

2898



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экологии

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ
И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Минск 2005

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экологии

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ
И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лабораторные работы
для студентов всех специальностей

Под редакцией И.В. РОЛЕВИЧА

Минск 2005

УДК 355.58 (076.5)

~~ББК 68.9-7~~

3-40

С о с т а в и т е л ь

С.В. Дорожко

Р е ц е н з е н т ы:

Д.В. Санько, Е.П. Трухан

3 40 Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность: лабораторные работы для студентов всех специальностей / Сост.: С.В. Дорожко; под редакцией И.В. Ролевича. – Мн.: БНТУ, 2005. – 156 с.

С учётом новейших достижений в области радиационной безопасности издание содержит сведения, необходимые студенту для выполнения лабораторных работ по курсу «Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность». В руководстве приведены основные методики по обнаружению и измерению ионизирующих излучений, даётся общее представление о радиации, радионуклидах, последствиях катастрофы на Чернобыльской АЭС. Большое внимание уделено знакомству с основными понятиями о радиоактивности и природе возникновения радиационного излучения. В руководстве представлены методики измерения доз излучения, радиоактивности почвы, строительных материалов, продуктов питания, даров леса, сведения о радиационной разведке и др. для использования их студентами. Представлены описания различных типов дозиметров и радиометров, порядок подготовки их к работе, её выполнения и оформления. Руководство предназначено для студентов, аспирантов, педагогов.

«...Отношение людей к той или иной опасности определяется тем, насколько хорошо она им знакома.»

ВВЕДЕНИЕ

После аварии на Чернобыльской АЭС в ряде районов Беларуси, России и Украины сложилась крайне неблагоприятная радиологическая обстановка, связанная с загрязнением радионуклидами обширных территорий. В связи с этим вопросы радиационной защиты, контроля населением загрязнения окружающей среды, продуктов питания, сельхозпродукции, строительных материалов, оценка и прогнозирование риска воздействия ионизирующего излучения на живые организмы и т.д., приобрели особую актуальность.

Нынешний уровень экологических знаний не позволяет подавляющему большинству населения объективно оценивать существующую ситуацию, вести себя адекватно ей, правильно ориентироваться в информационном потоке, критически относиться к многочисленным, не всегда обоснованным «рекомендациям». Поэтому чем больше люди, тем более выпускники вузов, знают о радиации, о той пользе, которую она приносит, и об опасности, которую она влечёт за собой, тем лучше они будут выполнять свои функции как добропорядочные граждане.

И радиоактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни. Они присутствовали в космосе задолго до возникновения самой Земли. С самого начала жизнь во всех ее проявлениях развивалась на Земле на фоне постоянно существующей радиации. Значит, есть основания полагать, что живые организмы должны хорошо переносить воздействие ее в том случае, если уровень последней не очень высок.

Радиация на Земле присутствовала всегда. Поэтому важным является осознание того, что радиация - один из многих естественных факторов окружающей среды. И все, чем мы сегодня на нее влияем, заключается в добавлении к существующему фону дополнительной дозы излучения в результате использования человеком созданных устройств и аварии на них, в том числе и на всем печально известной Чернобыльской атомной электростанции.

Хорошее знание свойств радиации и ее воздействия на живые организмы позволяет свести к минимуму связанный с ее использованием риск и по достоинству оценить те огромные блага, которые приносит человеку применение достижений ядерной физики в различных сферах.

Учебный курс «Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность», введенный с 1991 года в вузах Беларуси, является эффективным способом повышения радиозкологических знаний специалистов с высшим образованием. Однако ее преподавание существенно осложняется из-за отсутствия качественной учебно-методической литературы для проведения лабораторных и практических занятий. Данное руководство является попыткой ликвидировать указанный недостаток в отношении лабораторных занятий.

Выражаем сердечную благодарность В.А. Батыреву, В.П. Бубнову, А.В. Буселу, А.М. Науменко, А.А. Осипенко, Т.А. Тавгень и Е.И. Широкову за помощь в подготовке исходных материалов.

ПАМЯТКА

для студентов по подготовке к лабораторной работе, её выполнению и оформлению

Запрещается в лаборатории находиться в верхней одежде, пользоваться сотовым телефоном, курить в здании.

