

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»  
Кафедра производственной и экологической безопасности

**ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методическое пособие  
к лабораторным занятиям по дисциплине  
«Защита населения и хозяйственных объектов  
в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность»  
для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР

Минск 2004

УДК 621.039 (075.8)  
ББК 68.69 я 73  
О-93

А в т о р ы:

И.С. Асаенок, А.И. Навоша, К.Д. Яшин, Е.Н. Зацепин

**О-93      Оценка радиоактивного загрязнения продуктов питания и строитель-**  
**ных материалов: Метод. пособие к лаб. занятиям по дисц. «Защита населе-**  
**ния и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная**  
**безопасность» / И.С. Асаенок, А.И. Навоша, К.Д. Яшин и др. – Мн.: БГУИР, 2004. – 23 с.**  
**ISBN 985-444-638-7**

Методическое пособие дает краткие сведения об источниках ионизирующих излучений, методику оценки радиоактивного загрязнения продуктов питания и строительных материалов. В приложениях приведено устройство радиометров и справочные материалы.

**УДК 621.039 (075.8)**  
**ББК 68.69 я 73**

**ISBN 985-444-638-7**

© Коллектив авторов, 2004  
© БГУИР, 2004

# Содержание

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ
  - 1.1. Радиоактивность
  - 1.2. Виды ионизирующих излучений
  - 1.3. Детекторы ионизирующего излучения
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Оценка радиоактивного загрязнения продуктов питания и строительных материалов
  - 2.1. Оценка радиоактивного загрязнения продуктов питания  
ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
    - 2.1.1. Подготовка радиометра к работе и его включение
    - 2.1.2. Проверить исправность радиометра
    - 2.1.3. Определить собственный фон блока детектирования
    - 2.1.4. Измерить объемную активность радионуклидов в пробах питания
  - 2.2. Оценка радиоактивного загрязнения строительных материалов
    - 2.2.1. Подготовка радиометра к работе и измерение собственного гамма-фона
    - 2.2.2. Измерить собственный гамма-фон свинцового защитного экрана с кюветой
    - 2.2.3. Измерить объемную активность радионуклидов в пробах строительных материалов

Содержание отчета по лабораторной работе

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ЛИТЕРАТУРА

ПРИЛОЖЕНИЯ

## 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Радиационная опасность обусловлена воздействием на окружающую среду ионизирующих излучений, которые составляют часть общего понятия **радиация** (лат. *radiatio* – излучение), включающего в себя радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовое и инфракрасные излучения.

Развитие жизни на Земле всегда происходило под воздействием естественного радиационного фона окружающей среды. Поэтому есть основание полагать, что живые организмы достаточно хорошо приспособлены к воздействию различных видов радиации, при условии, что ее уровень не слишком высок. По этой причине уровни облучения человека от естественного фона служат базой при сравнении облучения от искусственных источников ионизирующего излучения.

Естественный фон обусловлен космическим излучением и излучением естественно распределенных природных радиоактивных веществ (в горных породах, почве, атмосфере), а также в тканях человека. Космическое излучение подразделяется на первичное (поток протонов и альфа-частиц, попадающих в земную кору из межзвездного пространства) и вторичное излучение в результате ионизации воздушных слоев атмосферы.

**Естественный фон** создает внешнее (~ 60%) и внутреннее (~ 40%) облучения. Внешнее – за счет воздействия на организм излучений от внешних по отношению к нему источников (космическое излучение и естественные радионуклиды в горных породах, почве, атмосфере). Внутреннее – за счет воздействия на организм излучений радионуклидов, находящихся в организме (калий-40 и радионуклиды семейства урана и тория), поступающих в организм с воздухом, водой, пищей.

Мощность дозы естественного фона зависит от высоты над уровнем моря, широты местности, активности Солнца. Под данным исследований

суммарная индивидуальная эффективная доза облучения от естественного фона на уровне моря для населения нашей страны составляет 1 мЗв/год.

Вторая составляющая фонового облучения людей обусловлена естественными радионуклидами, связанными с добычей полезных ископаемых, использованием строительных материалов, сжиганием ископаемого топлива (угля), минеральных удобрений, содержащих радионуклиды уранового и ториевого ряда, которые в сумме формируют **техногенный радиационный фон**, дающий суммарную индивидуальную эффективную дозу облучения 1,05 мЗв/год.

Третья составляющая фонового облучения – **искусственный фон**, обусловленный искусственными источниками, созданными человеком. Здесь наибольший вклад вносят рентгенодиагностические облучения в медицине, которые дают годовую эффективную дозу 1,4 мЗв.

