 до 20 мЗв. В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, что и в зоне радиационного контроля. Добровольный въезд на указанную территорию для проживания не ограничивается. Лицам, въезжающим на территорию для постоянного проживания, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации.

3. **Зона отселения** – от 20 до 50 мЗв. Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляется радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

4. **Зона отчуждения** – более 50 мЗв. В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и при-

родопользование регулируются специальными актами. Осуществляются меры мониторинга и защиты, работающих с обязательным и индивидуальным дозиметрическим контролем.

Согласно Федеральному закону от 9 ноября 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», **территории, подвергшиеся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, подразделяются на следующие зоны:**

1. Зона отчуждения – запрещается постоянное проживание населения.

2. Зона отселения – эффективная доза облучения может превысить 5,0 мЗв.

3. Зона проживания с правом на отселение – эффективная доза облучения населения превышает 1 мЗв.

4. Зона проживания с льготным социально-экономическим статусом – среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения населения не должна превышать 1 мЗв.

Приложение 2 включает фотографии, предоставленные архивом цикла ГОЧС СибАДИ (в 1990-е гг.), сделанные непосредственным участником ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. для отчета о проделанной работе. Фотографии соответствуют определенным этапам работ по «захоронению» объектов жилого фонда.

Этапы работ:

1. Подготовка объекта жилищного фонда к захоронению.

2. Полив объекта водой для уменьшения пылеобразования при захоронении.

3. Снятие верхнего слоя, загрязненного радионуклидами, и сбор его в одном месте.

4. Подготовка котлована.

5. Отвал «чистого» грунта.

6. Завершение подготовки объекта к захоронению.

7. Сталкивание объекта жилого фонда в котлован.

8. Дополнительная «проливка» водой для осаживания пылевого облака.

9. Засыпка котлована «чистым» грунтом.

10. Выравнивание площадки.

При проведении работ по «захоронению» населенных пунктов в зоне отчуждения использовалась инженерная техника специального назначения:

1. **Путепрокладчик БАТ** (бульдозер на артиллерийском тягаче):

Назначение: прокладывание дорожных путей, перемещение грунта, засыпка оврагов и воронок

Оборудование: универсальный отвал

Угол перекоса отвала: 10°

Углубление, мм: 450

Подъем, мм: 3700

Ширина отвалов в разных положениях, мм:

- грейдер – 4300
- бульдозером – 4570
- путепрокладчика – 4000

Расчет, чел.: 2

2. **Войсковой одноковшовый гидравлический экскаватор ЭОВ-4421:**

Базовое шасси: КрАЗ-255Б

Наибольшая высота опорожнения ковша, м: 4,5

Максимальный радиус копания, м: 7,34

Габаритные размеры в транспортном положении, мм:

- ширина – 2770
- длина – 9400
- высота – 4200

Масса экскаватора, т: 20

Коля, мм: 2160

Дорожный просвет, мм: 335

Максимальная транспортная скорость, км/ч: 70

Расчет, чел.: 2

3. **Пожарная автоцистерна АЦ-40 (131) модель 137А:**

Базовое шасси: ЗИЛ 131/6х6

Сигнал тревоги: газовая или электрическая сирена

Вместимость, л:

- цистерна для воды – 2500
- бак для пенообразователя – 170

Мощность (максимальная), л.с.: 150

Скорость (максимальная), с полной нагрузкой, км/ч: 80

Запас огнетушащих средств, куб. м. / л, не менее:

- вода – 2,73 / 2730
- пенообразователя – 0,17 / 170

Всасывающее устройство: насос вакуумный струйный

Длина напорных рукавов, м: 408

Дальность подачи струи лафетного ствола:

- водяной, м – 50
- пенной, – 3

Подача насоса, л/с: 40

Напор насоса, м: 100

Количество ручных стволов: 6

Габаритные размеры, мм:

- длина – 7640
- ширина – 2500
- высота – 2950

Масса автомобиля с полной нагрузкой, кг: 11100

Расчет, чел.: 2

4. Гусеничный бульдозер Т-130:

Мощность, л.с. (кВт): 160 (118)

Масса конструкционная, кг: 12720

Дорожный просвет, мм: 415

Тяговый класс: 10

- база – 2480 мм
- колея – 1800 мм
- мощность – 140 л.с.
- удельное давление на грунт – 0,05 МПа

Расчет, чел.: 1.

В приложении 3 представлены воспоминания участников ликвидации аварии. Текст воспоминаний показывает степень эмоционального восприятия непосредственным участником операции масштаба проведенных работ.

Для нанесения зон радиоактивного загрязнения (прогнозируемых) на топографическую карту (схему местности) на определенный момент времени при аварии на АЭС необходимы следующие исходные данные:

- дата и время аварии;

- тип реактора (источника ионизирующего излучения);
- азимут ветра;
- скорость ветра, м/с;
- состояние вертикальной устойчивости атмосферы;
- мощность доз облучения на 10 часов после аварии.

ВОПРОСЫ

для самоподготовки студентов

1. Общие сведения о радиации (излучение, активность, изотопы, радионуклиды, период полураспада).

2. Дозы облучения (поглощенная, эквивалентная, эффективная), единицы измерения, мощность дозы излучения.

3. Биологические эффекты воздействия радиации на организм человека.

4. Основные нормативные документы в области радиационной безопасности, принципы обеспечения радиационной безопасности населения.

5. Источники ионизирующего излучения, виды облучения, классы нормативов, категории облучаемых лиц, основные пределы доз.

6. Ограничение облучения населения природными источниками ионизирующего излучения.

7. Ограничение облучения населения медицинскими источниками ионизирующего излучения.

8. Ограничение облучения населения в условиях радиационной аварии, уровни вмешательства, критерии принятия решения.

9. Основные показатели радиационной безопасности населения, документы, характеризующие радиационную безопасность населения.

