Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Кафедра «Физиологии человека и животных»

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Практическое руководство для лабораторных занятий
студентов специальности «Лесное хозяйство»

Гомель 2010

УДК 614.876.06:621.039.58
ББК 28.591 я73
Д243

Авторы: Д.Н. Дроздов, А.М. Дворник

Рецензенты
Л.А. Евтухова, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук; кафедра физиологии человека и животных учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»
В.В. Усеня, кандидат сельскохозяйственных наук; заместитель директора ГНУ «Институт Леса НАН Беларуси»

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Д243 **Радиационная безопасность:** практическое руководство для студ. спец. 1 – 31 01 01-02 – «Биология (научно-педагогическая деятельность)» / Д.Н. Дроздов [и др.]; Министерство образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, 2010. – 54 с.

В предлагаемом практическом руководстве рассматриваются основные вопросы радиационной безопасности и защиты. Основное внимание уделено практической самостоятельной подготовке студентов по курсу. С этой целью использованы расчетные задачи, в том числе контрольные задания, для решения которых требуется хорошая теоретическая подготовка.

УДК 614.876.06:621.039.58
ББК 28.591 я73

© Дроздов Д.Н., Дворник А.М. 2010

© УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2010

Содержание

Введение ……. 4

Лабораторное занятие 1
Закон радиоактивного распада …… 6

Лабораторное занятие 1
Оценка радиационной обстановки на промышленном объекте после ядерного взрыва …… 11

Лабораторное занятие 2
Оценка доз облучения организма человека, находящегося в условиях радиоактивного загрязнения …… 22

Лабораторное занятие 3
Оценка активности продуктов питания, полученных на радиоактивно загрязненной территории …… 31

Лабораторное занятие 4
Определение текущей средней годовой эффективной дозы облучения населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения ……...…. 34

Лабораторная занятие 5
Оценка радиационной обстановки территории …….. 41

Варианты контрольных работ ……... 50

Литература 53

Введение

Практическое руководство предназначено для количественной оценки мероприятий, касающихся радиационной защиты населения. Будущий специалист должен овладеть знаниями по основам жизнедеятельности в окружающей нас техносфере, и оценке критериев самой комфортности, изучить характеристики опасных и вредных факторов среды обитания, физиологическое воздействие их на человека. Учащиеся должны овладеть методами оценки радиационной безопасности, ознакомиться с законодательной базой Республики Беларусь в отношении радиационной безопасности и защиты, особенности возникновения и развития опасности со стороны источников ионизирующего излучения.

Руководство может быть интересно всем, кто интересуется вопросами безопасности жизнедеятельности, защите населения в условия чрезвычайных ситуаций и радиационной безопасности населения. Готовя специалистов, мы должны, во-первых, вооружить их фактическим материалом о состоянии радиационной обстановки страны и, во-вторых, привить им навыки практической оценки результатов мероприятий по защите и безопасности жизнедеятельности, поведения в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени. Специалисты должны научиться прогнозировать условия возникновения чрезвычайных ситуаций, давать количественную оценку воздействия поражающих факторов.

Содержание курса «Радиационная безопасность», представленное в структуре учебных курсов системы высшего образования должно обеспечивать подготовку молодого человека к жизни, выбору оптимальных решений в вероятных чрезвычайных ситуациях природного, антропогенного, социального происхождения. Дать представление о возможных способах оценки происходящих событий в случае радиационной аварии, для принятия верных решений при обеспечении безопасности жизнедеятельности.

Цель курса «Радиационная безопасность» направлена на формирование системного подхода студентов в понимании существующих в реальной жизни опасностях со стороны источников ионизирующего излучения. Он направлен на приобретение знания конкретных правил поведения в ситуациях, опасных для физического, психического и духовно-нравственного здоровья учащихся, а также умений и навыков их предотвращения.

Указом Президента Республики Беларусь от 9 июня 2004 г. № 277 утверждена Концепция совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской

обороны на 2004–2007 годы, определяющая приоритетные направления повышения эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Её цель – создание единого всеобъемлющего государственного механизма защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, возникающих при ведении военных действий или в результате их последствий. Концепция разработана в соответствии с требованиями Директивы Президента № 1.

Содержание курса предполагает использование материала максимально приближенного к реальной жизни населения Республики Беларусь и возможным ситуациям, связанным с работой химической предприятий, тепловых электростанций, радиоактивным загрязнением территории Поддерживать интерес к данному предмету преподаватель может, опираясь на многочисленную фактуру действительности, используя её в позитивных целях обучения и воспитания.

При разработке настоящего курса авторы руководствовались следующими нормативными документами:

Конституция Республики Беларусь от 15 марта 1994 г. № 2875-XII "Конституция Республики Беларусь";

Концепция совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны на 2004–2007 гг., утверждённая указом Президента Республики Беларусь от 9 июня 2004 г. № 277;

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 апреля 2001 г. № 495 "О Государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций";

Закон РБ «О радиационной защите населения» (1998 г.).

Закон РБ «Об охране окружающей среды» (1992 г.).

Закон РБ «О социальной защите граждан, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС» (1991 г.).

Закон РБ «О статусе территорий, загрязненных в результате аварий на ЧАЭС» (1991 г.).

Нормы радиационной безопасности: НРБ-2000.

Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности: ОСП-2002.

Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания и питьевой воды: РДУ-99.

Лабораторное занятие 1
Закон радиоактивного распада

1 Явление радиоактивности
2 Закон радиоактивного распада
3 Энергия связи атомных ядер.
4 Взаимосвязь активность радионуклида и его атомной массой

1 Явление радиоактивности

Радиоактивный распад – это статистическое явление, в результате которого происходит распад ядер атомов нестабильных элементов. Оценить когда именно распадется конкретное ядро возможно только с некоторой долей вероятности. Статистическая величина, описывающая процесс радиоактивного распада представляет собой вероятность распада в единицу времени. Ее обозначают символом λ и называют ***постоянная распада***.

Физический смысл этой величины заключается в том, что она показывает какая доля большого первоначального количества вещества (ядер атомов) будет распадаться в среднем за единицу времени.

Произведение постоянной распада на первоначальное количество ядер в момент времени (t_0) называется активностью. Активность измеряется в Бк – это системная единица измерения 1 Бк = 1 расп/с, а также в несистемных единицах активность измеряют в кюри, 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк (расп/с)

Активность характеризует интенсивность распадов ядер атомов, в результате которых происходит излучение энергии. Следовательно, активность одновременно характеризует и интенсивность излучения.

Радиоактивные ядра атомов, распадаясь, испускают тот или иной вид ионизирующего излучения. Уменьшение ***числа радиоактивных атомов для всех радионуклидов происходит по экспоненциальному закону***:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \qquad (1.1)$$

где N_0 – число радиоактивных атомов в момент времени $t = 0$; N – число оставшихся радиоактивных атомов в момент времени t; λ – постоянная распада.

Единицей измерения постоянной распада (λ) является величина, обратная единице измерения времени, $с^{-1}$. Численное значение

постоянной распада радионуклидов можно найти в таблицах или рассчитать, зная $T_{1/2}$ радионуклида.

2 Закон радиоактивного распада (вывод закона)

Закон радиоактивного распада определяет среднее число атомов, распадающихся за определенный промежуток времени. Допустим, что в радиоактивном препарате в произвольный момент времени t_0 имелось N_0 нераспавшихся радиоактивных атомов. Чем больше общее число радиоактивных атомов (N), тем больше и число распавшихся:

$$dN \sim N$$

Из-за самопроизвольного и хаотического распада радиоактивных атомов можно считать, что число распавшихся атомов в интервале от t до $t + dt$ пропорционально времени dt: $dN \sim dt$.

Таким образом,

$$dN \sim Ndt$$

$$\text{или } dN = -\lambda \cdot Ndt$$

где, как мы уже знаем, λ – коэффициент пропорциональности, называемый постоянной радиоактивного распада. Знак минус в правой части означает, что происходит уменьшение числа нераспавшихся атомов.

Разделим правую и левую часть в уравнении на число радиоактивных атомов (N), получим:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

проинтегрировав это равенство получим:

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{0}^{t} dt$$

получим

$$ln\frac{dN}{N} = -\lambda t$$

отсюда число нераспавшихся атомов радиоактивного вещества равно:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Число распавшихся радиоактивных атомов можно определить из закона радиоактивного распада:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 exp(-\lambda t) = N_0 [1 - exp(-\lambda t)]. \qquad (1.2)$$

Продолжительность существования радионуклида обычно выражается периодом полураспада $T_{1/2}$. $T_{1/2}$ – строго постоянная величина для каждого радионуклида и, так же как и постоянная распада, характеризует его временную устойчивость.

Период полураспада $T_{1/2}$ – время, в течение которого число атомов радионуклида, а, следовательно, и его активность уменьшаются в результате распада вдвое.

Период полураспада связан с постоянной распада, получим соотношение, связывающее величину периода полураспада и постоянную распада.

По определению, период полураспада – это время за которое распадается половина всех ядер радиоактивного вещества, следовательно:

$$e^{-\lambda t} = 1/2 \text{ (иначе } N_0/2 = N_0 \cdot 1/2)$$

прологарифмировав это выражение, получим

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\lambda} = -\frac{0{,}693}{\lambda} \qquad (1.3)$$

Из полученного выражения следует физический смысл периода полураспада: какое бы количество определенного радиоактивного препарата не было бы взято, половина его претерпит радиоактивный распад за одно и то же время.

3 Энергия связи атомных ядер

Радиоактивный распад происходит в ядрах атомов нестабильных химических элементов. Нестабильными атомами являются атомы ядра, которых отличаются тем, что связь между нуклонами в них более слабая, чем в атомах стабильных элементов. Силы, удерживающие нуклоны в ядре, называются ядерными. Эти силы являются проявлением сильного взаимодействия. Ядерные силы короткодействующие, проявляются на расстоянии $10^{-12} – 10^{-13}$ см.

Энергия связи ядра равна минимальной энергии, которую необходимо затратить для полного расщепления ядра на отдельные частицы.

Энергию связи E_{CB} определяют с помощью точного измерения массы ядра. Измерения показали, что масса любого ядра ($M_Я$) всегда меньше суммы масс, входящих в его состав протонов и нейтронов:

$$M_Я < Zm_p + Nm_n$$

Разность масс ΔM

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_Я \qquad (1.4)$$

называется ***дефектом массы***

По дефекту массы, с помощью уравнения Эйнштейна ($E = mc^2$) можно определить энергию, выделившуюся в результате образования ядра, т.е. энергию связи (E_{CB}).

$$E_{CB} = \Delta M \cdot c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_Я) \cdot c^2 \qquad (1.5)$$

4 Взаимосвязь активность радионуклида и его атомной массой

Известно, что в атомной массе A_m любого радионуклида содержится $6{,}023 \cdot 10^{23}$ атомов (число Авогадро). Таким образом, можно установить связь между активностью радионуклида А и его массой m:

$$A = m \cdot 6{,}023 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}693 / (A_m \cdot T_{1/2}), \text{ Бк} \qquad (1.5)$$

$$A = m \cdot 6{,}023 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}693 / (A_m \cdot T_{1/2} \cdot 3{,}7 \cdot 10^{10}), \text{ Ки}$$

где T1/2 – период полураспада, с; $6{,}023 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро; $6{,}023 \cdot 10^{23} / A_m T_{1/2}$ – число атомов в одном грамме радионуклида.