Катастрофа на Чернобыльской АЭС резко изменила сложившуюся ситуацию по формированию радиационного фона. Усилилась опасность более широкого внутреннего загрязнения организма радионуклидами, поступающими с продуктами питания, питьевой водой, другими материалами, что требует изучения методов радиометрического и дозиметрического контроля указанных источников радионуклидов.

### 1.1. Радиоактивность

Устойчивость атомного ядра обусловлена действующими между нуклонами ядерными силами притяжения. Эти силы в пределах размера ядра во много раз превосходят кулоновские силы отталкивания одинаково заряженных частиц – протонов. Однако у некоторых элементов ядерные силы притяжения не способны обеспечить полную устойчивость ядер. Вследствие этого такие элементы становятся радиоактивными.

Радиоактивность – это свойство неустойчивых атомных ядер данных химических элементов самопроизвольно превращаться в ядра атомов других химических элементов с испусканием одного или нескольких ионизи-

рующих частиц. Процесс такого спонтанного ядерного превращения называется **радиоактивным распадом**.

Радиоактивность может быть естественной и искусственной. Естественной называется радиоактивность неустойчивых природных изотопов – тяжелых ядер элементов, расположенных в периодической таблице за свинцом ( $Z > 82$ ). Искусственной называется радиоактивность изотопов, полученных в ядерных реакторах, на ускорителях, при ядерных взрывах.

Самопроизвольный распад атомных ядер сопровождается испусканием гамма-лучей, нейтронов, альфа-, бета- и других частиц. Уменьшение числа радионуклидов в веществе происходит по экспоненциальному закону

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1)$$

где  $N$  – число радиоактивных ядер на время  $t$ ;

$N_0$  – число радиоактивных ядер в момент времени  $t = 0$ ;

$\lambda$  – постоянная времени распада.

Постоянная распада характеризует вероятность распада радиоактивных ядер за единицу времени, а также показывает продолжительность жизни радионуклида.

Скорость радиоактивного распада принято характеризовать периодом полураспада ( $T_{1/2}$ ). Период полураспада – это время, в течение которого исходное количество ядер данного вещества распадается наполовину, т.е.  $N = N_0 / 2$ . Связь между  $T_{1/2}$  и  $\lambda$  вытекает из выражения (1). Если

$$e^{-\lambda \cdot T_{1/2}} = \frac{1}{2}, \text{ то}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Периоды полураспада у различных радиоактивных ядрах весьма различны – от долей секунды до сотен тысяч лет.

Число распадов ядер данного вещества в единицу времени характеризует активность вещества. Активность радиоактивного вещества  $A$  определяется скоростью распада:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \text{ или } A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

где  $A_0 = \lambda \cdot N_0$  – радиоактивность вещества в начальный момент времени.

В СИ за единицу активности вещества принят беккерель (Бк). Один беккерель равен активности нуклида, при которой за 1 секунду происходит один распад. Эта единица активности мала, поэтому используют кратные ей единицы: килобеккерель (кБк) и мегабеккерель (МБк). Часто используется внесистемная единица активности – кюри (Ки). Такой активностью обладает 1г радия, в котором за одну секунду происходит  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов. Это большая единица, поэтому применяют меньшие единицы – милликюри (мКи) или микрокюри (мкКи).

Если радионуклиды распределены по объему вещества (в продуктах питания, питьевой воде и т.д.) или по его поверхности, то пользуются соответственно объемной  $A_{\text{об}}$  и поверхностной  $A_s$  активностью. Тогда  $A_{\text{об}}$  измеряется в Бк/м<sup>3</sup>, Бк/л, Ки/л, а  $A_s$  – Бк/м<sup>2</sup>, Ки/км<sup>2</sup>. Для оценки загрязнения продуктов питания используют также удельную активность  $A_m$ , измеряемую в Бк/кг, Ки/кг.

## 1.2. Виды ионизирующих излучений

Ионизирующее излучение – это потоки частиц и электромагнитных волн, взаимодействие которых с веществом приводит к ионизации атомов вещества.

Основными видами излучений являются потоки альфа- и бета-частиц, гамма- и рентгеновские излучения. Заряженные частицы ионизируют вещество непосредственно при столкновениях с его атомами (первичная ионизация). Выбитые электроны из атомов среды могут ионизировать и другие атомы (вторичная ионизация) при условии, что они обладают необходимой для этого энергией. Энергию частиц ионизирующего излучения измеряют в электрон-вольтах (эВ). Один электрон-вольт равен  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. Используются кратные единицы кэВ, МэВ, ГэВ.