10. Оценка годовых эффективных доз облучения населения природными источниками ионизирующего излучения.

11. Оценка годовых эффективных доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения, за счет текущей деятельности организаций.

12. Оценка годовых эффективных доз облучения населения за счет глобальных выпадений и прошлых радиоактивных загрязнений.

13. Радиационно опасные объекты, характеристика аварий на РОО, принципы обеспечения безопасности в условиях радиационной аварии.

14. Оценка годовых эффективных доз облучения населения в результате аварии на РОО.

15. Зонирование загрязненных территорий и критерии принятия решения на вмешательство, уровни вмешательства при радиационных авариях.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Расчет оценки состояния радиационной безопасности населения

ФОРМУЛЫ

по оценке состояния радиационной безопасности населения

Природные источники ионизирующего излучения

$$E_{np} = E_{\kappa} + E_{внеш} + E_{внутр} + E_{рад}$$

1

$$E_{внеш} = 8800 \cdot K \cdot (0,8 P_{оз} + 0,2 P_{ул}) / 1000$$

2

$$E_{внутр} = E_{nn} + E_{воздух}$$

3

$$E_{\kappa} = E_{\kappa 1} + E_{\kappa 2} + E_{\kappa 3}$$

4

при отсутствии данных:

$$E_{рад} = 0,83$$

5

$$E_{\kappa 1} = 0,24 \cdot (0,205 \cdot e^{-1,65h} + 0,795 \cdot e^{0,453h})$$

6

$$E_{\kappa 2} = 0,03 \begin{cases} e^{1,04h} & \text{при } h < 2 \text{ км,} \\ 1,98 \cdot e^{0,63h} & \text{при } h \geq 2 \text{ км} \end{cases}$$

7

при отсутствии данных:

$$E_{\kappa 3} = E_{с-14} = 0,012$$

8

при отсутствии данных:

$$E_{nn} = 0,16$$

9

при отсутствии данных:

$$E_{воздух} = 0,006$$

10

Техногенные источники ионизирующего излучения

$$E_{\text{эфф}} = E_{\text{внеш}} + E_{\text{внутр}} \quad \text{11}$$

Внешняя эффективная доза облучения

$$E_{\text{внеш}} = 8800 \cdot K_{\gamma\delta} \cdot K \cdot (P_{\text{ул}} - P_{o\text{ ул}}) / 1000 \quad \text{12}$$

$$E_{\text{внеш}} = 8800 \cdot K \cdot [0,2(P_{\text{ул}} - P_{o\text{ ул}}) + 0,8(P_{\text{зд}} - P_{o\text{ зд}})] / 1000 \quad \text{13}$$

$$E_{\text{внеш}} = t \cdot K \cdot [0,2(P_{\text{ср ул}} - P_{o\text{ ул}}) + 0,8(P_{\text{ср зд}} - P_{o\text{ зд}})] / 1000 \quad \text{14}$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_n + 2 \sum_{i=2}^{n-1} P_i}{2(n-1)} \quad \text{15}$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad \text{16}$$

$$K = 0,7 \text{ или } K = 1 \quad \text{17}$$

$$K_{\gamma\delta} = 0,2 \text{ или } K_{\gamma\delta} = 0,3 \quad \text{18}$$

Внутренняя годовая эффективная доза облучения

$$E_{\text{внутр}} = E_{\text{ин}} + E_{\text{всозд}} \quad \text{19}$$

Эффективная доза от пищевых продуктов

$$A_{\text{ин}}(PH_{T>1}) = A_{o\text{ин}}(PH_{T>1}) \cdot M \quad \text{20}$$

$$A_{\text{ин}}(PH_{T<1}) = \frac{A_{o\text{ин}}(PH_{T<1}) \cdot M \cdot T}{0,693 \cdot 8800} \quad \text{21}$$

$$A_{\text{ин}}(PH) = \sum_{i=1}^n A_{\text{ин}}(PH)_i \quad \text{22}$$

$$E_{\text{ин}}(PH) = 100 \cdot \varepsilon_{\text{ин}}(PH) \cdot A_{\text{ин}}(PH) \quad \text{23}$$

$$E_{\text{ин}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ин}}(PH)_i \quad \text{24}$$

Эффективная доза от вдыхаемого воздуха

$$A_{\text{в}}(PH_{T>1}) = A_{o\text{в}}(PH_{T>1}) \cdot V \quad \text{25}$$

$$A_{\text{в}}(PH_{T<1}) = \frac{A_{o\text{в}}(PH_{T<1}) \cdot V \cdot T}{0,693 \cdot 8800} \quad \text{26}$$

$$E_6(PH) = 1000 \cdot \varepsilon_6(PH) \cdot A_6(PH)$$

27

$$E_6 = \sum_{i=1}^n E_6(PH)_i$$

28

Оценка качества питьевой воды

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\gamma B_i} \leq 1$$

29

Коллективная эффективная доза облучения населения

$$S_{\text{внутр}} = 1E(-3) \cdot \sum_{i=1}^n E_{i \text{ внутр}} \cdot N_i$$

30

$$S = S_{\text{внутр}} + S_{\text{внешн}}$$

31

$$S_{\text{внешн}} = 1E(-3) \cdot \sum_{i=1}^n E_{i \text{ внешн}} \cdot N_i$$

32

$$E_{\text{эфф}} = 1000 \cdot \frac{S}{N_{\Sigma}}$$

33

Таблица П.1.1

**Значения дозовых коэффициентов,
пределов годового поступления с воздухом и пищей,
допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе
и уровни вмешательства при поступлении с водой
отдельных радионуклидов для населения**