Обязательно ознакомьтесь с правилами безопасности и распишитесь в специальном лабораторном журнале.

Выполняйте лабораторную работу под руководством и наблюдением преподавателя или учебно-вспомогательного персонала.

Студент допускается к выполнению работы с приборами лишь после ознакомления с методическими указаниями по выполнению лабораторной работы и особенностями работы с прибором.

Перед каждым включением прибора необходимо убедиться в его исправности и в том, что пуск прибора безопасен.

Выполняйте только ту лабораторную работу, к которой допускает преподаватель. Аккуратно обращайтесь с исследуемыми пробами, не вскрывайте их упаковку.

Следите за порядком на лабораторном столе.

После окончания работы выключите прибор, приведите в порядок рабочее место, исследованные пробы аккуратно поставьте рядом с прибором, стул придвиньте к столу.

Доложите преподавателю об окончании работы с прибором и замеченных неисправностях.

Оформление работы и все расчёты лучше производить на рабочем месте вдали от радиоактивных проб и прибора.

В конце занятия учащийся должен сдать педагогу выполненную работу, о чём последний делает отметку в своём журнале и подписывает работу.

Лабораторная работа № 1

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И ДОЗЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Цель работы — ознакомиться с основными понятиями радиационной безопасности: явление радиоактивности, физические единицы измерения радиоактивных излучений, дозы и мощность дозы облучения, виды излучения и их природа, дозовые нагрузки на человека.

2. Порядок выполнения работы:

2.1. Изучить настоящие методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачёту.

3. Основные понятия радиационной безопасности

3.1. Явление радиоактивности и естественная радиоактивность были открыты в мае 1896 г. французским ученым физиком Анри Беккерелем. За пол года до этого открытия (8 ноября 1895 г.) вюрцбургский (немецкий) физик Вильгельм Конрад Рентген открыл излучение (X-лучи), обладающее большой энергией и проникающей способностью. Оно известно сегодня как рентгеновские лучи, которые возникают тогда, когда катодные лучи (электроны), испускаемые отрицательным электродом (катодом) электронно-вакуумной лампы, ударяют в другую часть лампы во время высоковольтного разряда. Анри Беккерель провел опыты с чистым ураном и обнаружил почернение фотографической пластинки. Загадочное излучение, которое совершенно очевидно являлось присущим урану свойством, стало известно как лучи Беккереля.



А. Беккерель
(1852-1908)



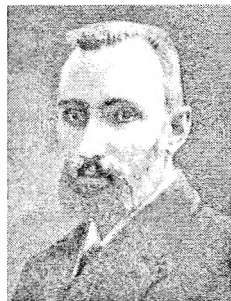
В. К. Рентген
(1845 - 1923)

В 1898 г. этим явлением заинтересовались ученица Беккереля Мария Складовская-Кюри и ее муж Пьер Кюри. Они обнаружили, что торий также испускает лучи Беккереля, и переименовала их в *радиоактивность*. После тщательных исследований они открыли два новых радиоактивных элемента - полоний (названный так в честь родины Мари Складовской-Кюри - Польши) и радий («радий» в переводе с латинского – испускающий лучи, «излучающий»).

В 1911 г. английский ученый Эрнест Резерфорд, исследуя рассеяние α -частиц тонкой металлической фольгой, предположил, что внутри атома имеется ядро шарообразной формы размером около 10^{-12} см. Позже (1919 г.), исследуя реакцию



Мария Складовская-Кюри
(1867 – 1934)



Пьер Кюри
(1859 - 1906)

${}^7_{14}\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^8_{17}\text{O} + {}^1_1\text{H}$ (протон) он высказал гипотеза о существовании нейтрона ${}^1_0\text{n}$.

Используя эту модель, великий датский физик-теоретик Нильс Бор в 1913 г. разработал первую теорию строения атома: атом имеет положительно заряженное ядро и окружающие его электроны (рис.

1.1). В ядре сосредоточена почти вся масса атома (более 99,95%). Размеры ядер составляют 10^{-10} - 10^{-15} м.