Альфа-излучение представляет собой ядро гелия с положительным зарядом. Альфа-частица характеризуется длиной пробега: для воздуха она составляет до 9 см, а в биологической ткани до  $10^{-3}$  см, а также кинетической энергией в пределах 2...9 МэВ. Проходя через вещество, альфа-частица тормозится за счет ионизации или возбуждения атомов. При этом имеет место потеря кинетической энергии альфа-частицей на единице пути, называемая ионизационными потерями. Ионизационные потери альфа-частиц  $-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{и.и.}}$  оценивают выражением

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{и.и.}} = \frac{E_{\alpha}^2 n_e}{v_{\alpha}^2},$$

где  $E_{\alpha}$  — кинетическая энергия альфа-частицы;  
 $v_{\alpha}$  — скорость движения альфа-частицы;  
 $n_e$  — концентрация электронов в веществе.

Большие ионизационные способности альфа-частиц обуславливают их низкую проникающую способность.

Бета-излучение — поток электронов ( $\beta^{-}$ ) или позитронов ( $\beta^{+}$ ), испускаемых веществом при распаде радиоактивного ядра. Бета-частицы характеризуются теми же параметрами, что и альфа-частицы. Пробег бета-частиц в воздухе до 20 м, в биологической ткани — до 1 см. Ионизационные потери бета-частиц меньше по сравнению с альфа-частицами, а их проникающая способность большая.

Бета-частицы, проходя через вещество, взаимодействуют также с ядрами вещества. Потери энергии частицы при взаимодействии с ядрами вещества невелики. Это объясняется тем, что масса бета-частицы меньше массы ядра и число ядер в веществе во много раз меньше числа электронов. Потери энергии бета-частицы при взаимодействии с ядром называют радиационными потерями



$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\beta}$  и оценивают выражением

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\beta} = \frac{E_{\beta}^2}{m_{\beta}},$$

где  $m_{\beta}$  – масса бета-частицы.

Кроме того, за счет заряда протонов вокруг ядра создается кулоновское поле. Под действием кулоновских сил заряженная бета-частица, имея малую массу, получает ускорение. Согласно классической электродинамике любая заряженная частица, движущаяся с ускорением, излучает электромагнитные волны. Это излучение называют тормозным, а длина его волны соответствует длине волны рентгеновского излучения.

Гамма-излучение – коротковолновое магнитное излучение с длиной волны  $\lambda \leq 10^{-6}$  мкм обладает ярко выраженными корпускулярными свойствами, т.е. является потоком гамма-квантов (фотонов), испускаемых при радиоактивном распаде ядра. Энергия гамма-квантов ( $E_{\gamma}$ ) составляет от 10 кэВ до 5 МэВ.

При прохождении через однородную среду ослабление пучка гамма-излучения происходит по экспоненциальному закону

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x},$$

где  $I_0$  – начальная интенсивность пучка;  
 $I$  – интенсивность пучка после прохождения слоя вещества толщиной  $x$ ;  
 $\mu$  – линейный коэффициент ослабления.

Поглощение гамма-квантов в веществе определяется тремя процессами: фотоэффектом, комптоновским рассеянием и рождением пар электрон-позитрон в кулоновском поле ядра.

Фотоэффект имеет место при приблизительном равенстве энергии гамма-кванта  $E_{\gamma-\epsilon\hat{a}}$  и связи электрона с ядром атома (энергии связи атома  $E_{\hat{n}\hat{a}\hat{\alpha}\hat{\delta}}$ ), т.е.

$$A_{\gamma-\epsilon\hat{a}} \cong A_{\hat{n}\hat{a}\hat{\alpha}\hat{\delta}}.$$

В этом случае энергия гамма-кванта поглощается атомными электронами, которые могут покинуть пределы атома или сместиться на другие орбиты. В первом случае атом переходит в состояние иона, а во втором – в возбужденное состояние. Ионом называют атом с недостатком или избытком электронов на орбитах. Однако ион или возбужденный атом будет стремиться перейти в нейтральное состояние, испуская при этом квант рентгеновского излучения.

Если  $A_{\gamma-\epsilon\hat{a}} > A_{\hat{n}\hat{a}\hat{\alpha}\hat{\delta}}$ , основным процессом поглощения гамма-квантов в веществе становится комптоновское рассеяние. В этом случае гамма-квант передает часть энергии свободному электрону, изменяет первоначальное направление и с меньшей энергией продолжает движение, излучая электромагнитную энергию на более длинной волне. Интенсивность комптоновского рассеяния пропорциональна числу свободных электронов в веществе.