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{\text{нас}}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{\text{нас}}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (γB)
H-3	12,3 лет	2,7–10	4,8–11	7,7+3
Be-7	53,3 сут	9,6–11	1,3–10	5,0+3
Be-10	1,60+6 лет	3,5–8	8,0–9	1,3+2
C-14	5,73+3 лет	2,5–9	1,6–9	2,4+2
Na-22	2,60 лет	7,3–9	1,5–8	4,3+1
Al-26	7,16+5 лет	2,0–8	2,1–8	4,0+1
Si-32	4,50+2 лет	1,1–7	4,1–9	2,5+2
P-32	14,3 сут	4,0–9	1,9–8	5,8+1
P-33	25,4 сут	1,9–9	1,8–9	5,8+2
S-35	87,4 сут	1,8–9	8,7–10	1,1+3
Cl-36	3,01+5 лет	8,8–9	6,3–9	1,5+2

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
K-40	1,28+9 лет	1,7–8	4,2–8	2,2+1
Ca-41	1,40+5 лет	3,3–10	5,0–10	7,3+2
Ca-45	163 сут	4,6–9	4,9–9	2,0+2
Ca-47	4,53 сут	2,6–9	9,3–9	8,7+1
Sc-44m	2,44 сут	8,4–9	1,6–8	5,8+1
Sc-46	83,8 сут	8,4–9	7,9–9	9,3+1
Sc-47	3,35 сут	9,2–10	3,9–9	2,6+2
Sc-48	1,82 сут	5,9–9	9,3–9	8,2+1
Ti-44	47,3 лет	1,2–7	3,1–8	2,4+1
V-48	16,2 сут	4,3–9	1,1–8	6,9+1
V-49	330 сут	2,1–10	1,4–10	7,7+3
Cr-51	27,7 сут	2,1–10	2,3–10	3,7+3
Mn-52	5,59 сут	6,8–9	8,8–9	7,7+1
Mn-53	3,70+6 лет	3,4–10	2,2–10	4,6+3
Mn-54	312 сут	1,9–9	3,1–9	2,0+2
Fe-55	2,70 лет	6,2–10	2,4–9	4,2+2
Fe-59	44,5 сут	4,6–9	1,3–8	7,7+1
Fe-60	1,00+5 лет	1,4–7	2,3–7	1,3
Co-56	78,7 сут	5,8–9	1,5–8	5,6+1
Co-57	271 сут	6,7–10	1,6–9	6,6+2
Co-58	70,8 сут	2,0–9	4,4–9	1,9+2
Co-60	5,27 лет	1,2–8	2,7–8	4,1+1
Ni-56	6,10 сут	1,1–9	4,0–9	1,6+2
Ni-57	1,50 сут	2,8–9	4,9–9	1,6+2
Ni-59	7,50+4 лет	6,2–10	3,4–10	2,2+3
Ni-63	96,0 лет	4,8–10	8,4–10	9,3+2
Ni-66	2,27 сут	9,4–9	2,2–8	4,6+1
Cu-67	2,58 сут	7,7–10	2,4–9	4,1+2
Zn-65	244 сут	1,9–9	1,6–8	3,6+1
Zn-72	1,94 сут	6,5–9	8,6–9	9,9+1
Ga-67	3,26 сут	3,0–10	1,2–9	7,3+2
Ge-68	288 сут	1,6–8	8,0–9	1,1+2
Ge-69	1,63 сут	1,4–9	1,3–9	5,8+2
Ge-71	11,8 сут	8,6–11	7,8–11	1,2+4

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
As-71	2,70 сут	5,0–10	2,8–9	3,0+2
As-72	1,08 сут	5,7–9	1,2–8	7,7+1
As-73	80,3 сут	1,2–9	1,9–9	5,3+2
As-74	17,8 сут	2,6–9	8,2–9	1,1+2
As-76	1,10 сут	4,6–9	1,1–8	8,7+1
As-77	1,62 сут	5,0–10	2,9–9	3,5+2
Se-75	120 сут	2,5–9	1,3–8	5,3+1
Se-79	6,50+4 лет	5,6–9	2,8–8	4,8+1
Br-77	2,33 сут	5,1–10	4,4–10	1,4+3
Br-82	1,47 сут	7,9–10	2,6–9	2,6+2
Rb-83	86,2 сут	3,8–9	8,4–9	7,3+1
Rb-84	32,8 сут	6,4–9	1,4–8	5,0+1
Rb-86	18,7 сут	7,7–9	2,0–8	5,0+1
Sr-82	25,0 сут	4,0–8	4,1–8	2,3+1
Sr-83	1,35 сут	1,9–9	2,7–9	2,8+2
Sr-85	64,8 сут	8,8–10	3,1–9	2,5+2
Sr-89	50,5 сут	7,3–9	1,8–8	5,3+1
Sr-90	29,1 лет	5,0–8	8,0–8	5,0
Y-87	3,35 сут	2,2–9	3,2–9	2,5+5
Y-88	107 сут	5,4–9	6,0–9	1,1+2
Y-90	2,67 сут	8,8–9	2,0–8	5,1+1
Y-91	58,5 сут	1,0–8	1,8–8	5,8+1
Zr-88	83,4 сут	3,0–9	2,0–9	3,1+2
Zr-89	3,27 сут	2,8–9	4,5–9	1,8+2
Zr-93	1,53+6 лет	1,0–8	1,1–9	1,3+2
Zr-95	64,0 сут	5,9–9	5,6–9	1,5+2
Nb-93m	13,6 лет	2,4–9	9,1–10	1,2+3
Nb-94	2,03+4 лет	1,3–8	9,7–9	8,2+1
Nb-95	35,1 сут	1,9–9	3,2–9	2,4+2
Nb-95m	3,61 сут	1,0–9	4,1–9	2,5+2
Mo-93	3,50+3 лет	6,6–10	6,9–9	4,5+1
Mo-99	2,75 сут	4,4–9	3,5–9	2,3+2
Tc-95m	61,0 сут	1,1–9	2,8–9	2,5+2
Tc-96	4,28 сут	3,9–9	5,1–9	1,3+2