Из формулы (1.5) можно получить следующие соотношения:

$A = 1{,}13 \cdot 10^{13} / (A_m T_{1/2})$ (T1/2, с),

$A = 1{,}88 \cdot 10^{11} / (A_m T_{1/2})$ (T1/2, мин),

$A = 3{,}1 \cdot 10^{9} / (A_m T_{1/2})$ (T1/2, ч),

$A = 1{,}3 \cdot 10^{8} / (A_m T_{1/2})$ (T1/2, сут),

$A = 3{,}57 \cdot 10^{5} / (A_m T_{1/2})$ (T1/2, годы), (1.6)

где А – активность 1 г любого радионуклида, Ки.

Соответственно, массу радионуклида m(г/Ки) можно рассчитать по формулам:

$m = 8{,}9 \cdot 10^{-14} A_m T1/2$ (T1/2, с),

$m = 5{,}3 \cdot 10^{-12} A_m T1/2$ (T1/2, мин),

$m = 3{,}2 \cdot 10^{-10} A_m T1/2$ (T1/2, ч),

$m = 7{,}7 \cdot 10^{-9} A_m T1/2$ (T1/2, сут),

$m = 2{,}8 \cdot 10^{-6} A_m T1/2$ (T1/2, годы) (1.7)

В дозиметрической практике часто пользуются величиной удельной активности, характеризующей концентрацию радионуклида. Удельная активность – общая активность радионуклида, приходящаяся на единицу длины q_l, площади q_s, объема q_v или массы q_m в источнике. Указанные величины носят соответственно названия линейной, поверхностной, объемной и массовой удельной активности радионуклида.

Материал и оборудование. Методические пособия, справочные таблицы по дозиметрии, калькулятор

Цель: научиться решать задачи на определение активности радионуклида и определение его массы.

Задания

Задача 1
Определить активность 1 г $^{226}_{88}Ra$, находящегося в равновесии с дочерними продуктами распада. $T_{1/2}$ = 1600 мин.

Задача 2
Рассчитать массу с активностью 1 Ки ^{238}U , если $T_{1/2} = 4{,}468 \cdot 10^9$ мин.

Задача 3
Первоначальная активность ^{60}Co равна 38 мКи. $T_{1/2}$ = 5,27 года. Определить его активность через 3 года.

Задача 4
Два радионуклида имеют одинаковое количество первоначальных атомов, но различные периоды полураспада. Изобразить графически распад радионуклидов, если период полураспада одного из них в два раза больше другого.

Задача 5
Определить соотношение радиационных и ионизационных потерь β-частиц с энергией 2,18 МэВ в металлическом U.

Задача 6 Определить кинетическую энергию электрона и позитрона, если энергия поглощенного фотона равна 10 МэВ.

Задача 7
Свежеприготовленный препарат содержит 1,4 мкг радиоактивного ^{24}Na. Какую активность он будет иметь через сутки?

Задача 8
Определить число радиоактивных ядер в свежеприготовленном препарате ^{82}Br, если известно, что через сутки его активность стала равной $7{,}4 \cdot 10^9$ Бк (0,20 Ки).

Задача 9
Вычислить удельную активность чистого ^{239}Pu.

Задача 10
Определить массу свинца, который образуется из 1,0 кг ^{238}U за период, равный возрасту Земли ($2{,}5 \cdot 10^9$ лет).

Вопросы для самоконтроля

1 Что такое радиоактивность? В каких единицах ее измеряют?
2 Дайте определение закона радиоактивного распада.
3 Что такое удельная активность? Как ее определяют?

Лабораторное занятие 2

Оценка радиационной обстановки на промышленном объекте после ядерного взрыва

1 Радиоактивное заражение
2 Степень радиоактивного заражения
3 Уровни радиации и радиационная обстановка
4 Прогнозирование уровня радиации
5 Определение зоны заражения по известному уровню радиации

1 Радиоактивное заражение

Радиоактивное заражение — один из основных поражающих факторов ядерного взрыва. Оно возникает как результат выпадения радиоактивных веществ из облака взрыва или образования их вследствие распада возникающих при взрыве радиоактивных элементов.

Особенности радиоактивного заражения:

• большая площадь поражения (десятки тысяч квадратных километров);

• продолжительность сохраняющегося поражающего действия (до месяцев);

• необходимость применения специальной аппаратуры для обнаружения радиации;

• динамичный характер действия из-за постоянного распада радиоактивных веществ.

Источники радиоактивности

• Продукты деления вещества, составляющего ядерное горючее. Процесс радиоактивного распада сопровождается продолжительным γ- и β-излучением с высоким уровнем энергии.

• Наведенная радиоактивность, возникающая в результате воздействия нейтронного потока ядерного взрыва на химические элементы, входящие в грунт, сооружения и различные конструкции. В результате образуются радиоактивные изотопы кремния, натрия, марганца, алюминия, железа и других химических элементов. Эти изотопы, как правило, обладают β- и γ-радиоактивностью.

• Разделившаяся часть атомов ядерного заряда (коэффициент использования ядерного заряда непосредственно для взрыва составляет не более 10%). Эта часть заряда в основном излучает альфа частицы и незначительную часть гамма лучей с низкой энергией.

Масштабы и степень радиоактивного заражения местности зависят от мощности и вида ядерного взрыва, особенности конструкции заряда, характера местности, где он был произведен метеорологических условий и времени, прошедшего с момента взрыва.

При воздушном взрыве

• Огненный шар не касается поверхности земли. Основная масса радиоактивных продуктов уходит в стратосферу и лишь не большая часть остается в тропосфере. Поскольку радиоактивные частицы небольшие и малы по весу, то они долго «висят» в воздухе и ветром разносятся на большие расстояния, где и выпадают в виде осадков.

При наземном взрыве

• Огненный шар касается поверхности земли. Окружающая среда сильно нагревается, часть грунта испаряется и захватывается огненным шаром. Образуется радиоактивное облако, высота подъема которого и скорость перемещения зависят от мощности взрыва и метеорологических условий. В среднем за 7—10 мин облако достигает своей максимальной высоты и образует грибовидную форму. Затем облако перемещается.

Основная часть вредных радиоактивных осадков, загрязняющих местность, выпадает из облака в течение 10—20 ч после взрыва. Форма следа от радиоактивного облака зависит от направления и скорости ветра.

Виды радиоактивного воздействия источников заражения местности

• α-излучение — поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия), движущийся со скоростью 20 000 м/с. Имеет малую проникающую способность. В воздухе α- астица пролетает 4—8 см, в живых тканях — 0,05 мм. Полностью поглощается индивидуальными средствами защиты. α-частицы опасны при проникновении внутрь организма.

• β-излучение — поток отрицательно заряженных частиц (электронов), движется со скоростью 200 000—300 000 км/с. Длина пробега в воздухе достигает 20 м. На теле человека могут вызвать β-ожог. От β-излучения люди защищаются в помещении. Индивидуальные средства защиты также резко ослабляют их воздействие.

• γ-излучение — коротковолновое электромагнитное излучение. По своим действиям подобно рентгеновским лучам, но обладает более мощной энергией. Распространяется со скоростью света. γ-излучение пронизывает воздух на сотни метров и проникают через значительные

толщи материалов. Индивидуальные средства защиты от γ-излучения не защищают, опасны при внешнем облучении.

Степень воздействия определяется дозой облучения, т.е. количеством γ-квантов, поглощенных единицей объема облучаемой среды. За единицу дозы γ-излучения принят рентген. Рентген — это такая доза γ-облучения, при которой в 1 $см^3$ воздуха (при t = 0°С и давлении 760 мм ртутного столба) образуется $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, Р = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг. На создание такого количества ионов необходимо затратить количество энергии, равное 8,8 мДж/кг (88 эрг/г).

Энергетической характеристикой взрыва ядерного заряда является так называемый *тротиловый эквивалент.* Выделяемая в результате ядерного взрыва энергия условно измеряется в килотоннах (кт) или мегатоннах (Мт), что означает соответствующее количество тротила, которое при подрыве выделяет столько же энергии. Например, ядерный взрыв урана-235 при полном делении всех ядер эквивалентен по количеству выделившейся энергии взрыву 20 000 т тротила (табл. 1).

По величине тротилового эквивалента ядерные боеприпасы подразделяются на пять групп:

1) сверхмалые — до 1 кт;
2) малые — от 1 до 10 кт;
3) средние — от 10 до 100 кт;
4) крупные — от 100 кт до 1 Мт;
5) сверхкрупные — свыше 1 Мт.

Таблица 1 – Тротиловый эквивалент 1 кг массы ядерного материала

Ядерный материал	Тротиловый эквивалент, кт
^{235}U	20
^{235}U, ^{239}U, ^{239}Pu	20
Дейтерид лития	52
Дейтерий и тритий	84

Таблица 2 – Классификация ядерных взрывов

Вид взрыва и область применения	**Основные поражающие факторы**
Высотный (выше границы тропосферы Земли) Применение: поражение воздушных целей и создание	Воздушная ударная волна (при высоте менее 3) км), проникающая радиация, световое излучение (на высоте 30 — 60 км), рентгеновское излучение, газовый поток

помех радиотехническим средствам	(разлетающиеся продукты взрыва), электромагнитный импульс (ЭМИ), ионизация атмосферы (при высоте более 60 км). Распределение энергии ядерного взрыва зависит от высоты взрыва
Воздушный (ниже 10 км) Применение: поражение наземных и воздушных целей	Воздушная ударная волна, проникающая радиация, световое излучение, электромагнитный импульс
Наземный (поверхности земли контактный или на высоте) Применение: поражение подземных и прочных наземных целей	Воздушная ударная волна, проникающая радиация, световое излучение, ЭМИ, радиоактивное заражение местности, сейсмовзрывные волны в грунте. Область взрыва — образование воронки и облака радиоактивной пыли
Надводный (на поверхности воды — контактный или на высоте) Применение: поражение надводный целей и береговых сооружений	Воздушная и подводная ударные волны, световое излучение, проникающая радиация, ЭМИ. Радиоактивное заражение акватории и береговой зоны
Подводный Применение: поражение подводных и надводных целей, гидротехнических сооружений	Подводная и воздушная и ударные волны, гравитационные волны и волны сейсмического происхождения в воде. Радиоактивное заражение акватории, участков побережья и береговых объектов
Подземный с выбросом или без выброса грунта (камуфлетный взрыв) Применение: поражение особо прочных заглубленных со-оружений и создание заграждений, а также в мирных целях при сооружении шахт, каналов, подземных емкостей	Мощные сейсмовзрывные волны в грунте. Взрыв с выбросом грунта сопровождается также образованием воздушной ударной волны и сильным радиоактивным заражением местности

Большая часть внутриядерной энергии выделяется в виде кинетической энергии продуктов ядерной реакции деления или синтеза, нейтронного и гамма излучения. Температура и давление в зоне реакции достигают десятков миллионов градусов и миллиарда атмосфер.

2 Степень радиоактивного заражения

Степень радиоактивного заражения местности и предметов оценивается уровнем радиации. Уровень радиации представляет собой мощность дозы γ-излучения, накапливаемой в единицу времени. Он измеряется в рентгенах в час (Р/ч), или в миллирентгенах в час (мР/ч).

Местность считается зараженной радиоактивными веществами при уровне радиации 0,5 Р/ч или выше.

Уровень радиации зависит от плотности γ-квантов и их энергии. γ-активность радиоактивных веществ подчинятся закону радиоактивного распада, т.е.

$$P(t) = P_0(t: t_0)^{-1,2} \quad (1)$$

где $P(t)$ — уровень радиации в рассматриваемый момент времени t, отсчитанного с момента взрыва; P_0— уровень радиации в момент времени t_0.

Вредное биологическое воздействие радиоактивных излучений на людей связано с ионизацией и возбуждением атомов и молекул клеток живой ткани. Мера воздействия в рентгенах называется дозой радиации. Характер лучевого поражения организма зависит от вида излучения и дозы облучения, продолжительности воздействия радиации на организм, от площади облученной части тела, а также от общего состояния организма. Различают три степени лучевой болезни (табл. 3).