В 1932 г. английский физик Дж. Чедвик открыл нейтрон в реакции ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$. В этом же году немецкий ученый В. Гейзенберг и независимо от него отечественный физик Д.Д. Иваненко предложили



Э. Резерфорд
(1871 – 1937)



Н. Бор
(1885-1962)

протонно-нейтронную модель строения атомного ядра. Согласно этой модели ядра атомов включают в себя два вида элементарных час-

тиц протоны (р) и нейтроны (п). Связанное состояние в п-р –системе называется *дейтроном*. Сколько в ядре протонов, столько и электронов вращается вокруг ядра (рис. 1.1).

Количеству протонов в ядре соответствует номеру элемента в таблице Д.И. Менделеева. Ядро любого элемента называется *нуклидом*. Нуклид обозначается символом химического элемента с указанием *атомного номера и массового числа в качестве нижнего и верхнего индекса* соответственно (например, ${}^2_2\text{He}$). В дальнейшем в ряде случаев для краткости изложения будет указываться только массовое число химического элемента.

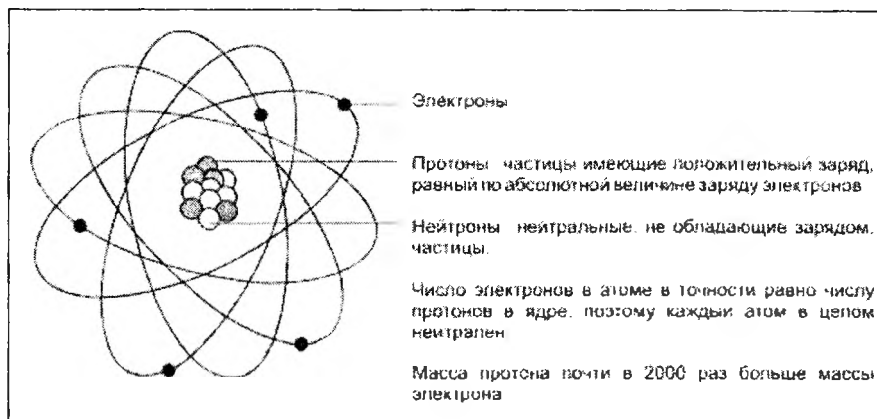


Рис. 1.1. Схематическое изображение атома

Ядра с одним и тем же зарядом, но с разными массовыми числами (одинаковым количеством протонов и разным – нейтронов) называют *изотопами*. Изотопы имеют одинаковое строение электронных оболочек и, следовательно, близкие химические свойства. Они занимают одно и то же место в периодической системе химических элементов. Например, у первого элемента таблицы Менделеева - водорода существуют следующие изотопы:

- водород - ${}^1\text{H}$ (стабильный),
- дейтерий - ${}^2\text{H}$ (стабильный),
- тритий - ${}^3\text{H}$ (радиоактивный элемент, период полураспада - 12 лет).

У цезия имеются 20, у йода – 19, у стронция – 12, у плутония – 7 изотопов и т.д.

В таблице Менделеева (см. приложение) более 100 химических элементов. Почти каждый из них представлен смесью стабильных и радиоактивных атомов - изотопами данного элемента. Известно почти 2000 изотопов, из которых почти 300 – природные, т. е. естественные (столько же и стабильных изотопов), остальные – получены искусственным путём. Продукты ядерного взрыва содержат более 100 нестабильных изотопов. Большое количество радиоактивных изотопов содержится в продуктах деления ядерного горючего в ядерных реакторах АЭС и др. Но среди них количество изотопов, имеющих практическое значение и играющих заметную роль в природе невелико - не более десятка.

Радиоактивность - свойство некоторых нестабильных атомов к самопроизвольным превращениям (распаду) и к изменению своего нуклонного состава (количество протонов и нейтронов в ядре) и (или) энергетического состояния с образованием новых атомов (стабильные или радиоактивные) и испусканием ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ с большей или меньшей ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ. Эти излучения и называются в обиходе радиацией («Radiation» в переводе с английского - "излучение"). Термин «радиоактивность» предложен Марией Склодовской Кюри в 1898 г. Позже был предложен знак: «Радиоактивность» для предупреждения работающих об опасности облучения.