Если энергия гамма-кванта в 1,02 МэВ больше энергии связи атома, то в кулоновском поле ядра при взаимодействии с ним гамма-кванта образуется пара: электрон-позитрон. Образовавшиеся электрон и позитрон теряют свою энергию на ионизацию атомов вещества. В случае столкновения электрона с позитроном образуется два новых гамма-кванта.

Таким образом, прохождение всех радиоактивных излучений через вещество приводит к ионизации его атомов. В связи с этим радиоактивные излучения называют ионизирующими.

### 1.3. Детекторы ионизирующего излучения

Основным элементом любого блока регистрации количественных характеристик радиоактивного излучения является детектор. Принцип работы и устройство детектора определяются характером и результатом взаимодей-

ствия вида излучения с веществом. Детектирование радиоактивного излучения основано на регистрации процессов в веществе при прохождении через него излучения. К таким процессам относятся: ионизация и возбуждение атомов вещества; световые вспышки; засвечивание химических растворов и др. Однако наиболее удобным является преобразование информации об излучении в электрические сигналы.

По методу регистрации детекторы разделяют на ионизационные, сцинтилляционные, химические, фотографические и др.

Ионизационный метод основан на обнаружении эффекта ионизации атомов вещества под действием ионизирующего излучения. Простейшим ионизационным детектором является ионизационная камера. Она состоит из двух электродов, пространство между которыми заполняется воздухом или другим газом. Для образования электрического поля между электродами к ним прикладывается постоянное напряжение от внешнего источника. Под воздействием ионизирующего излучения происходит ионизация воздуха или газа. При наличии электрического поля в ионизированном воздухе или газе возникает направленное движение ионов, т.е. через газ проходит электрический ток, называемый ионизационным. Измеряя величину ионизационного тока, можно судить об интенсивности ионизирующего излучения. Ионизационные камеры просты и характеризуются высокой эффективностью регистрации, но имеют недостатки. Так, для измерения полной энергии ионизирующей частицы необходимо, чтобы ее пробег целиком уместился в камере. Ионизационные камеры чувствительны к помехам.

Недостатки ионизационных камер в значительной мере преодолены в газоразрядных счетчиках. Газоразрядный счетчик представляет собой металлический или стеклянный цилиндр, покрытый внутри слоем металла, который служит катодом. Вдоль оси цилиндра натягивается тонкая нить (толщиной 10-100 мкм), которая является анодом.

В зависимости от характера используемого разряда счетчики разделяются на пропорциональные и счетчики Гейгера-Мюллера. Пропорциональный счетчик с несамостоятельным разрядом при прекращении действия радиоактивного излучения гаснет. Счетчик Гейгера-Мюллера – с самостоятельным разрядом, т.е. ток в нем поддерживается и после прекращения действия ионизирующего излучения. Характерной особенностью такого счетчика является необходимость гашения самостоятельного разряда. Гашение производится путем применения специальных электронных устройств или путем ввода в состав газа специальных добавок.

В настоящее время широкое применение получили сцинтилляционные счетчики. Вещества, испускающие свет под действием ионизирующего излучения, называются сцинтилляторами. Сцинтилляционный метод регистрации радиоактивных излучений основан на изменении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминесцирующих веществах при прохождении через них ионизирующего излучения. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения. Регистрация световых вспышек осуществляется с помощью фотоэлектронного умножителя с регистрирующей электронной схемой. Фотоэлектронный умножитель позволяет преобразовать слабые световые вспышки от сцинтиллятора в большие электрические импульсы.

## **2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

### **Оценка радиоактивного загрязнения продуктов питания и строительных материалов**

Цель исследования – оценить степень радиоактивного загрязнения продуктов питания и строительных материалов, используемых в практической деятельности.

Этапы исследования:

1. Ознакомиться с теоретическими материалами по формированию радиоактивности.

2. Изучить принципы работы приборов радиометров, используемых для оценки радиоактивности.
3. Провести измерения фоновых показателей радиоактивности (контроль).
4. Определить уровни радиоактивности исследуемых материалов.
5. Провести сравнительный анализ фоновой и экспериментальной радиоактивности, сделать выводы, оформить отчет.

## **2.1. Оценка радиоактивного загрязнения продуктов питания**

Измерение уровней радиоактивного загрязнения продуктов питания провести с помощью радиометра КРВП – 3Б.