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Tc-97	2,60+6 лет	2,8–10	4,9–10	2,0+3
Tc-97m	87,0 сут	4,1–9	4,1–9	2,5+2
Tc-98	4,20+6 лет	1,0–8	1,2–8	6,9+1
Tc-99	2,13+5 лет	5,0–9	4,8–9	2,2+2
Ru-97	2,+90 сут	6,1–10	8,5–10	9,3+2
Ru-103	39,3 сут	3,0–9	4,6–9	1,9+2
Ru-106	1,01 лет	2,8–8	4,9–8	2,0+1
Rh-99	16,0 сут	1,1–9	2,9–9	2,7+2
Rh-101	3,20 лет	6,2–9	2,8–9	2,5+2
Rh-101m	4,34 сут	2,7–10	1,2–9	6,3+2
Rh-102	2,90 лет	2,0–8	1,0–8	5,3+1
Rh-102m	207 сут	8,2–9	7,4–9	1,2+2
Rh-105	1,47 сут	4,5–10	2,7–9	3,8+2
Pd-100	3,63 сут	1,5–9	5,2–9	1,5+2
Pd-103	17,0 сут	5,3–10	1,4–9	7,3+2
Pd-107	6,50+6 лет	5,9–10	2,8–10	3,8+3
Ag-105	41,0 сут	1,3–9	2,5–9	3,0+2
Ag-106m	8,41 сут	5,8–9	6,9–9	9,3+1
Ag-108m	1,27+2 лет	8,6–9	1,1–8	6,0+1
Ag-110m	250 сут	9,2–9	1,4–8	5,0+1
Ag-111	7,45 сут	1,9–9	9,3–9	1,1+2
Cd-109	1,27 лет	1,4–8	9,5–9	6,9+1
Cd-113m	13,6 лет	1,1–7	5,6–8	6,0
Cd-115	2,23 сут	5,1–9	9,7–9	9,9+1
Cd-115m	44,6 сут	8,9–9	1,9–8	4,2+1
In-111	2,83 сут	1,2–9	1,7–9	4,8+2
In-114m	49,5 сут	7,7–8	3,1–8	3,4+1
Sn-113	115 сут	3,2–9	5,0–9	1,9+2
Sn-117m	13,6 сут	3,1–9	5,0–9	2,0+2
Sn-119m	293 сут	2,6–9	2,5–9	4,1+2
Sn-121	1,13 сут	2,9–10	1,7–9	6,0+2
Sn-121m	55,0 лет	5,5–9	2,7–9	3,7+2
Sn-123	129 сут	9,5–9	1,6–8	6,6+1
Sn-125	9,64 сут	1,5–8	2,2–8	4,5+1

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Sn-126	1,00+5 лет	3,3–8	3,0–8	3,0+1
Sb-119	1,59 сут	2,8–10	5,8–10	1,7+3
Cb-120	5,76 сут	5,0–9	6,0–9	1,2+2
Cb-122	2,70 сут	5,7–9	1,2–8	8,2+1
Cb-124	60,2 сут	5,7–9	1,6–8	5,6+1
Cb-125	2,77 лет	5,8–9	6,1–9	1,3+2
Cb-126	12,4 сут	5,1–9	1,4–8	5,8+1
Cb-127	3,85 сут	2,1–9	1,2–8	8,2+1
Te-121	17,0 сут	1,9–9	2,0–9	3,2+2
Te-121m	154 сут	5,1–9	1,2–8	6,0+1
Te-123m	120 сут	5,0–9	8,8–9	9,9+1
Te-125m	58,0 сут	4,3–9	6,3–9	1,6+2
Te-127m	109 сут	9,2–9	1,8–8	6,0+1
Te-129m	33,6 сут	8,0–9	2,4–8	4,6+1
Te-131m	1,25 сут	5,8–9	1,4–8	7,3+1
Te-132	3,26 сут	1,3–8	3,0–8	3,7+1
I-124	4,18 сут	4,5–8	1,1–7	1,1+1
I-125	60,1 сут	1,1–8	5,7–8	9,3
I-126	13,0 сут	8,3–8	2,1–7	4,8
I-129	1,57+7 лет	6,7–8	1,9–7	1,3
I-131	8,04 сут	7,2–8	1,8–7	6,3
Cs-129	1,34 сут	2,8–10	3,0–10	2,3+3
Cs-131	9,69 сут	1,7–10	2,9–10	2,4+3
Cs-132	6,48 сут	1,2–9	1,8–9	2,8+2
Cs-134	2,06 лет	6,6–9	1,9–8	7,3
Cs-135	2,30+6 лет	6,9–10	2,0–9	6,9+1
Cs-136	13,1 сут	2,0–9	9,5–9	4,6+1
Cs-137	30,0 лет	4,6–9	1,3–8	1,1+1
Ba-128	2,43 сут	7,8–9	1,7–8	5,1+1
Ba-131	11,8 сут	9,7–10	2,6–9	3,1+2
Ba-133	10,7 лет	5,5–9	7,3–9	9,3+1
Ba-133m	1,62 сут	2,2–9	3,6–9	2,6+2
Ba-135m	1,20 сут	1,8–9	2,9–9	3,2+2
Ba-140	12,7 сут	6,2–9	1,8–8	5,3+1