Знак: «Радиоактивность»

Нестабильные изотопы, наряду с тяжелыми элементами с атомным номером выше 83, составляют *многочисленное семейство нестабильных ядер нуклидов*, претерпеваю-

щих радиоактивный распад и объединяемых единым понятием *радионуклидов*. *Соотношение числа протонов и нейтронов в их ядрах превышает 1 и достигает 1,6.*

Число ядер радионуклидов постоянно уменьшается во времени благодаря распаду. Скорость распада этих ядер принято характеризовать *периодом полураспада ($T_{1/2}$) - временем, за которое число радиоактивных ядер уменьшается в 2 раза*. У каждого радионуклида свой период полураспада, он может составлять как доли секунды, так и миллиарды лет. Период полураспада любого радионуклида постоянен, и изменить его невозможно. *Чем больше период полу-*

распада и массовое число радиоактивного элемента, тем большее его количество соответствует одному кюри (1 Ки). Например, 1 Ки соответствует: 1 мг ^{60}Co ($T_{1/2} = 5$ лет), 1 г ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1590$ лет), 16 г ^{239}Pu ($T_{1/2} = 2400$ лет), 570 кг ^{235}U ($T_{1/2} = 880$ млн. лет).

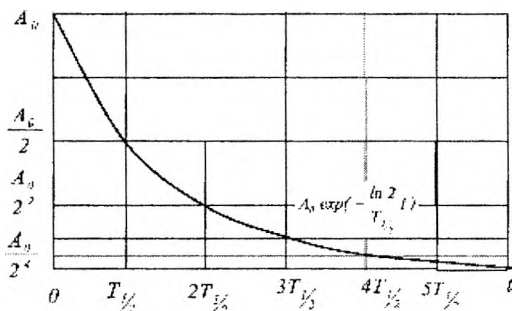


Рис. 1.2. Распад радионуклидов

Убывание количества распадающихся ядер радионуклида происходит по экспоненте (рис. 1.2). Поэтому полностью радионуклид не исчезнет никогда. Так, например, для радионуклида с периодом полураспада 1 час количество его станет меньше первоначального в 2 раза через 1 ч, через 2 ч - в 4, через 3 ч - в 8 раз и т.д. Динамика распада описывается законом радиоактивного распада, устанавливающим, что за единицу времени распадается всегда одна и та же доля ядер данного радионуклида. Эта доля атомов, распадающихся в 1 секунду, называется **радиоактивной постоянной распада** (постоянная или константа распада) и обозначается λ . Величины λ и $T_{1/2}$ связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью: $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$. Учитывая, что $\ln 2 = 0,693$, данная формула может приобрести следующий вид: $\lambda = 0,693 / T_{1/2}$ (с^{-1}).

Из закона радиоактивного распада следует, что $N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, где N_0 - число радиоактивных атомов в начальный (нулевой) момент времени, N_t число атомов, оставшихся к моменту t (время в секундах), e - основание натурального логарифма ($e = 2,718$). Так как за время, равное одному периоду полураспада, число радиоактивных атомов уменьшается в два раза, то при $t = T_{1/2}$ имеем: $N_t = N_0/2$: $e^{-\lambda t} = 1/2$; $e^{\lambda t} = 2$ (где $t = T_{1/2}$) и, в итоге, $\ln 2 = \lambda \cdot T_{1/2}$.

Из указанного закона следует, что количество ядер, распадающихся за промежуток времени dt , прямо пропорционально ко-

личеству нераспавшихся ядер: $dN/dt = \lambda N$. При этом $N = N_0 e^{-\lambda t}$, или

$$N = N_0 e^{-0,693 t/T},$$

где N_0 – количество ядер радионуклида в момент начала отсчёта времени ($t = 0$);

λ – постоянная распада;

N – количество ядер радионуклида спустя время t ;

e – основание натурального логарифма $= 2,718$.