Для этого:

1. Используя прил. 1, изучить устройство радиометра КРВП – 3Б.
2. Изучить порядок применения радиометра при измерении объемной активности радионуклидов в продуктах питания.

### **ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

#### ***2.1.1. Подготовка радиометра к работе и его включение***

1. На пересчетном блоке прибора выключатель СЕТЬ, ВЫКЛ. установить в положение ВЫКЛ.
2. Проверить завод часов кнопкой ЗАВОД.
3. Кнопкой ПУСК установить секундомер в исходное положение.
4. Выключатель СЕТЬ, ВЫКЛ. установить в положение СЕТЬ. Должна загореться сигнальная лампочка и засветиться декастроны.
5. Выдержать радиометр во включенном состоянии 5 минут.

#### ***2.1.2. Проверить исправность радиометра***

1. На пересчетном блоке выключатель ПРОВЕРКА, РАБОТА установить в положение ПРОВЕРКА.
2. Нажать кнопку ПУСК. Через 10 секунд повторным нажатием этой же кнопки остановить секундомер и пересчетную схему. Количество зарегистрированных декастроны импульсов должно быть равно  $1\,000 \pm 30$ .

Примечание. Для большей точности можно увеличить время измерения до 100 секунд, тогда количество зарегистрированных импульсов должно быть  $10\,000 \pm 300$ .

### 2.1.3. Определить собственный фон блока детектирования

(контрольное измерение)

Для этого:

1. Выключатель ПРОВЕРКА, РАБОТА установить в положение РАБОТА.
2. Пустую кювету поместить на верхнюю полку держателя под рабочее окно детектора.
3. Нажать кнопку ПУСК. Через 5 минут повторным нажатием этой же кнопки остановить секундомер и пересчетную схему. Количество зарегистрированных декартонами импульсов  $n_{\phi}$  будет равно числу импульсов, регистрируемых радиометром от внешнего гамма-излучения.
4. Результаты измерений  $n_{\phi}$  занести в табл. 1.
5. Повторным нажатием кнопки ПУСК секундомер и пересчетную схему перевести в исходное положение.
6. Повторить п.3 не менее 3 раз, регистрируя результаты измерений  $n_{\phi}$  в табл. 1.
7. Рассчитать среднюю фоновую скорость счета  $\lambda_{\phi}$  по формуле

$$\lambda_{\phi} = \frac{1}{K \cdot T} \sum_{i=1}^K n_{\phi i},$$

Таблица 1

Результаты измерений

| Вид измерения | Номер замера | $T, \text{с}$ | $n_i$ | $\lambda, \text{с}^{-1}$ |
|---------------|--------------|---------------|-------|--------------------------|
| Фон           | 1            |               |       |                          |
|               | 2            |               |       |                          |
|               | 3            |               |       |                          |
| Проба 1       | 1            |               |       |                          |
|               | 2            |               |       |                          |
|               | 3            |               |       |                          |
| Проба 2       | 1            |               |       |                          |
|               | 2            |               |       |                          |
|               | 3            |               |       |                          |

где  $K$  – количество выполненных замеров;  
 $T$  – время измерения фона в секундах;  
 $n_{\phi i}$  – количество импульсов, зарегистрированных в  $i$ -м замере.

*Примечание. Если по результатам измерений фона его значение будет более 2,1 распада в секунду ( $c^{-1}$ ), то внутренние поверхности свинцового домика и кювета подлежат дезактивации.*

#### **2.1.4. Измерить объемную активность радионуклидов в пробах питания**

Для этого:

1. Кювету с пробой поместить в свинцовый домик на верхнюю полку держателя под рабочее окно детектора.

*Примечание. Методика измерения активности пробы такая же, как и собственного фона блока детектирования.*

2. Произвести не менее трех замеров активности исследуемой пробы, регистрируя полученные количества импульсов  $n_{npi}$  в табл. 1.

3. Рассчитать среднюю скорость счета  $\lambda_{np}$  для исследуемой пробы по формуле (1.1), т.е.

$$\lambda_{np} = \frac{1}{K \cdot T} \sum_{i=1}^K n_{npi}.$$

4. По результатам измерений рассчитать объемную активность пробы по формуле

$$A_{об} = \frac{\lambda_{np} - \lambda_{\phi}}{R},$$

где  $R$  – чувствительность радиометра; в данном случае она равна  $R=1,2 \cdot 10^7$  л/(с·Ку) или  $R=3,2 \cdot 10^{-4}$  л/(с·Бк).