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
La-137	6,00+4 лет	8,7–9	4,5–10	1,7+3
La-140	1,68 сут	6,3–9	1,3–8	6,9–1
Ce-134	3,00 сут	7,6–9	1,8–8	5,6+1
Ce-137m	1,43 сут	2,2–9	3,9–9	2,6+2
Ce-139	138 сут	2,1–9	1,6–9	5,3+2
Ce-141	32,5 сут	4,1–9	5,1–9	2,0+2
Ce-143	1,38 сут	3,9–9	8,0–9	1,3+2
Ce-144	284 сут	1,6–7	3,9–8	2,7+1
Pr-143	13,6 сут	3,0–9	8,7–9	1,2+2
Nd-147	11,0 сут	3,0–9	7,8–9	1,3+2
Pm-143	265 сут	1,7–9	1,2–9	6,0+2
Pm-144	363 сут	9,3–9	4,7–9	1,4+2
Pm-145	17,7 лет	3,6–9	6,8–10	1,3+3
Pm-146	5,53 лет	2,1–8	5,1–9	1,5+2
Pm-147	2,62 лет	5,8–9	1,9–9	5,3+2
Pm-148	5,37 сут	1,1–8	1,9–8	5,1+1
Pm-148m	41,3 сут	7,1–9	1,0–8	8,2+1
Pm-149	2,21 сут	3,6–9	7,4–9	1,4+2
Pm-151	1,18 сут	2,6–9	5,1–9	1,9+2
Sm-145	340 сут	1,9–9	1,4–9	6,6+2
Sm-146	1,03+8лет	1,1–5	1,5–7	2,6
Sm-151	90,0 лет	4,0–9	6,4–10	1,4+3
Sm-153	1,95 сут	7,9–10	5,4–9	1,9+2
Eu-145	5,94 сут	1,9–9	3,7–9	1,9+2
Eu-146	4,61 сут	4,4–9	6,2–9	1,1+2
Eu-147	24,0 сут	1,3–9	2,5–9	3,2+2
Eu-148	54,5 сут	4,6–9	6,0–9	1,1+2
Eu-149	93,1 сут	3,5–10	6,3–10	1,4+3
Eu-150	34,2 лет	5,3–8	5,7–9	1,1+2
Eu-152	13,3 лет	4,2–8	7,4–9	9,9+1
Eu-154	8,80 лет	5,3–8	1,2–8	6,9+1
Eu-155	4,96 лет	6,9–9	2,2–9	4,3+2
Eu-156	15,2 сут	4,2–9	1,5–8	6,3+1
Gd-146	48,3 сут	7,9–9	6,0–9	1,4+2

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Gd-147	1,59 сут	2,2–9	3,2–9	2,3+2
Gd-148	93,0 лет	2,6–5	1,6–7	2,5
Gd-149	9,40 сут	9,2–10	2,7–9	3,1+2
Gd-151	120 сут	4,9–9	1,3–9	6,9+2
Gd-153	242 сут	1,2–8	1,8–9	5,1+2
Tb-153	5,34 сут	1,0–9	1,5–9	5,6+2
Tb-155	5,32 сут	2,7–10	1,3–9	6,6+2
Tb-156	5,34 сут	1,5–9	6,3–9	1,2+2
Tb-156m	1,02 сут	2,7–10	1,0–9	8,2+2
Tb-157	1,50+2 лет	1,2–9	2,2–10	4,1+3
Tb-158	1,50+2 лет	4,6–8	5,9–9	1,3+2
Tb-160	72,3 сут	8,6–9	1,0–8	8,7+1
Tb-161	6,91 сут	1,6–9	5,3–9	1,9+2
Dy-159	144 сут	1,7–9	6,4–10	1,4+3
Dy-166	3,40 сут	2,3–9	1,2–8	8,7+1
Ho-166	1,12 сут	4,0–9	1,0–8	9,9+1
Ho-166m	1,20+3 лет	1,2–7	9,3–9	6,9+1
Er-169	9,30 сут	1,3–9	2,8–9	3,8+2
Er-172	2,05 сут	1,4–9	6,8–9	1,4+2
Tm-167	9,24 сут	1,4–9	3,9–9	2,5+2
Tm-170	129 сут	8,5–9	9,8–9	1,1+2
Tm-172	2,65 сут	5,8–9	1,2–8	8,2+1
Yb-166	2,36 сут	3,7–9	5,4–9	1,5+2
Yb-169	32,0 сут	3,7–9	4,6–9	2,0+2
Yb-175	4,19 сут	9,2–10	3,2–9	3,2+2
Lu-169	1,42 сут	1,9–9	2,4–9	3,0+2
Lu-170	2,00 сут	3,5–9	5,2–9	1,4+2
Lu-171	8,22 сут	1,1–9	4,0–9	2,1+2
Lu-172	6,70 сут	2,0–9	7,0–9	1,1+2
Lu-173	1,37 лет	2,9–9	1,6–9	5,3+2
Lu-174	3,31 лет	4,9–9	1,7–9	5,1+2
Lu-174m	142 сут	5,0–9	3,8–9	2,6+2
Lu-177	6,71 сут	1,5–9	3,9–9	2,6+2
Lu-177m	161 сут	2,0–8	1,1–8	8,2+1