Следует различать радиоактивность и радиацию. *Радиоактивность* – способность некоторых нестабильных атомов к самопроизвольному распаду или изменению своего нуклонного состава с испусканием ионизирующих излучений. Источники ионизирующих излучений – радиоактивные вещества или ядерно-технические установки (реакторы, ускорители, рентгеновское оборудование и т.п.). Они могут существовать долгое время, а *радиация существует лишь до момента своего поглощения в каком-либо веществе*. Радиацию нельзя вызвать с помощью химических реакций.

3.2. Ионизирующее излучение – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков. Это частицы или γ -кванты, энергия которых достаточно велика, чтобы при воздействии на вещество создавать ионы разных знаков. Энергии ионизирующей радиации вполне хватает, чтобы выбить хотя бы один электрон из встречного атома. Подобные атомы без электрона называются ионами (рис. 1.3).

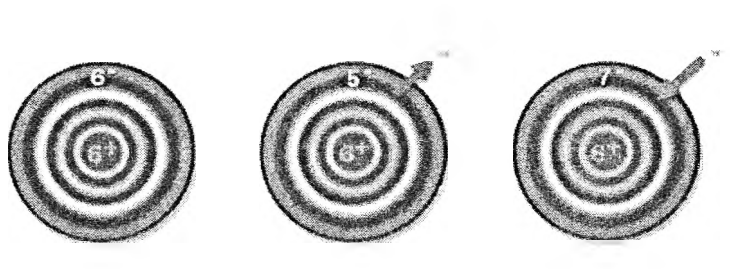


Рис. 1.3. Образование ионов, заряженных положительно и отрицательно

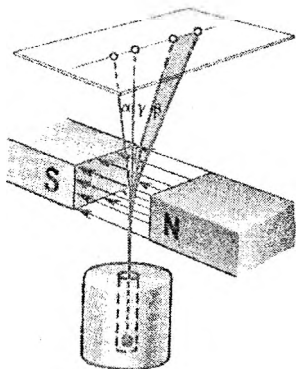


Рис. 1.4. Неоднородность проникающей радиации

(β)- и альфа (α)-частиц (это корпускулярное излучение). Любые ядерные излучения, взаимодействуя с различными материалами, ионизируют их атомы и молекулы. **ИОНИЗАЦИЯ** среды тем сильнее, чем больше мощность дозы радиоактивного излучения и длительнее их воздействие.

На рис. 1.4 представлен классический опыт, позволивший обнаружить сложный состав радиоактивного излучения. Препарат радиации помещали на дно узкого канала в куске свинца. Против канала находилась фотопластинка. На выходящее из канала излучение действовало сильное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны лучу ионизирующего излучения. Вся установка размещалась в вакууме. Под действием магнитного поля пучок распадался на три потока.

Две составляющие потока отклонялись в противоположные стороны. Это указывало на наличие у излучений электрических зарядов противоположных знаков. При этом отрицательный компонент излучения отклонялся магнитным полем гораздо сильнее, чем положительный. Э. Резерфорд, обнаруживший в 1899 г. эти две составляющие излучения, назвал менее проникающую α -излучением и более проникающую - β -излучением. Третья составляющая урановой радиации, не отклонявшаяся магнитным полем и самая проникающая из всех, была открыта через год (1900 г.) Полем Виллардом и названа по аналогии с резерфордовским рядом (α и β) третьей буквой греческого алфавита - γ -излучением. Следовательно, поло-

жительно заряженный компонент получил название α -лучей, отрицательно заряженный – β -лучей и нейтральный – γ -лучей.

Каждому виду излучения присущи свои **ионизирующая** и **проникающая** способности. Именно эти свойства лежат в основе повреждающего действия ионизирующих излучений на живые клетки человека или животного, что приводит к развитию заболевания, различной степени тяжести, а в некоторых случаях и к смерти. Рассмотрим эти две способности для различных излучений.