Таблица 3 Характеристика степеней лучевой болезни

Степень лучевой болезни	**Признаки проявления болезни**
Первая (легкая)	Возникает при общей дозе облучения 100—200 Р. Скрытый период продолжается две-три недели, после чего наступают недомогание, общая слабость, тошнота, голо-вокружение, периодическое повышение температуры. В крови уменьшается лейкоцитов. Болезнь в этой степени излечима. Смертельных случаев не наблюдается.
Вторая (средняя)	Возникает при общей дозе облучения 200—300 Р. Скрытый период длится около недели, после чего проявляются признаки, характерные для болезни первой степени, но в более выраженной форме. При активном лечении выздоровление наступает через 1,5—5 месяцев. Смертность около 20%
Третья (тяжелая)	Возникает при общей дозе облучения 300—500 Р. Скрытый период сокращается до нескольких часов. Болезнь протекает более интенсивно и тяжело. При активном лечении и благоприятном исходе выздоровление наступает через шесть — восемь месяцев. Смертность около 50% (при облучении дозой 400—500 Р)

3 Уровни радиации и радиационная обстановка

Радиационную разведку на объектах национального хозяйства ведут разведывательные группы. Они устанавливают факт начала радиоактивного заражения местности, уровни радиации. Зависимость уровня радиации от времени, прошедшего с начала процесса заражения, можно представить формулой:

$$P(t) = P(t_0) \cdot K(t) \qquad (2)$$

где $P(t)$ и $P(t_0)$ – уровни радиации в момент времени t и t_0; $K(t)$ – коэффициент спада радиации, принимается:

$$K(t) = K_0 (t: t_0)^{-1,2}$$

В расчетах принимается t_0 = 1 ч (иногда 10 ч). Затем для различных t рассчитывают значения $K(t)$.

В табл. 3 представлены значения коэффициентов спада уровня радиации. Используя эти зависимости, можно достаточно просто оценить уровень радиации на время, прошедшее с момента взрыва.

Таблица 3 – Значения коэффициента спада уровня радиации

T, ч	*K(t)*	*T, ч*	*K(t)*	*T, ч*	*K(t)*
1	1	9	0,072	17	0,033
2	0,435	10	0,063	18	0,031
3	0,267	11	0,056	20	0,027
4	0,189	12	0,051	24	0,022
5	0,145	13	0,046	26	0,020
6	0,116	14	0,042	28	0,018
7	0,097	15	0,039	36	0,013
8	0,082	16	0,036	48	0,001

Значение коэффициента спада уровня радиации может быть оценено с помощью степенного функции вида:

$$K = 1.38 \cdot t^{-1.37}, \qquad (3)$$

где t, ч – время прошедшее с момента взрыва

4 Прогнозирование уровня радиации

Для расчета уровня радиации используются следующие данные:

- мощность ядерного взрыва (или мощность ядерной аварии);
- момент взрыва;
- место (координаты), где произошел взрыв;
- метеорологические условия, при которых произошел взрыв (направление и скорость ветра).

Теоретические зависимости достаточно сложные, поэтому в практических оценках применяется некоторый приближенный подход. В качестве исходных сведений используется полученная на практике зависимость изменения уровня радиации при некотором, принятом на «нормативный» уровне мощности наземного ядерного взрыва **1 Мт** при скорости ветра V_0 = **50 км/ч**. Для приближенных оценок данные графических зависимостей можно представить в виде таблицы 4.

Таблица 4 – Изменение уровня радиации P_0 на оси следа от эпицентра наземного ядерного взрыва мощностью 1 Мт при скорости ветра 50 км/ч

Расстояние R, км	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Уровень радиации, А, Р/ч	320	195	100	60	40	27	18	13	9,5	7,3	5,6	4,5

Используя табличные данные, можно достаточно точно спрогнозировать возможный уровень радиации для реальных условий.

Алгоритм оценки уровень радиации:

1. Для некоторого расстояния *R(x)* определяется эталонный уровень радиации P_0 (уровень радиации при мощности взрыва q_0 = 1 Мт и средней скорости ветра, направленного на объект V_0 = 50 км/ч).
2. Используя зависимость уровня радиации от скорости ветра, вносим корректировку в значение уровня за счет реальной скорости ветра (V):

$$P = \frac{V_0 \cdot P_0}{V}, \qquad (4)$$

3. Или если известная величина мощности взрыва, используя зависимость уровня радиации от величины мощности взрыва вносим корректировку в значение уровня радиации P за счет величины мощности взрыва:

$$P = \frac{q_0 \cdot \mu_0}{q}, \quad (5)$$

4. Определяя время, прошедшее после взрыва, при определенной скорости ветра рассчитываем время выпадения радиоактивных осадков на объект (R – расстояние в км, таблица 4):

$$t = R : V, \quad (6)$$

5. Учитывая спад радиоактивности по уравнению 2, рассчитываем возможный уровень радиации на время проведения в зоне выпадения осадков.

5 Определение зоны заражения по известному уровню радиации

Границы зоны радиоактивного заражения определяется уровнем радиации на 1 ч после взрыва (аварии), т.е. дозой, полученной за 1 час после взрыва, до времени полного распада радиоактивных веществ. В таблице 5 представлены периоды полураспада биологически значимых продуктов взрыва.

Доза радиации за время от t_1 до t_2 определяется зависимостью вида:

$$Д = \frac{P_{ср} \cdot T}{K_{осл}}, \quad (7)$$

где Д – доза радиации, Рентген; Рср = (Рн + Рк) : 2, Рн – уровень радиации в начале, Рк – уровень радиации в конце облучения, Косл – кратность ослабления для γ-излучения, принимается равной 1,5; Т – время облучения.

Таблица 5 – Биологически значимые продукты взрыва

Элемент	**$T_{1/2}$**	**Элемент**	**$T_{1/2}$**	**Элемент**	**$T_{1/2}$**	**Элемент**	**$T_{1/2}$**
Kr-85	10,7 лет	I-129	$1{,}6 \cdot 10^7$ лет	Nb-95	35,0 сут.	Ba-140	12,7 сут.
Kr-85m	4,5 ч	I-131	8,02 сут.	Zr-95	64,0 сут.	Ce-141	32,5 сут.

Kr-87	1,3 ч	I-133	20,9 ч	Ru-103	39,2 сут.	Pr-143	13,6 сут.
Kr-88	2,8 ч	I-135	6,6 ч	Ru-106	1,0 год	Ce-144	286 лет
Xe-133	5,2 сут.	Sr-89	50,6 ч	Te-129m	33,6 сут.	Eu-55	4,7 лет
Xe-133m	2,2 сут.	Sr-90	29,2 года	Cs-134	2,1 года		
Xe-135	9,1 ч	Y-91	58,5 сут.	Cs-137	30,0 лет		

На рисунке 2 схематически представлены зоны заражения, характеризуемые конкретными значениями уровней радиации и полученной дозы.

При движении людей по различным участкам зоны заражения доза вычисляется как сумма составляющих зон для каждого участка пути. Зная границы зон радиации и пути движения людей, необходимо вычислить допустимое время пребывания в зонах, используя таблицы 6.

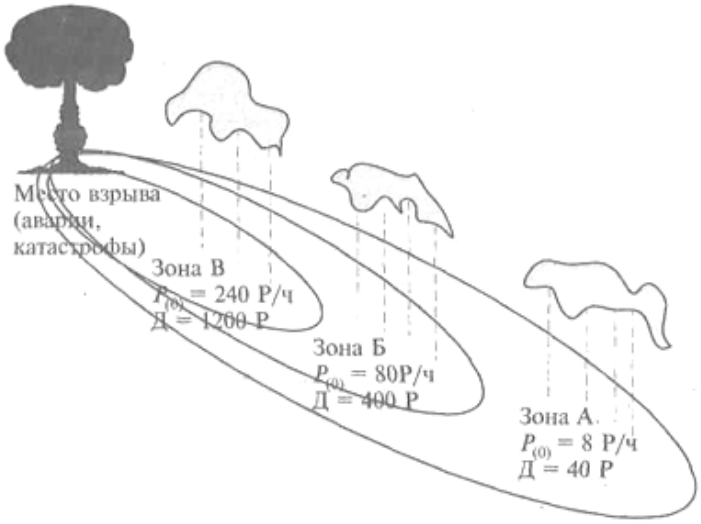

Рисунок 2 – Зоны радиоактивного заражения местности

Допустимое время пребывания можно рассчитать как:

$$T = [t_{вх}^{6} : (t_{вх} - A)^{5}] - t_{вх}, \quad (8)$$

где $t_{вх}$ – время прошедшее после взрыва, ч; А – уровень радиации на входе в зону, Р/ч.

Таблица 6 - Допустимое время пребывания в зараженном районе

Время, прошедшее после взрыва ($t_{вх}$), ч	А – уровень радиации на входе в зону, Р/ч						
	0,2	0,3	0,5	0,8	1	2	6
	Допустимое время пребывания в зараженном районе, ч или мин.						
0,5	0-15	0-22	1-02	2-56	5-56	15-62	-
1	0-14	0-22	0-42	1-23	2-03	11-52	-
2	0-13	0-20	0-35	1-02	1-23	4-06	3,2-19
3	0-12	0-19	0-34	0-57	1-17	3-13	35-35
4	0-12	0-19	0-32	0-54	1-10	2-46	19-48
5	0,12	0,19	0,32	0,53	1,08	2-35	14-45
6	0-12	0-19	0-32	0-52	1-06	2-29	12-19
7	0-12	0-18	0-31	0-51	1-05	2-24	10-55
8	0-12	0-18	0-31	0-51	1-05	2-20	10-02
10	0-12	0-18	0-31	0-50	1-04	2-16	8-57
12	0-12	0-18	0-31	0-50	1-03	2-13	8-19
24	0,12	0-18	0-30	0-40	1-02	2-06	7-01

Таблица 7 – Шкала степени облучения человека

Доза облучения, Зв (бэр*)	Последствия от полученной дозы облучения
4,5 (450)	Тяжелая степень лучевой болезни (погибают 50%)
1 (100)	Нижний уровень развития легкой степени лучевой болезни
0,75 (75)	Кратковременные изменения состава крови
0,30 (30)	Облучения при рентгеноскопии желудка
0,25 (25)	Допустимое аварийное разовое облучение персонала
0,10 (10)	Допустимое аварийное разовое облучение населения
0,05 (5)	Допустимое облучение персонала в нормальных условиях за год
0,03 (3)	Облучение при рентгенографии зубов
1 мЗв/год	Допустимое облучение населения в нормальных условиях
2,4 мЗв/год	Фоновое облучение за год

* - 1 бэр = 10^{-2} Зв

Материалы и оборудование. Методические пособия, справочные таблицы по дозиметрии, калькулятор

Цель: освоить методику оценки радиационной обстановки на промышленном объекте после ядерного взрыва

Задания

1. Определить уровень радиации на расстоянии 200 км от эпицентра наземного ядерного взрыва мощностью 19 Мт, если скорость ветра 70 км/ч (уровень радиации для стандартных условий 18 р/ч, коэффициент спада уровня радиации 0,267).
2.
3. Определить уровень радиации на расстоянии 80 км от эпицентра наземного ядерного взрыва мощностью 5 Мт, если известно, что скорость ветра 85 км/ч (уровень радиации для стандартных условий 320 р/ч), а также, что с момента взрыва прошло 2 суток.
4.
5. Рассчитать допустимое время пребывания, спустя 24 часа после взрыва на открытой местности если уровень радиации на входе в радиоактивную зону составляет 0,5 Р/ч.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте особенности радиоактивного заражения местности.
2. Что является источником ионизирующего излучения? Какие виды ионизирующего излучения вам известны?
3. Какие виды ядерных взрывов вы знаете? В чем особенности распределения радионуклидов при различных взрывах?
4. Охарактеризуйте опасность радиоактивного воздействия различных видов ионизирующего излучения.
5. Что такое тротиловый эквивалент? Что позволяет оценить величина тротилового эквивалента?
6. Как можно оценить степень радиоактивного заражения?
7. Что нужно знать для того, чтобы сделать прогноз уровня радиации?