*Примечание. Чувствительность радиометра при измерении объемной активности проб определяется по прил. 2.*

5. Результаты расчетов свести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов объемной активности проб

| Вид<br>пробы | $\lambda_{пр} - \lambda_{ф}$ | $R$ | $A_{об}$ |      |
|--------------|------------------------------|-----|----------|------|
|              |                              |     | Норма    | Факт |
|              |                              |     |          |      |
|              |                              |     |          |      |

6. По прил. 3 определить значения допустимых уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах и полученные данные занести в табл. 2 ( $A_{об}$ , норма).

7. Полученные результаты расчетов  $A_{об}$  сравнить с допустимыми уровнями содержания радионуклидов в пищевых продуктах (прил. 3) и сделать выводы о пригодности продуктов питания.

## 2.2. Оценка радиоактивного загрязнения строительных материалов

Оценку радиоактивного загрязнения строительных материалов провести с помощью радиометра РУГ 91 «АДАНИ».

Для этого:

1. Используя прил. 4, изучить устройство радиометра «АДАНИ» и правила его эксплуатации.
2. Изучить методику применения радиометра при измерении объемной активности радионуклидов в строительных материалах.

### 2.2.1. Подготовка радиометра к работе и измерение собственного гамма-фона

1. Включить радиометр в сеть.
2. Нажать кнопку СЕТЬ на передней панели прибора. Звуковой сигнал и индикация «О» на цифровом табло свидетельствуют о готовности прибора к работе.

### 2.2.2. Измерить собственный гамма-фон свинцового защитного экрана с кюветой

Для этого:



1. Заполнить кювету чистой водой.
2. Кювету с водой установить в свинцовый контейнер и закрыть крышку.
3. Последовательно нажать кнопки ФОН и время измерения 2 МИН или 20 МИН. При этом над кнопками загораются светодиоды. Выполнение команды подтверждается звуковым сигналом.

*Примечание. В процессе измерения на табло индицируется обратный отсчет времени в секундах (от 1 200 до 0000). Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом. По окончании 2 или 20 мин на табло высвечивается результат измерения фона в единицах скорости счета (кБк/л).*

4. Вывести результаты измерения фона на табло. Для чего нажатием кнопки ЦЕЗИЙ-137 или КАЛИЙ-40 осуществить вывод результатов измерения на табло для соответствующего радионуклида.

5. Результаты измерения фона записать в табл. 3.

*Примечание. Результаты измерения фона хранятся в памяти микропроцессорного устройства радиометра. Применение резервного питания в приборе исключает процедуру регистрации фона перед началом нового цикла измерений.*

### **2.2.3. Измерить объемную активность радионуклидов в пробах строительных материалов**

Для этого:

1. Установить кювету с пробой в свинцовый контейнер и закрыть крышку.
2. Нажать кнопку ПРОБА и одну из кнопок времени измерения 2 МИН или 20 МИН. При этом измерение активности радионуклидов ведется по двум каналам: ЦЕЗИЙ-137 и КАЛИЙ-40.
3. Окончание измерений подтверждается звуковым сигналом и индикацией результатов измерения на табло в кБк/л.
4. Результаты измерений записать в табл. 3.

5. Измеренную объемную активность пересчитать в удельную активность по формуле

$$A_{\text{уд}} = \frac{A_{\text{об}}}{q},$$

где  $A_{\text{уд}}$  – удельная активность, кБк/кг;

$A_{\text{об}}$  – объемная активность, кБк/л;

$q$  – удельный вес материала пробы, кг/л (указан на крышке кюветы).

Таблица 3

### Результаты измерений

|  | Вид пробы (исследуемый материал) | Объемная активность (кБк/л) |                       |                       |                       |                       |                       | Вывод |
|--|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|  |                                  | Фон                         |                       | Проба                 |                       | Норма                 |                       |       |
|  |                                  | Ц<br>е<br>з<br>и<br>й       | К<br>а<br>л<br>и<br>й | Ц<br>е<br>з<br>и<br>й | К<br>а<br>л<br>и<br>й | Ц<br>е<br>з<br>и<br>й | К<br>а<br>л<br>и<br>й |       |
|  |                                  |                             |                       |                       |                       |                       |                       |       |
|  |                                  |                             |                       |                       |                       |                       |                       |       |

6. Оценить степень радиоактивного загрязнения исследуемых материалов. Для чего фактическое значение активности исследуемых строительных материалов сравнить с предельно допустимым уровнем (нормой) содержания радионуклидов (прил. 5) и сделать выводы о пригодности материалов.