Альфа-излучение (α -излучение) представляет собой *поток α -частиц, испускаемых при радиоактивном распаде элементов тяжелее свинца, Элементов с $Z > 83$ (например, урана, тория, радия, плутония, табл. 1.1), или образующихся в ходе ядерных реакций. α -частица фактически является ядром гелия (${}^4_2\text{He}$), состоящими из двух протонов и двух нейтронов (статический электрический заряд равен +2, массовое число - 4) $q = 2e$. Скорость α -частицы при вылете из ядра - от 12 до 20 тыс. км/с. В вакууме α -частица могла бы обогнуть земной шар по экватору за 2 с. Ионизирующая способность α -излучения в воздухе характеризуется образованием в среднем 30 тыс. пар ионов на 1 см пробега. Это очень много. Ионизирующая способность представляет главную опасность данного излучения. Проникающая способность, наоборот, невелика. Например,*

Таблица 1.1

Альфа-излучатели

Радионуклид	Обозначение	Годовая доза облучения человека при уровне радиоактивности пробы 0,1 Бк/кг, мЗв
Полоний-210	${}^{210}\text{Po}$	0,045
Радий-224	${}^{224}\text{Ra}$	0,006
Радий-226	${}^{226}\text{Ra}$	0,016
Торий-232	${}^{232}\text{Th}$	0,130
Уран-234	${}^{234}\text{U}$	0,003
Уран-238	${}^{238}\text{U}$	0,003
Плутоний-239	${}^{239}\text{Pu}$	0,040

у α -частицы с энергией 4 МэВ длина пробега в воздухе примерно 2,5 см, в воде или в мягких тканях животных и человека — сотые доли миллиметра. α -частицы задерживает обычный лист бумаги (0,1 мм), магнитным полем они отклоняются слабо.

Бета-излучение (β -излучение) представляет собой *поток электронов или позитронов* с массой, равной $1/1837$ массы протона, образующихся при β -распаде различных элементов от самых легких (нейтрон) до самых тяжелых (радий-228) - см. табл. 1.2. β -распад — это процесс превращения в ядре атома протона в нейтрон или нейтрона в протон с выбросом β -частиц (позитрона или электрона). β -распад объединяет три самостоятельных вида радиоактивных превращений: электронный, позитронный распад и К-захват.

Отрицательно заряженные β -частицы — электроны или положительно заряженные — позитроны движутся со скоростью, близкой к скорости света (0,999 скорости света, $v = 10^8$ м/с). *Ионизирующая способность их невелика* и составляет в воздухе 40 – 150 пар ионов на 1 см пробега.

Таблица 1.2

Бета-излучатели

Радионуклид	Обозначение	Годовая доза облучения человека при уровне радиоактивности пробы 0,1 Бк/кг, мЗв
Кобальт-60	^{60}Co	0,005
Стронций-89	^{89}Sr	0,003
Стронций-90	^{90}Sr	0,020
Йод-129	^{129}I	0,080
Йод-131	^{131}I	0,016
Цезий-134	^{134}Cs	0,014
Цезий-137	^{137}Cs	0,009
Свинец-210	^{210}Pb	0,950
Радий-228	^{228}Ra	0,200
Калий-40	^{40}K	0,085

Проникающая способность β -частиц намного выше, чем у α -излучения. Она характеризуется минимальной толщиной слоя вещества, полностью поглощающего все β -частицы. Например, от потока β -частиц с максимальной энергией 2 МэВ человека полностью защищает слой алюминия толщиной 3,5 мм. В воздухе их пробег достигает 20 м, магнитным полем β -частицы отклоняются сильно.

Гамма-излучение (γ -излучение) – электромагнитное излучение (длина волны 10^{-10} – 10^{-14} м), возникающее в некоторых случаях при α - и β -распаде, или аннигиляции частиц. Отдельно от других видов излучения оно не существует. γ -излучение – самое коротковолновое электромагнитное излучение высокой энергии, распространяющееся со скоростью света. Ионизирующая способность его в воздухе – всего несколько пар ионов на 1 см пути, т.е. значительно меньше, чем у вышеперечисленных видов излучений. А вот проникающая его способность очень велика – в 50 – 100 раз больше, чем у β -излучения – в воздухе она составляет сотни и тысячи метров. Большинство γ -квантов проходит через биологическую ткань и только незначительное их количество поглощается телом человека. Поэтому защита от внешнего γ -излучения представляет наибольшие проблемы. Защита осуществляется свинцом (рис. 1.5).