Лабораторное занятие 3

Оценка доз облучения организма человека, находящегося в условиях радиоактивного загрязнения

1 Определение видов и схем распада радионуклидов

2 Определение экспозиционной дозы фотонного излучения, поглощенной и эквивалентной дозы в организме

3 Определение поглощенной дозы в органах и тканях

4 Определение эффективной дозы внутреннего облучения организма человека

1 Определение видов и схем распада радионуклидов

Превращения ядер подчиняются правилу смещения Содди:

при α-распаде ядро теряет положительный заряд 2e и масса его убывает приблизительно на четыре атомных единицы массы. В результате элемент смещается на две клетки к началу периодической системы элементов. Символически это запишется так:

$$^{M}_{Z}X \rightarrow {}^{M-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (1)$$

При β-распаде (точнее β^- -распаде) заряд ядра увеличивается на единицу, а масса остается почти неизменной:

$$^{M}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{M}Y + {}_{-1}^{0}e + \bar{\nu} \qquad (2)$$

После β^--распада элемент смещается на одну клетку (вперед) ближе к концу периодической системы элементов.

При β^+-распаде заряд ядра уменьшается на единицу, а масса остается почти неизменной:

$$^{M}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{M}Y + {}_{1}^{0}e + \nu \qquad (2a)$$

После β^+-распада элемент смещается на одну клетку (назад) ближе к началу периодической системы элементов

Электронный (или К-) захват:

$$^{A}_{Z}X + {}_{-1}^{0}e \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + E_R \qquad (3)$$

сопровождается рентгеновским излучением, элемент смещается на одну клетку (назад) ближе к началу периодической системы элементов.

γ-излучение не сопровождается изменением заряда, масса же ядра изменяется ничтожно мало.

2 Определение экспозиционной дозы фотонного излучения, поглощенной и эквивалентной дозы в организме

Определяем ***экспозиционную дозу рентгеновского и γ-излучения*** по соотношению:

$$X = \dot{X} \cdot T_1, \text{ рентген (Р)} \qquad (11)$$

где $\dot{X}$ – мощность экспозиционной дозы, р/ч T_1 - время продолжительности ликвидации аварии, равное номеру варианта, ч.

Мощность экспозиционной дозы от точечного источника фотонного излучения рассчитывается по формуле:

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma_\gamma}{R^2}, \text{ р/ч} \qquad (12)$$

где A – активность источника, мКu, R – расстояние от источника до объекта облучения, см; Γ_γ – гамма-постоянная, $\left[\frac{р \cdot см^2}{ч \cdot мКu}\right]$ Табулированные значения коэффициента Γ_γ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты и основные характеристики радионуклидов

№ варианта	Схема распада	$T_{1/2}$	E_{α}, Мэв	Граничная энергия β-спектра, E_{β}, Мэв	Средняя энергия β-спектра, E_{β}, Мэв	Eγ или $E_{рент}$, кэв	Гγ, $\frac{р \cdot см^2}{ч \cdot мКи}$
1	$^{64}_{29}Cu \rightarrow ^{64}_{28}Ni$	12,8 ч		0,511	0,511	511	1,12
2	$^{133}_{53}I \rightarrow ^{133}_{54}Xe$	21 ч		1,54	0,418	950	3,8
3	$^{99}_{42}Mo \rightarrow ^{99}_{43}Tc$	66 ч		1,22	0,398	400	1,23
4	$^{131}_{53}I \rightarrow ^{131}_{54}Xe$	8,1 сут		0,81	0,18	350	2,15
5	$^{140}_{56}Ba \rightarrow ^{140}_{57}La$	12 сут		1,01	0,282	550	1,16
6	$^{238}_{94}Pu \rightarrow ^{234}_{92}U$	88 лет	5,46			50	0,08
7	$^{141}_{58}Ce \rightarrow ^{141}_{59}Pr$	33 сут		0,58	0,144	150	0,29
8	$^{103}_{44}Ru \rightarrow ^{103}_{45}Rh$	39 сут		0,71	0,062	511	1,22
9	$^{89}_{38}Sr \rightarrow ^{89}_{39}Y$	51 сут		1,47	0,583	511	2,94
10	$^{95}_{40}Zr \rightarrow ^{95}_{41}Nb$	64 сут		1,13	0,115	750	4,1
11	$^{241}_{95}Am \rightarrow ^{237}_{93}Np$	433 лет	5,44			60	0,63
12	$^{65}_{30}Zn \rightarrow ^{65}_{29}Cu$	244 сут		0,511	0,511	511	3,02
13	$^{144}_{58}Ce \rightarrow ^{144}_{59}Pr$	284 сут		0,32	0,084	150	0,04
14	$^{57}_{27}Co \rightarrow ^{57}_{26}Fe$	271 сут		0,511	0,511	150	0,58
15	$^{54}_{25}Mn \rightarrow ^{54}_{26}Fe$	312 сут		2,85	0,86	850	4,69
16	$^{240}_{94}Pu \rightarrow ^{236}_{92}U$	$6{,}5 \cdot 10^{3}$ лет	5,12			50	0,2
17	$^{106}_{44}Ru \rightarrow ^{106}_{45}Rh$	368 сут		3,54	1,42	600	1,54
18	$^{134}_{55}Cs \rightarrow ^{134}_{56}Ba$	2,1 лет		1,45	0,15	750	8,6
19	$^{239}_{94}Pu \rightarrow ^{235}_{92}U$	$2{,}4 \cdot 10^{4}$ лет	5,14			50	0,15
20	$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th$	$4{,}5 \cdot 10^{9}$ лет	4,2			50	0,07
21	$^{55}_{26}Fe \rightarrow ^{55}_{25}Mn$	2,7 лет		0,511	0,511	511	1,51
22	$^{125}_{51}Sb \rightarrow ^{125}_{52}Te$	2,8 лет		0,612	0,084	662	0,48
23	$^{90}_{38}Sr \rightarrow ^{90}_{39}Y$	28 лет		0,544	0,200	200 торм	0,35
24	$^{137}_{55}Cs \rightarrow ^{137}_{56}Ba$	30 лет		1,17	0,195	662	3,1
25	$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn$	1600 лет	4,6			750	3,3

Поглощенную дозу внешнего облучения организма человека определяем по соотношениям:

$$Д_{внеш} = К_д \cdot К_{экр} \cdot X, \text{ рад}; \quad (13)$$

$$Д_{внеш} = 0{,}01 \cdot К_д \cdot К_{экр} \cdot X, \text{ Гр} \quad (14)$$

где $К_д$ – дозовый коэффициент, равный 0,96 рад/р; $К_{экр}$ – коэффициент экранирования излучения телом человека, равен 0,7; X – экспозиционная доза, Р; 0,01 – коэффициент согласующий размерность 1 рад = 0,01 Гр.

Эквивалентную дозу в организме человека рассчитываем по соотношению:

$$H = W_K \cdot Д, \text{ Зв} \quad (15)$$

где Д – поглощенная доза в организме человека, Гр; W_R - взвешивающий коэффициент излучения, Зв/Гр.

Для фотонного излучения W_R= 1 (табл. 5).

3 Определение поглощенной дозы в органах и тканях

Радионуклиды, поступая в организм человека через органы дыхания, с питьевой водой, продуктами питания и через кожу, способны накапливаться в различных органах и тканях и при распаде формируют дозу внутреннего облучения. Поглощенную дозу внутреннего облучения рассчитывают как:

$$Д_{вн} = \frac{K_т \cdot N \cdot E}{m_т}, \text{ Гр} \quad (16)$$

где $K_т$ – коэффициент накопления радионуклида в органах и тканях, отн. ед. (табл. 4); N – количество распавшихся атомов за время формирования дозы (1 год); E - средняя энергия α, β – излучения в предположении, что α, β-частицы полностью поглощаются (теряют свою энергию) в соответствующих органах и тканях. В таблице 1 приводится энергия 1 распада в Мэв.

$$1\text{эв} = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \quad (17)$$

Определим количество распавшихся и выведенных из организма радиоактивных атомов за 1 год:

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot T_2}{T_{эф}}}, \tag{18}$$

$$N = A_0 \cdot \int_0^{T_2} e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{эф}}} dt = \frac{A_0}{\lambda}\left(1 - e^{-\frac{0,693 \cdot T_2}{T_{эф}}}\right), \tag{19}$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}, \tag{19а}$$

где A_0 – начальная активность радионуклида, Бк/с, см. условие задачи; T_2 – время формирования дозы, год (T_2 = 1 год); $T_{эф}$ – эффективное время полуочищения органа, год.

$$T_{эф} = \frac{T_б \cdot T_{1/2}}{T_б + T_{1/2}}, \text{ год} \tag{20}$$

где $T_б$ - биологический период полувыведения радионуклида, год; $T_{1/2}$ - период полураспада, год, значения $T_б$ и $T_{1/2}$, массы органов и тканей приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Органы и ткани накопления радионуклидов и их масса для стандартного человека ($m_{чел}$=70 кг)

№ варианта	Радионуклид	Критический орган или ткань	$T_{1/2}$	$T_б$, сут	Масса органа или ткани, кг	Коэффициент накопления, отн. ед.
1	Cu-64	ККМ	12,8 ч	300	1,5	0,003
2	I-133	Щитовидная железа	21 ч	30	0,02	0,01
3	Mo-99	Кожа	66 ч	150	2,6	0,007
4	I-131	Щитовидная железа	81 сут	30	0,02	0,01
5	Ba-140	Толстый кишечник	12 сут	90	0,37	0,001
6	Pu-238	Костная ткань	88 лет	500	0,9	0,005
7	Ce-141	Мочевой пузырь	33 сут	50	0,045	0,002
8	Ru-103	Половые железы	39 сут	200	0,075	0,005

9	Sr-89	ККМ	51 сут	300	1,5	0,003
10	Zr-95	Кожа	64 сут	150	2,6	0,007
11	Am-241	Легкие	433 сут	20	1,0	0,5
12	Zn-65	Молочная железа	244 сут	40	0,1	0,001
13	Ce-144	Мочевой пузырь	284 сут	50	0,045	0,002
14	Co-57	ККМ	271 сут	300	1,5	0,003
15	Mn-54	Желудок	312 сут	90	0,15	0,0001
16	Pu-240	Костная ткань	$6{,}5 \cdot 10^3$ лет	500	9,0	0,005
17	Ru-106	Половые железы	368 сут	200	0,075	0,005
18	Cs-134	Мышцы	2,1 лет	100	28	0,05
19	Pu-239	Костная ткань	$2{,}4 \cdot 10^4$ лет	500	9,0	0,005
20	U-238	Легкие	$4{,}5 \cdot 10^9$ лет	20	1,0	0,5
21	Fe-55	ККМ	2,7 лет	300	1,5	0,003
22	Sb-125	Печень	2,8 лет	20	1,8	002
23	Sr-90	ККМ	28 лет	300	1,5	0,003
24	Cs-137	Мышцы	30 лет	100	28	0,05
25	Ra-226	Мышцы	1600 лет	100	28	0,05

4 Определение эффективной дозы внутреннего облучения организма человека

Величину эффективной дозы внутреннего облучения определяют по соотношению:

$$H_T = \sum_{i=1}^{n} H_i \cdot W_{Ti}, \text{ Зв} \qquad (22)$$

где H_i - эквивалентная доза в организме человека, рассчитанная по соотношению (15); W_{Ti} - взвешивающий коэффициент органов и тканей.