### Содержание отчета по лабораторной работе

1. Наименование лабораторной работы и ее цель.

2. Таблицы с результатами измерений и расчетов.
3. Выводы о пригодности контролируемых продуктов питания и строительных материалов.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Виды космических излучений и их состав.
2. Пути поступления радионуклидов в организм человека.
3. Виды искусственных источников радиации.
4. Какие вещества называются радиоактивными?
5. Что характеризует и показывает постоянная времени распада?
6. Дайте определение периода полураспада.
7. Что характеризует активность вещества и чем она определяется?
8. Перечислите единицы измерения объемной, поверхностной и удельной активности.
9. Что понимают под ионизирующим излучением?
10. Перечислите основные виды излучений радиоактивных ядер и их параметры.
11. Что понимают под ионизационными потерями и от каких факторов они зависят?
12. Что такое тормозное излучение и в чем его сущность?
13. Условие, при котором имеет место фотоэффект при взаимодействии гамма-квантов с веществом и его сущность.
14. Условие, при котором имеет место комптоновское рассеяние при взаимодействии гамма-квантов с веществом и его сущность.
15. Условие, при котором имеет место образование пар «электрон-позитрон» в кулоновском поле ядра и его сущность.
16. Сущность ионизационного метода регистрации ионизирующих излучений.
17. Достоинства и недостатки счетчиков Гейгера-Мюллера.
18. Сущность сцинтилляционного метода регистрации ионизирующих излучений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Асаенко И.С. и др. Радиационная безопасность: Учеб. пособие. Мн.: БГУИР, 2000.
2. Технические описания и инструкции по эксплуатации радиометров КРВП-3Б, РУГ 91 «АДАНИ».

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

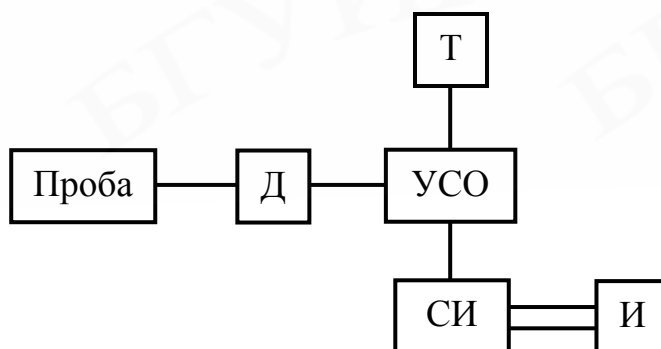
#### Устройство и принцип действия радиометра КРВП-3Б

Радиометр КРВП-3Б предназначен для измерения объемной активности радионуклидов, содержащихся в сыпучих и жидких веществах.

Оценка радиоактивности образца осуществляется путем определения количества происходящих актов распада радионуклидов в его объеме за определенный интервал времени с последующей поправкой полученного значения на длительность этого временного интервала и объем пробы. Факт распада фиксируется путем регистрации испускаемых при распаде частиц и квантов, а радиоактивность образца определяется скоростью их счета.

Структурная схема радиометра (см. рисунок) включает в себя: детектор (Д), таймер (Т), устройство стандартизации и отбора (УСО), счетчик импульсов (СИ), индикатор (И).

Детектор обеспечивает преобразование информации об излучении пробы в электрические сигналы. В качестве детектора применяется счетчик Гейгера-Мюллера, заключенный в свинцовый домик для снижения влияния внешнего гамма-излучения. Собственный фон счетчика не превышает 2,1 распад в секунду ( $\text{с}^{-1}$ ).



Временной интервал, в течение которого производится регистрация импульсов детектора излучений, задается таймером.

Устройство стандартизации и отбора преобразует сигналы, поступившие в течение интервала времени измерения от устройства детектирования, в импульсы стандартной амплитуды и длительности, передавая их на счетчик импульсов. Полученный результат отображается на табло индикатора.

Основным информационным параметром при регистрации активности вещества в радиометре служит скорость счета электрических импульсов или интенсивность потока ионизирующего излучения.