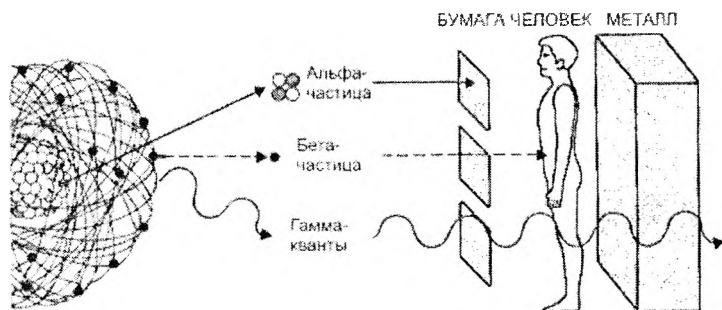


Рис. 1.5. Проникающая способность излучения

На загрязненных радионуклидами в результате Чернобыльской катастрофы территориях в настоящее время присутствуют (исключая $^{131}\text{I}^*$ и $^{134}\text{Cs}^*$) следующие виды ионизирующих излучений (табл. 1.3):

Таблица 1.3

Вид радиации	Йод-131*	Цезий-134*, 137	Стронций-90	Плутоний-238, 239, 240	Америций-241
Альфа	-	-	-	+	+
Бета	+	+	+	-	-
Гамма	+	+	-	-	-

Рентгеновское излучение подобно γ -излучению, но имеет большую, чем у γ -излучения, длину волны 10^{-8} - 10^{-11} м и меньшую, чем у γ -излучения, энергию. Состоит из *тормозного и (или) характеристического излучения*, генерируемого в рентгеновских аппаратах рентгеновскими трубками, которые сами по себе не радиоактивны, т.е. рентгеновское излучение получается искусственно. Поскольку рентгеновская трубка питается электричеством, то испускание рентгеновских лучей может быть включено или выключено с помощью выключателя. Кстати, наше Солнце - один из основных естественных источников рентгеновского излучения, но земная атмосфера обеспечивает от него надежную защиту. Рентгеновское излучение широко используется в медицине для диагностики заболеваний. Медицинские рентгеновские снимки и т.п. вносят в дозу облучения дополнительно примерно 1,4 мЗв/год.

Нейтронное излучение – это поток нейтральных частиц, которые не обладают электрическим зарядом и летят со скоростью 20 – 40 тыс. км/с. Оно может создаваться источниками искусственной радиации, получившими название техногенных (специальные установки, взрыв нейтронного боеприпаса и т.д.). *Проникающая способность нейтронов достигает в воздухе несколько километров*. Они не взаимодействуют с электронами и *не вызывают непосредственной ионизации*. Вызываемая нейтронами **ионизация называется косвенной**, т.к. создаётся во время упругих столкновений, неупругого рассеяния, реакции захвата или процесса расщепления. Ионизирующая способность нейтронного излучения составляет несколько тысяч пар ионов на 1 см пути. Она приводит к образованию и испусканию γ -лучей, β -радиации и, иногда и большего количества нейтронов. Такое явление получило название **наведенная радиация** – способность атомов, подвергшихся воздействию нейтронов, самостоятельно испускать радиоактивное излучение.

Протонное излучение – поток протонов, составляющих *основу космического излучения и ядерных взрывов*. Их пробег в воздухе и проникающая способность занимают промежуточное положение между α - и β -излучением.

Следовательно, α -излучение обладает высокой ионизирующей и слабой проникающей способностью. Обыкновенная одежда полностью защищает человека от внешнего облучения. Самым опасным является попадание α -частиц внутрь организма с воздухом, водой и пищей. β -излучение имеет меньшую ионизирующую способность, чем α -излучение, но большую проникающую способность. Одежда уже не может полностью защитить человека, нужно использовать любое укрытие. γ - и *нейтронное излучения* обладают очень высокой проникающей способностью, защиту от них могут обеспечить только убежища, противорадиационные укрытия, надежные подвалы и погреба.

Ультрафиолетовое излучение и излучение лазеров в нашем руководстве не рассматриваются в качестве радиации.