Таблица 4 – Значения взвешивающих коэффициентов излучения

Вид излучения	W_R
Фотоны любых энергий	1
Электроны любых энергий, β-излучение	1
Нейтроны E<10 кэв E = 10 – 100 кэв E = 100 – 2000 кэв E = 2000 – 20 000 кэв E > 20 Мэв	5 10 20 10 2

Протоны с энергией > 2 Мэв	5
α – частицы, осколки деления, ядра отдачи	20

В случае облучения одного органа или ткани, соотношение упрощается:

$$H_T = H \cdot W_T, \text{ Зв} \qquad (22)$$

Значения взвешивающих коэффициентов соответствующих органов и тканей приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения взвешивающих коэффициентов органов и тканей

Ткань или орган	W_T
Половые железы	0,2
ККМ	0,12
Легкие	0,12
Толстый кишечник	0,12
Желудок	0,12
Молочные железы	0,05
Щитовидная железа	0,05
Мочевой пузырь	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Кожа	0,01
Костная ткань	0,01
Остальные органы	0,05

Материал и оборудование. Методические пособия, справочные таблицы по дозиметрии, калькулятор

Цель**:** освоить методику оценки и расчета доз внешнего и внутреннего облучения человека

Задания

В таблице 1 приведены радионуклиды чернобыльского происхождения (продукты деления и активации топлива на АЭС) состоят из продуктов деления: ^{235}U (^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{95}Zr, ^{99}Mo, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{125}Sb, ^{133}J, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{140}Ba, ^{141}Ce, ^{144}Ce), продуктов активации: ^{238}U (^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Am) и конструктивных материалов реактора (^{54}Mn, ^{55}Fe, ^{57}Co, ^{64}Cu, ^{65}Zn), ^{226}RaB равновесии с его продуктами распада. Все

они являются радионуклидами и распадаются по трем схемам распада: α-распад, β-распад, электронный захват (К-захват). Распад всех приведенных радионуклидов сопровождается рентгеновским или γ-излучением.

При разгерметизации точечного источника чернобыльского происхождения произошел выброс продуктов деления и активации топлива и материалов АЭС в окружающую среду с активностью n/2 мКи (где *n* - номер варианта в табл.1). Часть радионуклидов в количестве 0,1 % от активности попала в организмы операторов и распределилась по органам и тканям; оценить радиационную обстановку и меры безопасности при ликвидации последствий аварии, для чего определить:

1) вид и схему распада радионуклида;

2) экспозиционную дозу на расстоянии 1 м и возможную поглощенную и эквивалентную дозу внешнего облучения организма человека за время ликвидации последствий аварии;

3) поглощенную дозу облучения в органах и тканях за 1 год;

4) эквивалентную дозу в облученных органах и тканях за 1 год;

5) эффективную дозу при облучении соответствующих органов и тканей за 1 год и сравнить с пределом дозы, равным 1 м 3 в/год;

6) мероприятия по обеспечению радиационной безопасности при ликвидации последствий аварии.

7) Оформить вывод

Решение расчетных задач

1. Какова величина поглощенной дозы облучения (Зв или в бэр), если уровень радиации на расстоянии 50 км от эпицентра взрыва составляет 75 Р/ч и какой ущерб организму человека может быть нанесен?

2. Определить экспозиционную дозу внешнего облучения человека, находящегося на расстоянии 5 м от точечного источника фотонного излучения ^{141}Am, если активность источника составляет 2 Ки, гамма-постоянная 0,63 (р · с^{м2})/(ч · мКи).

3. Определить поглощенную дозу внутреннего облучения при поступлении в организм человека радионуклида ^{131}I, начальная активность которого 0,12 мКu, время формирования дозы 10 дней, биологический период полувыведения 30 суток , коэффициент накопления 0,01 средняя энергия β-излучения 0,18 Мэв, масса органа 0,02 кг.

4. Экспозиционная доза на рабочем месте оператора составляет 5 мр/час, какая поглощенная доза будет сформирована в организме в течение 8 часового рабочего дня?

5. Определите эффективную дозу облучения, если кожа и красный костный мозг облучены бета-частицами с поглощенной дозой 10 рад и 5 рад соответственно; легкие и печень альфа-частицами с поглощенной дозой 0,4 рад и 2 рада, соответственно; желудок – рентгеновским излучением с поглощенной дозой 8 рад. Ответ выразить в системных единицах.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные законы и нормативные документы, определяющие правовую базу Республики Беларусь в области радиационной безопасности и защиты.
2. Что входит в систему радиационного контроля и, какие цели он преследует?
3. Назовите известные вам виды радиоактивных распадов и приведите примеры.
4. Какие величины характеризуют поле источника ионизирующего излечения? Дайте определение.
5. Какие величины характеризуют дозу облучения? Дайте определение.
6. Что такое эффективный период полувыведения?

Лабораторное занятие 4

Оценка активности продуктов питания, полученных на радиоактивно загрязненной территории

1 Оценка радиоактивности продуктов, полученных на радиоактивно загрязненных территориях

Из всех чернобыльских радионуклидов наиболее эффективно поступают в сельскохозяйственную продукцию ^{137}Cs и ^{90}Sr. Ведущим по загрязнению территории радионуклидом является ^{137}Cs, поэтому в РДУ-99 нормируется большое количество продуктов питания по предельному содержанию в них ^{137}Cs. Определяем загрязнение ^{137}Cs продуктов питания, полученных из сельскохозяйственной продукции, выращенной в настоящее время на различных типах почв, распространенных в РБ.

Удельная активность продуктов питания определяется по формуле:

$$A_{уд} = К_п \cdot К_н \cdot \sigma^{137}, \text{ Бк/кг} \qquad (1)$$

где $К_п$ – коэффициент перехода из почвы в с/х продукцию, $м^2$/кг; σ^{137} – плотность загрязнения, Ku/$км^2$ (равно номеру варианта); $К_н$ – коэффициент накопления: с/х – продукт питания:

$$\frac{\left(\frac{Бк}{кг}\right)_{пр.\ питания}}{\left(\frac{Бк}{кг}\right)_{с/х\ продукция}}$$

Значения коэффициентов $К_п$ и $К_н$, а также предельные уровни загрязнения продуктов питания приведены в табл. 2.

если $A_{уд} > A_{доп}$, использовать нельзя

если $A_{уд} < A_{доп}$, использовать можно.

Таблица 2 – Значения коэффициентов перехода и накопления ^{137}Cs в зависимости от типа почвы

№	Тип почвы	С/х продукция	Лесные растения	Продукт питания	Кп	Кн	ДА, Бк/кг
1	торфяная		грибы	грибы свежие	$10\cdot10^{-3}$	1	370
2	торфяная		грибы	грибы сухие	$10\cdot10^{-3}$	7	2500
3	торфяная		клюква	ягоды	$15\cdot10^{-4}$	1	185
4	сераялесная		черника	ягоды	$1\cdot10^{-3}$	1	185
5	серая лесная		сено	дикий кабана	$8\cdot10^{-3}$	0,3	500
6	торфяная	рожь (зерно)		хлеб	$0,4\cdot10^{-3}$	0,01	40
7	торфяная	пшеница (зерно)		хлеб	$0,1\cdot10^{-3}$	0,02	40
8	торфяная	многолетние травы (сено)		молоко	$4,5\cdot10^{-3}$	0,05	100
9	песчаная	гречиха		крупа	$0,75\cdot10^{-3}$	0,5	60
10	песчаная	картофель		клубни	$0,2\cdot10^{-3}$	0,9	80
11	песчаная	пшеница (зерно)		хлеб	$0,4\cdot10^{-3}$	0,02	40
12	супесчаная	томаты		помидор	$0,06\cdot10^{-3}$	1	100
13	супесчаная	многолетние травы (сено)		молоко	$4\cdot10^{-3}$	0,05	100
14	легко-суглинистая	пшеница (зерно)		мука	$0,06\cdot10^{-3}$	0,04	60
15	легко-суглинистая	картофель		клубни	$0,1\cdot10^{-3}$	0,9	80
16	легко-суглинистая	клевер (сено)		молоко	$2\cdot10^{-3}$	0,05	100
17	средне-суглинистая	картофель		клубни	$0,8\cdot10^{-4}$	0,9	80
18	средне-суглинистая	гречиха		крупа	$0,15\cdot10^{-3}$	0,5	60
19	средне-суглинистая	многолетние травы (сено)		молоко	$2\cdot10^{-3}$	0,05	100
20	тяжело-суглинистая	пшеница (зерно)		мука	$0,5\cdot10^{-4}$	0,04	60
21	тяжело-суглинистая	карофель		клубни	$0,5\cdot10^{-4}$	0,9	80
22	тяжело-суглинистая	клевер (зерно)		молоко	$1\cdot10^{-3}$	0,05	100
23	чернозем выщелоченный	пшеница (зерно)		мука	$0,4\cdot10^{-4}$	0,04	60
24	чернозем выщелоченный	картофель		клубни	$0,3\cdot10^{-4}$	0,9	80
25	чернозем выщелоченный	клевер (сено)		молоко	$0,7\cdot10^{-4}$	0,05	100

Материал и оборудование. Методические пособия, справочные таблицы по дозиметрии, калькулятор

Цель: провести оценку уровня загрязнения сельскохозяйственных продуктов питания, производимых на территории радиоактивного загрязнения

Задания

Определить возможность использования продуктов питания, полученных с загрязненной ^{137}Cs территории, если плотность загрязнения ^{137}Cs равна n/2 (смотри варианты в таблице 1 предыдущей работы).

Решение расчетных задач

1. Определить возможность использования молока, полученного на территории радиоактивного загрязнения ^{137}Cs, если плотность загрязнения территории на которой оно были произведено равна 15 Ku/км^2, коэффициент перехода их почвы в сено $4{,}5 \cdot 10^{-3}$, а коэффициент накопления ^{137}Cs в молоке 0,05.
2. Определить возможность использования грибов, полученных на территории радиоактивного загрязнения ^{137}Cs, если плотность загрязнения территории на которой они были собраны равна 40 Ku/км^2, коэффициент перехода их почвы в грибы $10 \cdot 10^{-3}$, а коэффициент накопления ^{137}Cs равен 1.
3. Определить возможность использования картофеля, полученного на территории радиоактивного загрязнения ^{137}Cs, если плотность загрязнения территории на которой оно были произведено равна 10 Ku/км^2, коэффициент перехода их почвы в картофель $0{,}2 \cdot 10^{-3}$, а коэффициент накопления ^{137}Cs в молоке 0,9.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определения понятиям активность и удельная активность продукта.
2. Что такое допустимый и контрольный уровни среднегодовой активности?
3. Что определяет допустимый уровень среднегодовой удельной активности продуктов питания?

Лабораторное занятие 5

Определение текущей годовой эффективной дозы облучения населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения

1 Пути поступления радионуклидов в организм человека
2 Доза внутреннего и внешнего облучения.
3 Определение годовой эффективной дозы внешнего облучения
4 Оценка годовой эффективной дозы внутреннего облучения

1 Пути поступления радионуклидов в организм человека

Природа так распорядилась, что если в организме живого существа не хватает какого-нибудь элемента, то происходит компенсация его за счет другого химического аналога: радиоактивные или нерадиоактивные изотопы элементов химически совершенно одинаковы (например, изотопы йода), стронций-90 схож по химическим свойствам с кальцием, цезий-137 – с калием, плутоний-239 – с железом и т.д.

Йод-131 активно включается в биологическую цепь (путем ингаляционного поступления или в виде солей йода по цепочке: растение–молочно-продуктивный скот–человек). Известно, что йод накапливается в щитовидной железе, и поэтому радиоактивный йод, прежде всего, поражает щитовидную железу. Попав в щитовидную железу, йод облучает окружающие клетки и может нарушить функцию жизненно важных органов, что приводит к замедлению роста, рождению недоношенных детей, развитию рака щитовидной железы.