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Hf-172	1,87 лет	3,2–8	6,1–9	1,4+2
Hf-175	70,0 сут	1,4–9	2,4–9	3,4+2
Hf-178m	31,0 лет	2,6–7	1,9–8	3,0+1
Hf-179m	25,1 сут	4,8–9	7,8–9	1,2+2
Hf-181	42,4 сут	6,3–9	7,4–9	1,3+2
Hf-182	9,00+6 лет	3,1–7	7,9–9	4,6+1
Ta-177	2,36 сут	5,0–10	6,9–10	1,3+3
Ta-179	1,82 лет	6,4–10	4,1–10	2,1+3
Ta-182	115 сут	1,3–8	9,4–9	9,3+1
Ta-183	5,10 сут	2,7–9	9,3–9	1,1+2
W-178	21,7 сут	5,4–10	1,4–9	6,3+2
W-181	121 сут	1,9–10	4,7–10	1,8+3
W-185	75,1 сут	1,0–9	3,3–9	3,2+2
W-188	69,4 сут	5,0–9	1,5–8	6,6+1
Re-182	2,67 сут	6,3–9	8,9–9	9,9+1
Re-184	38,0 сут	2,4–9	5,6–9	1,4+2
Re-184m	165 сут	8,1–9	9,8–9	9,3+1
Re-186	3,78 сут	5,7–9	1,1–8	9,3+1
Re-186m	2,00+5 лет	1,4–8	1,6–8	6,3+1
Re-189	1,01 сут	2,6–9	6,2–9	1,8+2
Os-185	94,0 сут	1,9–9	2,6–9	2,7+2
Os-191	15,4 сут	2,3–9	4,1–9	2,4+2
Os-193	1,25 сут	2,7–9	6,0–9	1,7+2
Os-194	6,00 лет	8,5–8	1,7–8	5,8+1
Ir-188	1,73 сут	2,2–9	3,3–9	2,2+2
Ir-189	13,3 сут	7,3–10	1,7–9	5,8+2
Ir-190	12,1 сут	3,0–9	7,1–9	1,2+2
Ir-192	74,0 сут	8,1–9	8,7–9	9,9+1
Ir-192m	2,41+2 лет	3,9–8	1,4–9	4,5+2
Ir-193m	11,9 сут	1,6–9	2,0–9	5,1+2
Ir-194m	171 сут	1,5–8	1,1–8	6,6+1
Pt-188	10,2 сут	2,7–9	4,5–9	1,8+2
Pt-191	2,80 сут	7,9–10	2,1–9	4,1+2
Pt-193	50,0 лет	1,6–10	2,4–10	4,5+3

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Pt-193m	4,33 сут	1,0–9	3,4–9	3,1+2
Pt-195m	4,02 сут	1,5–9	4,6–9	2,2+2
Au-194	1,65 сут	1,4–9	2,2–9	3,3+2
Au-195	183 сут	2,1–9	1,7–9	5,6+2
Au-198	2,69 сут	4,4–9	7,2–9	1,4+2
Au-198m	2,30 сут	2,5–9	8,5–9	1,1+2
Au-199	3,14 сут	1,0–9	3,1–9	3,2+2
Hg-194	2,60+2 лет	1,4–8	1,2–7	2,7
Hg-197	2,67 сут	4,0–10	1,2–9	8,2+2
Hg-203	46,6 сут	3,7–9	1,1–8	7,3+1
Tl-200	1,09 сут	8,7–10	9,1–10	6,9+2
Tl-201	3,04 сут	3,3–10	5,5–10	1,5+3
Tl-202	12,2 сут	1,2–9	2,1–9	3,1+2
Tl-204	3,78 лет	3,3–9	8,5–9	1,2+2
Pb-202	3,00+5 лет	8,7–9	2,7–8	1,6+1
Pb-203	2,17 сут	1,0–9	1,3–9	5,8+2
Pb-205	1,43+7 лет	2,9–10	9,9–10	5,0+2
Pb-210	22,3 лет	1,3–6	3,6–6	2,0–1
Bi-205	15,3 сут	1,2–9	4,5–9	1,5+2
Bi-206	6,24 сут	2,1–9	1,0–8	7,3+1
Bi-207	38,0 лет	6,5–9	7,1–9	1,1+2
Bi-210	5,01 сут	1,1–7	9,7–9	1,1+2
Bi-210m	3,00+6 лет	4,1–6	9,1–8	9,3
Po-210	138 сут	4,0–6	8,8–6	1,2–1
Ra-223	11,4 сут	9,4–6	1,1–6	1,4
Ra-224	3,66 сут	3,7–6	6,6–7	2,1
Ra-225	14,8 сут	7,9–6	1,2–6	1,4
Ra-226	1,60+3 лет	4,5–6	1,5–6	5,0–1
Ra-228	5,75 лет	4,4–6	5,3–6	2,0–1
Ac-225	10,0 сут	1,1–5	1,8–7	5,8
Ac-226	1,21 сут	1,6–6	7,6–8	1,4+1
Ac-227	21,8 лет	5,5–4	3,1–6	1,3–1
Th-227	18,7 сут	1,3–5	7,0–8	1,6+1
Th-228	1,91 лет	4,7–5	3,7–7	1,9

Продолжение табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Th-229	7,34+3 лет	7,1–5	1,0–6	2,8–1
Th-230	7,70+4 лет	1,4–5	4,1–7	6,6–1
Th-231	1,06 сут	1,7–9	2,5–9	4,1+2
Th-232	1,40+10 лет	2,5–5	4,5–7	6,0–1
Th-234	24,1 сут	9,1–9	2,5–8	4,1+1
Ra-230	17,4 сут	9,6–7	5,7–9	1,5+2
Ra-231	3,27+4 лет	1,4–4	1,3–6	2,0–1
Ra-232	1,31 сут	1,0–8	4,2–9	1,9+2
Ra-233	27,0 сут	4,9–9	6,2–9	1,6+2
U-230	20,8 сут	1,7–5	3,0–7	2,5
U-231	4,20 сут	4,6–10	2,0–9	5,0+2
U-232	72,0 лет	1,0–5	6,4–7	4,2–1
U-233	1,58+5 лет	4,3–6	1,4–7	2,7
U-234	2,44+5 лет	4,2–6	1,3–7	2,9
U-235	7,04+8 лет	3,7–6	1,3–7	3,0
U-236	2,34+7 лет	3,9–6	1,3–7	3,0
U-237	6,75 сут	2,1–9	5,4–9	1,8+2
U-238	4,47+9 лет	3,4–6	1,2–7	3,1
Np-234	4,40 сут	3,0–9	4,4–9	1,7+2
Np-235	1,08 лет	5,1–10	4,1–10	2,6+3
Np-236	1,15+5 лет	3,2–6	1,8–8	8,2
Np-237	2,14+6 лет	2,3–5	2,1–7	1,3
Np-238	2,12 сут	2,1–9	6,2–9	1,5+2
Np-239	2,36 сут	1,2–9	5,7–9	1,7+2
Pu-236	2,85 лет	2,0–5	2,2–7	1,6
Pu-237	45,3 сут	4,3–10	6,9–10	1,4+3
Pu-238	87,7 лет	4,6–5	4,0–7	6,0–1
Pu-239	2,41+4 лет	5,0–5	4,2–7	5,6–1
Pu-240	6,54+3 лет	5,0–5	4,2–7	5,6–1
Pu-241	14,4 лет	9,0–7	4,8–9	2,9+1
Pu-242	3,76+5 лет	4,8–5	4,0–7	5,8–1
Pu-244	8,26+7 лет	4,7–5	4,1–7	5,8–1
Pu-246	10,9 сут	9,1–9	2,3–8	4,2+1
Am-240	2,12 сут	2,2–9	3,3–9	2,4+2