## Приложение 2

### Чувствительность радиометра при измерении объемной активности проб

| Вид пробы  | Чувствительность радиометра КРВП            |   |
|--|---|---|
|  | $\frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{Бк}}$ | $\frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{Ки}}$ |
| Мясо и мясные продукты, молоко и молочные продукты, рыба, птица, мука, хлеб, яйца, корнеплоды, бобовые, соки | $3,2 \cdot 10^{-4}$                         | $1,2 \cdot 10^7$                            |
| Фрукты, ягоды, овощи, пищевая зелень, травы, сено, грибы, комбикорма, чай                                    | $5,2 \cdot 10^{-4}$                         | $1,9 \cdot 10^7$                            |
| Вода питьевая (водопроводная, колодезная)  | $3,2 \cdot 10^{-4}$                         | $1,2 \cdot 10^7$                            |

**Временные допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде, устанавливаемые в связи с аварией на ЧАЭС**

| № п/п            | Наименование продукта                             | Ки/кг, Ки/л         | Бк/кг, Бк/л |
|------------------|---|---------------------|-------------|
| 1                | 2   | 3                   | 4           |
| <b>Цезий-137</b> |   |                     |             |
| 1                | Вода питьевая                                     | $5 \cdot 10^{-10}$  | 18,5        |
| 2                | Молоко и молочная продукция                       | $3 \cdot 10^{-9}$   | 111         |
| 3                | Мясо и мясные продукты                            | $1,6 \cdot 10^{-8}$ | 600         |
| 4                | Картофель и корнеплоды                            | $1 \cdot 10^{-8}$   | 370         |
| 5                | Хлеб и хлебопродукты                              | $5 \cdot 10^{-9}$   | 185         |
| 6                | Мука, крупы, сахар, мед                           | $1 \cdot 10^{-8}$   | 370         |
| 7                | Овощи, садовые фрукты и ягоды, дикорастущие ягоды | $5 \cdot 10^{-9}$   | 185         |

Окончание прил. 3

| 1                  | 2   | 3                  | 4     |
|--------------------|---|--------------------|-------|
| 8                  | Грибы сушеные   | $1 \cdot 10^{-7}$  | 3 700 |
| 9                  | Прочие продукты питания в готовом для употребления виде | $1 \cdot 10^{-8}$  | 370   |
| <b>Стронций-90</b> |   |                    |       |
| 1                  | Вода питьевая   | $1 \cdot 10^{-11}$ | 0,37  |
| 2                  | Молоко натуральное                                      | $1 \cdot 10^{-10}$ | 3,7   |
| 3                  | Хлеб и хлебопродукты                                    | $1 \cdot 10^{-10}$ | 3,7   |
| 4                  | Картофель   | $1 \cdot 10^{-10}$ | 3,7   |
| 5                  | Детское питание всех видов, готовое к употреблению      | $5 \cdot 10^{-11}$ | 1,85  |

**Устройство и принцип действия радиометра РУГ 91 «АДАНИ»**

Гамма-радиометр «АДАНИ» предназначен для измерения объемной активности радионуклидов цезия-137 и калия-40 в загрязненных радионук-

лидами пробах природного происхождения (строительных материалах, пищевых продуктах, воде и др.).

Принцип действия радиометра основан на использовании сцинтилляционного эффекта, при котором световые вспышки, возникающие в кристалле-сцинтилляторе при попадании в него гамма-квантов, регистрируются фотодетектором. По числу зарегистрированных в единицу времени световых импульсов определяется интенсивность гамма-излучения в исследуемом образце в единицах объемной активности (Бк/л).

Световые вспышки, возникающие в сцинтилляторе, через световод попадают на фотокатод фотоэлектронного умножителя и преобразуются в электрические импульсы, которые после усиления подаются в устройство селекции. Устройство селекции производит сортировку импульсов по их амплитудам пропорционально энергии регистрируемых гамма-квантов.

Микропроцессорное устройство обработки управляет работой устройства селекции и вычисляет количественные характеристики ионизирующего излучения, задает режим работы радиометра и индицирует на табло результаты измерения.

## Приложение 5

### **Предельно допустимые уровни удельной активности в строительных материалах**

Удельная активность естественных радионуклидов в строительных материалах не должна превышать:

а) для материалов, используемых во вновь строящихся жилых и общественных зданиях (1 класс) – 370 Бк/кг;

б) для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (2 класс) – 740 Бк/кг;

в) для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (3 класс) – 1 350 Бк/кг.

Учебное издание

**Асаёнок** Иван Степанович  
**Навоша** Адам Имполитович  
**Яшин** Константин Дмитриевич и др.

## **ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методическое пособие  
к лабораторным занятиям по дисциплине  
«Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях.  
Радиационная безопасность»  
для студентов всех специальностей  
и форм обучения БГУИР

Редактор Т.Н. Крюкова  
Компьютерная верстка

---

Подписано в печать  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л.  
Заказ 99.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002  
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001  
220013, Минск, П. Бровки, 6