В организм животных и человека цезий-137 проникает в основном либо с вдыхаемым воздухом, либо с продуктами питания животного и растительного происхождения. Радиационное действие цезия-137 обусловлено бета- и гамма-активностью нуклида и при внутреннем, и при внешнем облучении организма.

В отличие от внешнего облучения опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловлена следующими причинами. Первая — способность некоторых нуклидов избирательно накапливаться в отдельных органах, называемых критическими (например, до 30% йода накапливается в щитовидной железе, которая составляет только 0,03% массы тела), и, таким образом, отдавать свою энергию относительно небольшому объему ткани, создавая высокие локальные дозы излучения.

2 Доза внутреннего и внешнего облучения

Основной целью радиационного контроля, в случае радиационной аварии, является оценка дозы облучения человека. Поглощенная и эквивалентная дозы облучения состоит из дозы внутреннего облучения (Двн) и дозы внешнего облучения (Двнеш). Дозы внешнего облучения - доза, сформированная от источников, находящихся вне организма. Доза внутреннего облучения - доза, сформированная от источников, попавших в организм с воздухом, продуктами питания, питьевой водой, через кожу и другими способами. Сумма доз внешнего и внутреннего облучения, которую получает человек за год, называют текущей средней годовой эффективной дозы облучения. Она рассчитывается по данным радиационного контроля и мониторинга для населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения.

Средняя годовая эффективная доза облучения жителей населённых пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, определяется как сумма средней дозы внешнего облучения от цезия-137, находящегося в почве, и дозы внутреннего облучения от инкорпорированного в организме жителей цезия-137:

$$E = E^{ext} + E^{\text{int}}, \qquad (1)$$

где E^{ext} – средняя эффективная доза внешнего облучения жителей населённого пункта, мЗв/год; E^{int} – средняя эффективная доза внутреннего облучения жителей населённого пункта, мЗв/год.

3 Определение годовой эффективной дозы внешнего облучения

Для расчета годовой эффективной дозы внешнего облучения необходима следующая информация:

- о средней плотности загрязнения территории НП и его ареала ^{137}Cs;
- данные по типу населенного пункта, в котором постоянно проживает человек.

СГЭД внешнего облучения жителей НП типа *s* определяется выражением:

$$E^{ext} = KF_s \cdot \sigma_{Cs}, \qquad (2)$$

где KF_s – коэффициент перехода от величины средней плотности загрязнения ^{137}Cs территории НП типа *s* к средней годовой эффективной дозе облучения жителей НП, мЗв /кБк м$^{-2}$ (мЗв/Ки км$^{-2}$); σ_{Cs} – средняя плотность загрязнения территории НП ^{137}Cs, кБк/м^2 (Ки/км^2).

В таблице 1 представлены значения коэффициента KF_s для жителей населенного пункта типа *s*.

Таблица 1 – Значения параметров KF_s, предлагаемых для использования в расчетах средней годовой эффективной дозы внешнего облучения жителей населенного пункта

	Тип населенного пункта		
Параметр	сельский	поселковый	городской
KF_s, мЗв/Ки км$^{-2}$	0,08	0,05	0,04
KF_s, мЗв/кБк м$^{-2}$	$2{,}7\cdot10^{-3}$	$1{,}9\cdot10^{-3}$	$1{,}1\cdot10^{-3}$

4 Оценка годовой эффективной дозы внутреннего облучения

Для расчета средней годовой эффективной дозы внутреннего облучения необходима следующая информация:

- данные по содержанию ^{137}Cs в организме жителей населенного пункта, полученные по результатам СИЧ–измерений;
- данные о средней плотности загрязнения ^{137}Cs территории НП и его ареала.

Результаты прямых инструментальных измерений содержания ^{137}Cs в организме человека являются наиболее достоверными данными для оценки дозы внутреннего облучения от ^{137}Cs. При наличии достаточного количества результатов СИЧ-измерений содержания ^{137}Cs в организме жителей конкретного НП используются данные СИЧ–измерений за один из последних 1–3 лет. Критерий достаточности объема данных СИЧ–измерений содержания ^{137}Cs в организме жителей для НП с определённой численностью населения представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Необходимый объем выборки для корректной оценки текущих доз облучения жителей в населенном пункте

Число жителей в населенном пункте	<100	100 -1000	1000 - 10000	>10000
Объем выборки	не менее 85 % от общей численности	не менее 40 % от общей численности	не менее 10 % от общей численности	680 человек

По результатам СИЧ–измерений содержания ^{137}Cs в организме рассчитывается эффективная доза внутреннего облучения E^{int} по выражению:

$$E^{\text{int}} = DF\frac{Q}{M} \tag{3}$$

где DF – дозовый коэффициент для ^{137}Cs, мЗв/кБк кг$^{-1}$, значения которого представлены в таблице 3; Q – содержание ^{137}Cs в организме человека по результатам СИЧ-измерения, кБк; M – масса тела человека, кг.

Таблица 3 – Значения дозового коэффициента DF для ^{137}Cs

Возрастная группа, лет	Дозовый коэффициент для ^{137}Cs (DF), мЗв·год$^{-1}$/кБк кг$^{-1}$
0–1	2,4
1–2	2,1
3–7	2,2
8–12	2,2
13–17	2,4
> 17	2,5

Среднюю годовую эффективную дозу внутреннего облучения жителей НП рассчитывают по формуле:

$$E^{\text{int}} = \frac{1}{n}\cdot\sum_i E_i^{\text{int}} \tag{4}$$

где n – численность обследуемых жителей НП; E_i^{int} – эффективная доза внутреннего облучения i –го жителя, мЗв/год.

В случае отсутствия или недостатка данных СИЧ–измерений средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения оценивается по среднему суточному поступлению ^{137}Cs в организм жителей НП (q), которое определяется по уравнению линейной регрессии вида:

$$q = a + b \cdot \sigma_{Cs} \qquad (5)$$

где q – среднее суточное поступление ^{137}Cs в организм, Бк/сутки; a и b – эмпирически полученные для определенного класса населенных пунктов коэффициенты связи поступления ^{137}Cs и плотности загрязнения территории НП ^{137}Cs; σ_{Cs} – средняя плотность загрязнения территории НП ^{137}Cs, кБк/м^2.

В зависимости от уровня загрязнения (плотности загрязнения), типа почвы, удельной продуктивных лесных площадей в ареале населенного пункта и численности трудоспособного населения выделяются 3 класса населенных пунктов, для которых существует достоверное различие в формировании дозы внутреннего облучения жителей. По результатам СИЧ-обследования группы реперных населенных пунктов (т.е. НП, с достаточным количеством обследованных лиц) для каждого класса получены регрессионные уравнения, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры уравнения линейной регрессии для 3-х регионов

Класс населенных пунктов	Параметры уравнения $q = a + bx$, Бк/сутки	
	a	b
1	47	0,52
2	28	0,12
3	8,4	0,34

Средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения жителей НП по среднему суточному поступлению ^{137}Cs рассчитывается по выражению:

$$E^{int} = (2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot q)/M \qquad (6)$$

где E^{int} – дозовый коэффициент, равный для взрослого человека 2,5 мЗв·год$^{-1}$/кБк·кг$^{-1}$; 120 – коэффициент, учитывающий период полувыведения ^{137}Cs из организма (коэффициент перехода от суточного поступления к равновесному годовому содержанию цезия-137 в организме) в условиях хронического постоянного поступления радионуклида в организм; q – среднее суточное поступление ^{137}Cs жителям населенного пункта, Бк; M – средняя масса взрослого человека, кг.

Суммарная годовая эффективная доза облучения жителей населенных пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, является суммой эффективных доз внешнего и внутреннего облучения (1). E^{ext}, E^{int} вычисляются по формулам (2) и (3), (4), (5), (6), соответственно.

Таким образом, СГЭД облучения жителей НП определяется по выражению:

$$E = KF_s \cdot \sigma_{Cs} + \frac{1}{n} \cdot \sum_i E_i^{\text{int}} \tag{7}$$

или

$$E = KF_s \cdot \sigma_{Cs} + 0{,}3 \cdot q / M \tag{8}$$

где q определяется по формуле (5).

Результаты расчётов дозы по формулам (7) и (8) округляются до двух значащих цифр.

<u>Материал и оборудование</u>. Методические пособия, справочные таблицы по дозиметрии, калькулятор

<u>Цель</u>: освоить методику расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающих на территории радиоактивного загрязнения

Задания

1. Средняя плотность загрязнения территории поселкового НП Абрамовка и его ареала ^{137}Cs составляет 2,76 Ки/км^2, определить среднюю годовую эффективную дозу внешнего облучения жителей этого НП.

2. Средняя плотность загрязнения территории сельского НП Антоновка и его ареала ^{137}Cs составляет 370 кБк/м^2, определить

среднюю годовую эффективную дозу внешнего облучения жителей этого НП.

3. Численность населенного пункта Ивановка составляет 650 человек, в ходе обследования этого населенного пункта в течение года было получено 270 измерений. Из них 50 человек – дети в возрасте 8-12 лет (средняя масса 36,5 кг), у которых среднее содержание ^{137}Cs в организме (удельная активность, т.е. активность на кг веса) составило 65,5 Бк/кг и 220 взрослых (средняя масса 75 кг), у которых содержание ^{137}Cs в организме составило 162,5 Бк/кг. Определите среднюю годовую эффективную дозу внутреннего облучения жителей НП Ивановка.

4. Численность населенного пункта Ивановка составляет 650 человек, в течение года было обследовано менее 30 человек, определите среднюю годовую эффективную дозу внутреннего облучения жителей НП Ивановка если НП относится к 3 классу и имеет плотность загрязнения территории ^{137}Cs 5,4 Ки/км^2.

5. Рассчитайте суммарную годовую дозу облучения жителей сельского населенного пункта, если плотность загрязнения ^{137}Cs 555 кБк/м^2.

Вопросы для самоконтроля

1. Что определяет величину текущей годовой дозы внутреннего облучения жителей в населенном пункте, расположенном на радиоактивно загрязненной территории?
2. Что определяет величину текущей годовой дозы внешнего облучения жителей в населенном пункте, расположенном на радиоактивно загрязненной территории?
3. Какие инструментальные методы оценки дозы внутреннего облучения вы знаете?
4. Что такое равновесная концентрация радионуклида в организме? В течение, какого периода времени она наступает для радионуклидов цезия-137 при его хроническом поступлении?

Лабораторная занятие 5
Оценка радиационной обстановки территории

1 Нормативно-правовая база Республики Беларусь регулирующая вопросы радиационной безопасности и защиты
2 Радиационное обследование территории
3 Обработка результатов измерений

1 Нормативно-правовая база Республики Беларусь регулирующая вопросы радиационной безопасности и защиты

Радиационная безопасность как государственная система складывается из следующих составных частей:

1. Законодательно-нормативная база РБ по радиационной безопасности, являющаяся юридической и правовой основами обеспечения радиационной безопасности. Она состоит из законов РБ и нормативных документов.

Основные законы и нормативные документы:

- Закон РБ «О радиационной защите населения» (1998 г.).
- Закон РБ «Об охране окружающей среды» (1992 г.).
- Закон РБ «О социальной защите граждан, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС» (1991 г.).
- Закон РБ «О статусе территорий, загрязненных в результате аварий на ЧАЭС» (1991 г.).
- Нормы радиационной безопасности: НРБ-2000.
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности: ОСП-2002.
- Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания и питьевой воды: РДУ-99.