Окончание табл. П.1.1

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Поступление с воздухом, дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	Поступление с водой и пищей	
			дозовый коэффициент, Зв/Бк ($E_{нас}$)	уровень вмешательства, Бк/кг (УВ)
Am-241	4,32+2 лет	4,2–5	3,7–7	6,9–1
Am-242m	1,52+2 лет	3,7–5	3,0–7	7,3–1
Am-243	7,38+3 лет	4,1–5	3,7–7	6,9–1
Cm-240	27,0 сут	3,8–6	4,8–8	1,8+1
Cm-241	32,8 сут	4,4–8	5,7–9	1,5+2
Cm-242	163 сут	6,4–6	7,6–8	1,2+1
Cm-243	28,5 лет	3,1–5	3,3–7	9,3–1
Cm-244	18,1 лет	2,7–5	2,9–7	1,2
Cm-245	8,50+3 лет	4,2–5	3,7–7	6,6–1
Cm-246	4,73+3 лет	4,2–5	3,7–7	6,6–1
Cm-247	1,56+7 лет	3,9–5	3,5–7	7,3–1
Cm-248	3,39+5 лет	1,5–4	1,4–6	1,8–1
Cm-250	6,90+3 лет	8,4–4	8,2–6	3,2–2
Bk-245	4,94 сут	2,6–9	3,9–9	2,4+2
Bk-246	1,83 сут	1,7–9	2,6–9	2,9+2
Bk-247	1,38+3 лет	6,9–5	8,6–7	4,0–1
Bk-249	320 сут	1,6–7	2,9–9	1,4+2
Cf-246	1,49 сут	5,7–7	2,4–8	4,2+1
Cf-248	334 сут	1,0–5	1,6–7	5,0
Cf-249	3,50+2 лет	7,0–5	8,7–7	4,0–1
Cf-250	13,1 лет	3,4–5	5,5–7	8,7–1
Cf-251	8,98+2 лет	7,1–5	8,8–7	3,9–1
Cf-252	2,64 лет	5,6–5	5,1–7	1,5
Cf-253	17,8 сут	1,7–6	1,1–8	9,9+1
Cf-254	60,5 сут	7,0–5	2,6–6	3,5–1
Es-251	1,38 сут	2,6–9	1,2–9	8,2+2
Es-253	20,5 сут	3,4–6	4,5–8	2,3+1
Es-254	276 сут	1,0–5	1,6–7	5,0
Es-254m	1,64 сут	5,9–7	3,0–8	3,3+1
Fm-253	3,00 сут	5,0–7	6,7–9	1,5+2
Fm-257	101 сут	8,8–6	1,1–7	9,3
Md-258	55,0 сут	7,3–6	8,9–8	1,1+1

Примечание. Запись вида 1,6–12 означает $1,6 \cdot 10^{-12}$, 1,6+12 – $1,6 \cdot 10^{12}$.

Таблица П.1.2

**Годовой объем вдыхаемого воздуха
для разных возрастных групп населения**

<i>Возраст, лет</i>	До 1	1–2	2–7	7–12	12–17	Старше 17 (взрослые)
<i>V, тыс. м³ в год</i>	1,0	1,9	3,2	5,2	7,3	8,1

Таблица П.1.3

**Годовое потребление основных пищевых продуктов
взрослыми жителями средней полосы России (кг/год)**

<i>Группа населения</i>	<i>Молоко и молочные продукты</i>	<i>Мясо и мясные продукты</i>	<i>Хлеб и зерновые продукты</i>	<i>Картофель и корнеплоды</i>
Городское	150	70	120	200
Сельское	250	70	150	250

Таблица П.1.4

**Значение функции e^{-x}
для определения годовых эффективных доз облучения населения
природными источниками ионизирующего излучения**

X	e^{-x}	X	e^{-x}	X	e^{-x}	X	e^{-x}
0,165	0,848	1,815	0,163	3,465	0,031	5,115	0,006
0,33	0,719	1,98	0,138	3,63	0,027	5,28	0,0051
0,495	0,61	2,145	0,117	3,795	0,022	5,445	0,0043
0,66	0,517	2,31	0,099	3,96	0,019	5,61	0,0036
0,825	0,438	2,475	0,084	4,125	0,016	5,775	0,0031
0,99	0,372	2,64	0,071	4,29	0,014	5,94	0,0026
1,155	0,315	2,805	0,061	4,495	0,011	6,105	0,0022
1,32	0,267	2,97	0,051	4,62	0,010	6,27	0,0019
1,485	0,227	3,135	0,043	4,785	0,008	6,435	0,0016
1,65	0,192	3,3	0,037	4,95	0,007	6,6	0,0014

Таблица П.1.5

Значение функции e^x
для определения годовых эффективных доз облучения населения
природными источниками ионизирующего излучения