2. Система радиационного контроля

Радиационный контроль - это определение параметров радиационной обстановки, сравнение их значений с существующими нормативами и разработка мероприятий по приведению в соответствие радиационной обстановки с нормативами.

Радиационный контроль проводится:

– на предприятиях, где используются источники ионизирующих измерений (ИИИ);
– при проведении радиационного мониторинга;
– при радиационных авариях.

Основные параметры, которые определяются при радиационном контроле на предприятиях, где используются ИИИ:

– мощность экспозиционной дозы фотонного излучения;

– плотность потока ионизирующих частиц с рабочих поверхностей;

– концентрация радионуклидов в воздухе рабочих помещений.

При проведении радиационного мониторинга оцениваются:

– мощность экспозиционной дозы фотонного излучения;

– плотность потока ионизирующих частиц с различных поверхностей;

– концентрация радионуклидов в почве, воде, атмосфере.

При радиационных авариях к вышеперечисленным параметрам для мониторинга добавляется определение радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания.

Основной целью радиационного контроля является оценка дозы облучения человека. Поглощенная и эквивалентная дозы облучения состоит из дозы внутреннего облучения (Двн, Нвн) и дозы внешнего облучения (Двнеш, Нвнеш).

3. Физические основы защиты от ионизирующих излучений (ИИ)

Защита от ИИ в дозиметрии сводится к защите расстоянием, временем и экраном. Защита расстоянием - увеличение расстояния от источников ИИ до работающих (проживающих); защита временем - сокращение времени работы с источниками ИИ или времени воздействия их на биологический объект; защита экраном – экранирование источников ИИ материалами, поглощающими ИИ.

В случае радиационной аварии, повлекшей радиоактивное загрязнение обширных территорий страны, при уровне загрязнения более 1 Ки/км^2 (37 кБк/м^2) проводится комплекс мероприятий направленных на мониторинг доз облучения населения проживающего на пострадавшей территории. При проведении радиационного мониторинга оцениваются:

– мощность экспозиционной дозы фотонного излучения;

– плотность потока ионизирующих частиц с различных поверхностей;

– концентрация радионуклидов в почве, воде, атмосфере.

При радиационных авариях к вышеперечисленным параметрам для мониторинга добавляется определение радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания.

Мероприятия по радиационному контролю местности проводятся на всей территории Республики Беларусь, разделенных на три зоны. Каждая зона отличается объемом и периодичностью проводимых работ. Выделяют:

Зона А – территория, относящаяся к зонам радиоактивного загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС согласно Закона Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС»

Зона Б – территория вероятного радиационного воздействия выбросов АЭС сопредельных государств (30-ти километровые зоны вокруг Игналинской и Чернобыльской АЭС).

Зона В – остальная территория республики.

В ходе обследования территории производится пробоотбор и измерение мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в воздухе, мкЗв/час (МЭД). Точечная проба - небольшое количество продукции, отобранное за один прием для составления объединенной пробы. Объединенная проба - гомогенизированная совокупность всех точечных проб, отобранных из партии продукции.

Для выполнения своих задач и функций подразделения радиационного контроля оснащаются необходимым, *допущенным к применению в сети радиационного контроля*, измерительным и вспомогательным оборудованием, нормативно-методической документацией, а также транспортом, инструментами, расходными материалами. Средства измерений должны быть поверены (аттестованы) при вводе в эксплуатацию и периодически поверяться (аттестовываться).

В задачи радиационно-экологического мониторинга:

– изучение вертикальной миграции радионуклидов в почве и факторов, влияющих на глубину и скорость миграции;

– изучение запаса и накопления радионуклидов в компонентах биогеоценоза (лесной подстилке, почве, растениях напочвенного покрова, древесных и кустарниковых породах, дарах леса);

– изучение динамики загрязнения компонентов лесных биогеоценозов радионуклидами.

Радиационно-экологический мониторинг проводится на стационарных участках (пунктах постоянного наблюдения – ППН). На стационарных участках ежегодно производится измерение мощности эквивалентной дозы, отбираются пробы почвы, коры древесины,

растений живого напочвенного покрова, грибов, ягод, плодов, лекарственных растений или их частей.

2 Радиационное обследование территории

Для проведения радиационного обследования территории необходимо выделить однородный элементарный участок. Выделение элементарного участка должно включать в себя определение однородности насаждения по таксационным признакам: составу, возрасту, бонитету, полноте, среднему диаметру, средней высоте, запасу, классу товарности, типу леса, и радиоактивному загрязнению.

Определение однородности по радиационному загрязнению проводится путем измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) дозиметрами.

Съемка МЭД проводится в точках по периметру участка и параллельным маршрутным ходам, расположенным друг от друга на расстоянии 5 м через каждые 5 м (не менее 3 раз в каждой точке). Данные по каждой точке усредняются и результаты заносятся в полевой журнал и наносятся на схему участка.

В случае обнаружения результатов измерения МЭД, отличающихся на 50% от среднего значения на элементарном участке, он разделяется на более мелкие элементарные участки по границам выделов.

Отбор проб почвы проводится с живым напочвенным покровом стандартным пробоотборником почвы на глубину 20 см в 4 точках площадки 50*50 м^2. Точки отбора должны располагаться по углам площадки.

Объединенная проба почвы из 4 точек отбора помещается в полиэтиленовый пакет.

Для отбора проб древесины на элементарном участке подбираются три модельных дерева. Пробы древесины отбираются с корой.

Отбор проб ветвей проводится на модельных деревьях. Отобранные точечные пробы измельчаются, перемешиваются и из объединенной пробы методом квартования отбирается представительная проба.

Подготовка проб к измерениям. Подготовка проб проводится в лабораториях радиационного контроля. Представительные пробы измельчаются, перемешиваются и высушиваются.

Пробы почвы освобождаются от посторонних включений (камни, корни и т.д.), измельчаются и высушиваются до воздушно-сухого состояния при нормальных условиях (20^oC, 84...106,7 кПа);

Пробы древесины с корой и без коры в виде опилок очищаются от примесей, тщательно перемешиваются и высушиваются до воздушно-сухого состояния.

Измерения активности ^{137}Cs в пробах выполняются на радиометрических установках в лабораториях радиационного контроля методами радиометрии и гамма-спектрометрии.

Радиационное обследование квартала проводится в два этапа:

I - полевые работы.

II – лабораторные измерения и обработка результатов.

При проведении полевых работ:

– предварительно выполняются измерения мощности дозы (МД) на высоте 1 м. При значительной неравномерности радиоактивного загрязнения ($МД_{max}/МД_{min}$ > 3,3) дополнительно проводятся 10-15 измерений внутри квартала. Результаты измерений заносятся в ведомость.

– пробная площадка в лесу должна иметь квадратную или прямоугольную форму с размерами сторон 30-50м × 30-50 м;

– отбираются точечные почвенные пробы стандартным пробоотборником диаметром 4 см и глубиной отбора 20 см по углам пробной площадки.

ВЕДОМОСТЬ №_____

предварительного радиационного обследования квартала леса

Дата обследования_____
Лесхоз_____
Лесничество_____
Квартал_____

Номер точки измерения	МД, мкР/ч, (мкЗв/ч)			
	1	2	3	Среднее значение
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Минимальное значение МД (min) _____ мкР/ч, (мкЗв/ч)
Среднее значение МД (ср) _____ мкр/ч, (мкЗв/ч)
Максимальное значение МД (max) _____ мкР/ч, (мкЗв/ч)
Отношение максимального значения МД к минимальному
МДmax/МДmin = _____

Радиационное обследование произвел _____ _____
(Подпись) (Фамилия, инициалы)

3 Обработка результатов измерений

Результаты измерения удельной активности проб почвы для отнесения лесных участков к определенной зоне загрязнения используются следующим образом:

- результаты измерения усредняются, если измерения удельной активности почвы с элементарного участка проводились в двух или более измерительных сосудах;

- плотность загрязнения участка $A_{пов}$, Ки/км^2, рассчитывается по формуле (1):

$$A_{пов} = \frac{A_{уд} \cdot m \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-11}}{n \cdot S}, \qquad (1)$$

где $A_{уд}$ - удельная активность пробы почвы, Бк/кг; m - суммарная масса объединенной пробы почвы в воздушно-сухом состоянии, кг; n – число уколов пробоотборником; S – площадь пробоотборника, км^2; $2{,}7\times10^{-11}$ – пересчетный коэффициент для перехода от Бк/кг к Ки/км^2 .

Для вычисления плотности загрязнения участка $A_{пов}$, Бк/м^2, используется по формула (2):

$$A_{пов} = \frac{A_{уд} \cdot m}{n \cdot S}, \qquad (2)$$

Здесь площадь пробоотборника S выражается в м^2.

По результатам измерений удельной активности проб лесной продукции определяется соответствие уровней загрязнения продукции установленным нормативам на содержание ^{137}Cs и ее использование в различных отраслях производства.

При оценке поступления радиоизотопов в растения используется коэффициент пропорциональности или коэффициент перехода (*КП, м^2/кг*), который равен отношению удельной активности радионуклида в растении $A_{уд.растения}$ (Бк/кг) удельной активности радионуклида в почве к $A_{уд.почвы}$ (Бк/м^2) (формула 3):

$$КП = \frac{A_{уд.растения}(Бк/кг)}{A_{пов.почвы}(Бк/м^2)}. \qquad (3)$$

Этот показатель являются наиболее применимыми и показывает количество радионуклида, которое переходит в растение при плотности

загрязнения в 1 Бк/м^2. Поступление радионуклида в растения зависит от его содержания в почве биологически доступной форме, вида растения и типа почвы.

Зная коэффициент перехода КП (м^2/кг) и допустимое содержание радионуклида в продукции $А_{доп}$ (Бк/кг), можно рассчитать максимальную плотность радиоактивного загрязнения почвы ПЗ (кБк/м^2), на которой возможно заготовка нормативно «чистой» продукции данного вида (таблица 1). Для этого используем формулу (4):

$$ПЗ(кБк/м^2) = \frac{КП(м^2/кг)}{А_{доп}(Бк/кг)\cdot 1000}. \quad (4)$$

Таблица 1 - Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001)

№ п/п	Наименование продукции	Содержание цезия-137 Бк/кг
1	Лесоматериалы круглые	
1.1	Лесоматериалы круглые для строительства стен жилых зданий	740
1.2	Лесоматериалы круглые прочие	1480
2	Древесное технологическое сырье	1480
3	Топливо древесное	740
4	Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов	
4.1	Пиломатериалы, изделия и детали из древесины и древесных материалов для строительства (внутренней обшивки) стен жилых зданий	740
4.2	Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов прочие	1850
5	Прочая непищевая продукция лесного хозяйства	1850

Материалы и оборудование. Дозиметр ДРГ 01-Т, пробоотборник, целлофановые пакеты, денты, калькулятор.

Цель: выполнить оценку радиационной обстановки территории в полевых условиях и оценить экспозиционную и поглощенную дозу внешнего облечения

Задания

1. Выбрать и разметить элементарный участок
2. Провести гамма-съемку участка
3. Провести отбор образцов почвы и растительности
4. Провести пробоподготовку образцов
5. Провести спектрометрические измерения активности образцов почвы и растительности
6. Рассчитать плотность поверхностного загрязнения почвы в Ки/км^2
7. Сделать заключение о пригодности растительной продукции
8. Рассчитать коэффициент перехода
9. Рассчитать максимальную плотность радиоактивного загрязнения почвы, при которой возможна заготовка нормативно чистой продукции
10. Написать отчет о лабораторной работе

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое радиационный мониторинг? В отношение, каких характеристик его проводят?
2. Назовите основные требования к выбору элементарного опытного участка.
3. Расскажите, как проводится гамма-съемки территории.
4. Что такое пробоотбор и и пробоподготовки образцов.
5. Как рассчитывается плотность поверхностного радиоактивного загрязнения почвы?
6. Как определяется коэффициент пререхода.

Варианты контрольных работ

Вариант 1

1. Определите вид и допишите схему ядерного превращения:

$$^{133}_{53}I \rightarrow ^{133}_{54}Xe$$

2. Средняя плотность загрязнения территории поселкового НП Абрамовка и его ареала ^{137}Cs составляет 5 Ки/км^2, определить среднюю годовую эффективную дозу внешнего облучения жителей этого НП.

3. Период полураспада радиоактивного йода $^{131}_{53}I$ 8,04 сут. Определить количество атомов, распавшихся в 0,1 г радиоактивного йода за 4,02 сут. Молярная масса $^{131}_{53}I$ равна $131 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

4. Рассчитать активность ^{90}Sc через 10 лет после его выпадения, если поверхностная активность составила 5,5 Ки. Период полураспада ^{90}Sc 29,1 года.

Вариант 2

1. Определите вид и допишите схему ядерного превращения:

$$^{99}_{42}Mo \rightarrow ^{99}_{43}Tc$$

2. Экспозиционная доза на рабочем месте оператора составляет 5 мр/час, какая поглощенная доза будет сформирована в организме в течение 8 часового рабочего дня?

3. Численность населенного пункта Ивановка составляет 650 человек, в ходе обследования этого населенного пункта в течение года было получено 270 измерений. Из них 50 человек – дети в возрасте 8-12 лет (средняя масса 36,5 кг), у которых среднее содержание ^{137}Cs в организме (удельная активность, т.е. активность на кг веса) составило 65,5 Бк/кг и 220 взрослых (средняя масса 75 кг), у которых содержание ^{137}Cs в организме составило 162,5 Бк/кг. Определите среднюю годовую эффективную дозу внутреннего облучения жителей НП Ивановка.

4. Определите эффективную дозу облучения, если кожа и красный костный мозг облучены бета-частицами с поглощенной дозой 10 рад и 5 рад соответственно; легкие и печень альфа-частицами с поглощенной дозой 0,4 рад и 2 рада, соответственно; желудок – рентгеновским излучением с поглощенной дозой 8 рад. Ответ выразить в системных единицах.

Вариант 3

1. Определите вид и допишите схему ядерного превращения:

$$^{131}_{53}I \rightarrow ^{131}_{54}Xe$$

2. Средняя плотность загрязнения территории сельского НП Антоновка и его ареала ^{137}Cs составляет 370 кБк/м^2, определить среднюю годовую эффективную дозу внешнего облучения жителей этого НП.

3. Рассчитать активность ^{137}Cs через 23 года после его выпадения, если поверхностная активность составила 40 мКи. Период полураспада ^{137}Cs 30,17 лет. Ответ выразить в системных единицах.

4. Период полураспада ксенона $^{135}_{54}Xe$ 9,09 ч. Определить количество атомов, распавшихся в 0,1 г радиоактивного ксенона за 4 ч. Молярная масса $^{96}_{40}Zr$ равна 135 · 10^{-3} кг/моль.

Вариант 4

1. Определите вид и допишите схему ядерного превращения:

$$^{238}_{94}Pu \rightarrow ^{234}_{92}U$$

2. Образец пробы почвы содержит два сорта радионуклидов с постоянными распада λ_1 = 30,17 и λ_2 = 29,1. Определить качественный состав пробы и ее суммарную активность через 10 лет. Активность пробы A_0^1 = 10 мКи, A_0^2 = 5 мКи.

3. Индикатор радиометра ДРГ-01Т показывает значение 0,020 мр/час, какое значение будет иметь мощность эквивалентной дозы облучения человека?

4. Определите эффективную дозу облучения, если пищевод и красный костный мозг облучены бета-частицами с поглощенной дозой 12 рад и 6 рад соответственно; легкие и кожа альфа-частицами с поглощенной дозой 2 рад и 6 рада, соответственно; печень – рентгеновским излучением с поглощенной дозой 10 рад. Ответ выразить в системных единицах.

Вариант 5

1. Определите вид и допишите схему ядерного превращения:

$$^{137}_{55}Cs \rightarrow ^{137}_{56}Ba$$

2. Период полураспада радиоактивного натрия $^{24}_{11}Na$ 14,8 ч. Определить количество атомов, распавшихся в 1 г радиоактивного натрия за 7,4 ч. Молярная масса $^{24}_{11}Na$ равна 24 · 10^{-3} кг/моль.

3. Рассчитать активность ^{137}Cs через 23 года после его выпадения, если поверхностная активность составила 12 мКи. Период полураспада ^{137}Cs 30,17 лет. Ответ выразить в системных единицах.

4. Период полураспада ксенона $^{135}_{54}Xe$ 9,09 ч. Определить количество атомов, распавшихся в 10^{-3} г радиоактивного ксенона за 4 ч. Молярная масса $^{86}_{40}Zr$ равна $135 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Вариант 6

1. Определите вид и допишите схему ядерного превращения:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn$$

2. Образец пробы почвы содержит два сорта радионуклидов с постоянными распада λ_1 = 30,17 и λ_2 = 29,1. Определить качественный состав пробы и ее суммарную активность через 10 лет. Активность пробы A_0^1 = 40 мКи, A_0^2 = 15 мКи.

3. Индикатор радиометра ДРГ-01Т показывает значение 0,013 мр/час, какое значение будет иметь мощность эквивалентной дозы облучения человека?

4. Определите эффективную дозу облучения, если пищевод и кожа облучены бета-частицами с поглощенной дозой 18 рад и 0,5 рад соответственно; легкие и кожа альфа-частицами с поглощенной дозой 12 рад и 8 рада, соответственно; красный костный мозг – рентгеновским излучением с поглощенной дозой 15 рад. Ответ выразить в системных единицах.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица значений атомных масс химических элементов

Символ элемента	Название	Атомная масса, а.е.м
Ac	актиний	227,028
Ag	серебро	107,868
Al	алюминий	26,982
Am	америций	243,061
Ar	аргон	39,948
As	мышьяк	74,922
At	астат	209,987
Au	золото	196,967
B	бор	10,811
Ba	барий	137,33
Be	бериллий	9,012
Bi	висмут	208,98
Bk	берклий	247,07
Br	бром	79,904
C	углерод	12,011
Ca	кальций	40,078
Cd	кадмий	112,41
Ce	церий	140,12
Cf	калифорний	251,08
Cl	хлор	35,453
Cm	кюрий	247,07
Co	кобальт	58,933
Cr	хром	51,996
Cs	цезий	132,905
Cu	медь	63,546
Dy	диспрозий	162,5
Er	эрбий	167,26
Es	эйнштейний	252,083
Eu	европий	151,96
F	фтор	18,998
Fe	железо	55,847
Fm	фермий	257,095
Fr	франций	223,02
Ga	галлий	69,723
Gd	гадолиний	157,25
Ge	германий	72,59

H	водород	1,008
He	гелий	4,003
Hf	гафний	178,49
Hg	ртуть	200,59
Ho	гольмий	164,93
I	иод	126,905
In	индий	114,82
Ir	иридий	192,22
K	калий	39,098
Kr	криптон	83,8
La	лантан	138,906
Li	литий	6,941
Lr	лоуренсий	260,105
Lu	лютеций	174,967
Md	менделевий	258,099
Mg	магний	24,305
Mn	марганец	54,938
Mo	молибден	95,94
N	азот	14,007
Na	натрий	22,99
Nb	ниобий	92,906
Nd	неодим	144,24
Ne	неон	20,179
Ni	никель	58,69
No	нобелий	259,101
Np	нептуний	237,048
O	кислород	15,999
Os	осмий	190,2
P	фосфор	30,974
Pa	протактиний	231,036
Pb	свинец	207,2
Pd	палладий	106,42
Pm	прометий	144,913
Po	полоний	208,982
Pr	празеодим	140,908
Pt	платина	195,08
Pu	плутоний	244,064
Ra	радий	226,025
Rb	рубидий	85,468
Re	рений	186,207
Rh	родий	102,906
Rn	радон	222,018

Ru	рутений	101,07
S	сера	32,066
Sb	сурьма	121,75
Sc	скандий	44,956
Se	селен	78,96
Si	кремний	28,086
Sm	самарий	150,36
Sn	олово	118,71
Sr	стронций	87,62
Ta	тантал	180,948
Tb	тербий	158,925
Tc	технеций	97,907
Te	теллур	127,6
Th	торий	232,038
Ti	титан	47,88
Tl	таллий	204,383
Tm	тулий	168,934
U	уран	238,029
V	ванадий	50,942
W	вольфрам	183,85
Xe	ксенон	131,29
Y	иттрий	88,906
Yb	иттербий	173,04
Zn	цинк	65,39
Zr	цирконий	91,224

Литература

1. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях; учеб. для вузов / под ред. М. И. Постника. -Минск : Утверсиэцкае, 1997. - 278 с.

2. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: справочник / Под ред. Г. П. Демиденко. - Киев: ВШ, 1989.- 287 с.

3. Радиация, дозы, эффект, риск / пер. с англ. Ю. А. Банникова. – Москва : Мир, 1990. - 79 с.

4. Атаманюк, В.Г. Гражданская оборона: учеб. для вузов / В. Г. Атаманюк, Л. Г. Ширшев, Н. Н. Акимов. - Москва : ВШ, 1986.-208 с.

5. Михнюк, Т. Ф. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / Т. Ф. Михнюк. - Минск : Дизайн ПРО, 1998. - 240 с.

6. Постник, М. И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учебник / М. И. Постник. - Минск: ВШ, 2003.- 398 с.

7. Дорожко, С.В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учеб. пособие. Ч. 3. / С. В. Дорожко, В. Т. Пустович, Г. Н. Морзак. - Минск: УП «Технопринт», 2001. - 222 с.

8. Стожаров, А.Н. Оценка риска для здоровья при действии факторов окружающее среды: Метод. рекомендации / А.Н. Стожаров. - Мн.: БГМУ, 2002. - 17 с.

9. Проблемы оценки канцерогенного риска воздействия химических загрязнений окружающей среды / С.М.Новиков [и др.] //Гигиена и санитария. - 1998. - №1. - С. 29-34.

10. Проблемы прогнозирования и оценки общей химической нагрузки на организм человека с применением компьютерных технологий / С.М.Новиков [и др.] //Гигиена и санитария. - 1997. - №4. - С. 3-8.

11. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р2.1.10.1920-04: утв. Гл. гос. Санит. врачом РФ 5 марта 2004 г.: текст по состоянию на 25 сентября 2006 года.

12. Инструкция по оценке риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух: 2.1.6.11-9-29-2004: утв. Гл. гос. санит. врачом Респ.Беларусь 5 июля 2004 г.- Минск:Минздрав РБ, 2004. – 47 с.

13. Инструкция по проведению обследования участков заготовки продукции лесного хозяйства или сырья, отбору и подготовке проб для контроля радиоактивного загрязнения: утв.зам. министра лесного хозяйства РБ. – Минск: Минлесхоз РБ, 1998. – 21 с.

14. Инструкция по проведению радиационного обследования земель государственного лесного фонда: утв. пред. Комитета лесного хозяйства РБ. – Минск: Комлесхоз РБ, 2003. – 21 с.

Учебное издание

Дроздов Денис Николаевич
Дворник Александр Михайлович

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Практическое руководство
для студентов специальности 1 – 31 01 01-02 – «Биология (научно-педагогическая деятельность)»

в авторской редакции

Подписано в печать 28.04.2010 Формат 60×84 1/16
Бумага писчая №1. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. 3,8
Уч. –изд. л. 4,2. Тираж 30 экз.

Отпечатано в учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

246019, г. Гомель, ул. Советская, 104