X	e^x	X	e^x	X	e^x	X	e^x
0,0453	1,0463	0,624	1,8664	1,1778	3,2472	1,8502	6,3611
0,0638	1,0659	0,6342	1,8855	1,2122	3,3609	1,872	6,5013
0,0906	1,0948	0,638	1,8927	1,2231	3,3977	1,914	6,7802
0,104	1,1096	0,6795	1,9729	1,248	3,4834	1,976	7,2138
0,1276	1,1361	0,7018	2,0174	1,2684	3,5552	1,9778	7,2268
0,1359	1,1456	0,7248	2,0643	1,276	3,5823	2,0416	7,7029
0,1812	1,1987	0,728	2,0709	1,3137	3,7173	2,1054	8,2104
0,1914	1,2109	0,7656	2,1503	1,3398	3,8183	2,1692	8,7513
0,208	1,2312	0,7701	2,16	1,352	3,8651	2,184	8,8818
0,2265	1,2542	0,8154	2,2601	1,359	3,8923	2,233	9,3278
0,2552	1,2907	0,8294	2,2919	1,4036	4,0698	2,288	9,8552
0,2718	1,3123	0,832	2,2979	1,4043	4,0727	2,2968	9,9423
0,312	1,3662	0,8607	2,3798	1,4499	4,2627	2,392	10,9353
0,3171	1,3734	0,8932	2,4429	1,456	4,2888	2,496	12,1339
0,319	1,3758	0,906	2,4744	1,4674	4,3379	2,6	13,4637
0,3624	1,4368	0,936	2,5498	1,4949	4,4589	2,704	14,9394
0,3828	1,4664	0,9513	2,5891	1,5312	4,6273	2,808	16,5767
0,4077	1,5034	0,957	2,6039	1,5402	4,6655	2,912	18,3935
0,416	1,5159	0,9966	2,7091	1,56	4,7588	3,016	20,4095
0,4466	1,563	1,0208	2,7754	1,5855	4,8817	3,12	22,6464
0,453	1,573	1,035	2,8151	1,595	4,9283	3,224	25,1284
0,4983	1,6459	1,04	2,8292	1,6308	5,108	3,328	27,8825
0,5104	1,666	1,071	2,9183	1,6588	5,253	3,432	30,9385
0,52	1,682	1,0872	2,966	1,664	5,3058	3,536	34,3293
0,5436	1,7222	1,1325	3,1034	1,7226	5,5991	3,64	38,0918
0,5742	1,7757	1,144	3,1393	1,768	5,8591	3,744	42,2667
0,5883	1,8009	1,1484	3,1531	1,7864	5,9679		

Стандартные параметры для определения эффективных доз облучения населения

Для населения установлены следующие значения стандартных параметров: $t_{\text{нас}} = 8800$ ч в год; $M_{\text{нас}} = 730$ кг в год для взрослых. Годовой объем вдыхаемого воздуха установлен в зависимости от возраста.

Приложение 2

Фотографии из отчета о проделанной работе при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС (из архива цикла ГОЧС СибаДИ)

Объект 1

















Объект 2

















**Публикации, посвященные ликвидации последствий
аварии на Чернобыльской АЭС
(фрагменты)**

**Участие ВС СССР в ликвидации аварии
Дезактивация населенных пунктов в зоне отчуждения
(«Военно-исторический журнал» за 2006 г. № 4)**

Дезактивация населенных пунктов в 30-км зоне началась 13 мая 1986 года, а 20 мая 1986 года вне 30-км зоны.

К работам в одном населенном пункте привлекались ежедневно 250–300 человек и 50–60 единиц техники. Эти команды удаляли мусор и загрязненное оборудование, спецрастворами обмывали поверхности домов и крыши, сносили ветхие строения, снимали 5–10 см грунта и вывозили в могильники, производили захоронение домов и т. п.

В течение 1986–1988 гг. дезактивации подверглись 944 населенных пункта (около 50 % по 3–4 раза). В работах участвовали более 39 тыс. военнослужащих.

С 1 января 1990 года работы по дезактивации населенных пунктов были прекращены. Это было связано с громадными трудозатратами, невысокой эффективностью по причине ветрового разноса радиации из радиоактивных «пятен».

Правительство страны приняло решение о захоронении населенных пунктов с очень высокими уровнями радиации, т. е. не имеющих никаких перспектив на возобновление и проживание в них.

Решение этой задачи возлагалось на армейские части. Батальону на захоронение деревни отводилось 7–10 дней в зависимости от количества домов.

С апреля по октябрь 1988 года было захоронено 93 населенных пункта.

**Из воспоминаний гвардии полковника запаса, участника боевых
действий в Афганистане и ликвидации последствий аварий
на ЧАЭС Церковного Алексея Корниловича
(Газета «Брестский курьер»)**

При объезде своих частей (механизированные и химические полки) как-то заехал в одну из захороненных деревень вблизи Брагина. Остановил машину на центральной улице бывшей деревни.

О том, что когда-то (месяц-два тому назад) здесь была деревня, напоминали кладбище, ровный ряд деревьев вдоль дороги, да одичавшие собаки, выглядывавшие из кустов.

На месте домов росла высокая трава...

Мне было не по себе, даже после опыта войны в Афганистане. Ви-дел убитых, раненых сам на руках выносил...

Но видеть захороненную деревню страшнее, чем умершего или погибшего солдата.

Это жутко.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ В НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	7
1.1. Активность радионуклида.....	9
1.2. Доза поглощенная	10
1.3. Доза эквивалентная	11
1.4. Доза эффективная	12
1.5. Мощность дозы излучения.....	13
Глава 2. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ	14
2.1. Общая характеристика аварий на радиационно опасных объектах	14
2.2. Оценка годовых эффективных доз облучения населения.....	18
2.3. Критерии принятия решений на вмешательство и зонирование загрязненных территорий	22
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ	30
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1. Расчет оценки состояния радиационной безопасности населения	32
Приложение 2. Фотографии из отчета о проделанной работе при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС (из архива цикла ГОЧС СибАДИ)	47
Приложение 3. Публикации, посвященные ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (фрагменты)	62