3.3. Единицы измерения радиоактивности

По мере открытия учеными радиоактивности и ионизирующих излучений стали появляться и единицы их измерения. Например, рентген, кюри и др. Но они не были связаны какой-либо системой, а потому и называются внесистемными единицами. В настоящее время во всем мире действует единая система измерений – СИ (SI от франц. – *Système International* - система интернациональная). Она принята в октябре 1960 г в Париже на Генеральной конференции по мерам и весам. У нас в стране она подлежит обязательному применению с 1 января 1982 г. К 1 января 1990 г. этот переход надо было завершить. Но в связи с распадом СССР, экономическими и другими трудностями процесс затянулся. Вся же новая аппаратура, в том числе и дозиметрическая, как правило, градуируется в новых единицах.

Единицы радиоактивности. Мерой радиоактивности является *активность радионуклида в источнике излучения*. Активность радионуклида в источнике или препарате равна *отношению числа самопроизвольных ядерных превращений (распадов) в этом источнике за малый интервал времени к величине этого интервала* (например, обратной секунде – 1/с):

$$A = dN/dt.$$

В качестве единицы активности принято одно ядерное превращение в секунду, т. е. один распад в секунду (расп./с). В системе СИ эта единица названа беккерель (Бк), в честь французского физика А. Беккереля. На практике часто пользуются такой единицей, как ГБк (гигабеккерель) и ТБк (терабеккерель) (см. табл. 2-II приложения).

При осуществлении радиационного контроля, в том числе и после Чернобыльской катастрофы, широко использовалась внесистемная единица активности – кюри (Ки). Эта первая предложенная единица измерения радиоактивности была названа в честь французских выдающихся физиков и химиков супругов-ученых Марии Складовской и Пьера Кюри. Один беккерель составляет приблизительно $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки. 1 Кюри – это огромная величина, она равна $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерных превращений в секунду (Бк). Такой активностью обладает 1 г радия. Другой внесистемной единицей активности является резерфорд (Рд): $1 \text{ Рд} = 10^6 \text{ Бк}$.

Содержание активности в веществе часто оценивают в пересчёте на единицу массы вещества (Бк/кг) – *удельная активность*. Иногда оно выражается по отношению к единице объема: Бк/см³, Ки/м³, мКи/дм³, и т.п. (*объемная концентрация*) или к единице площади: ПБк/м², Ки/км², мКи/см² и т.п. (*поверхностная активность*).

$$A_m = A/m; A_v = A/v; A_s = A/S.$$

Для прогнозирования снижения активности радионуклидов после аварии на АЭС или ядерном взрыве используется закон Взя-Вигнера: $A_1/A_2 = (t_2/t_1)^n$, где A_1 и A_2 – активности излучения радионуклидов, соответствующие моментам времени t_1 и t_2 после начала радиоактивного загрязнения местности; n – показатель степени спада активности излучения во времени, зависящий от состава радионуклидов, выпавших на землю. Для аварии на АЭС с выбросом искусственных радиоактивных веществ ядерного топлива $n = 0,4-0,86$, а для ядерного взрыва атомного боеприпаса $n = 1,2$.

Единицы измерения ионизирующих излучений. Для измерения величин, характеризующих ионизирующее излучение, исторически первой появилась единица «рентген». Это мера экспозиционной дозы рентгеновского или γ -излучений. Позже для измерения поглощенной дозы излучения добавили «рад». Все эти единицы суммированы в табл. 1.4.

Доза ионизирующего излучения - энергия ионизирующего излучения, поглощённая в единице массы облучаемого вещества. Её называют поглощённой дозой (D_n), выражающей количество энергии любого вида излучений, поглощенной единицей массы вещества, отнесенное к этой массе (табл. 1.4):

$$D = E/m.$$

В качестве *единицы поглощенной дозы излучения* в системе СИ используется единица – *грей* (Гр). Названа в честь Луиса Гарольда Грея (1905-1965 гг.) – крупного английского ученого, специалиста в области дозиметрии ионизирующего излучения. *1 грей* – это такая единица поглощенной дозы, при которой 1 кг облучаемого вещества поглощает энергию в 1 джоуль (Дж). $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 2,388 \cdot 10^{-4} \text{ ккал/кг} = 6,242 \cdot 10^{15} \text{ эВ/г} = 10^4 \text{ эрг/г} = 100 \text{ рад}$.

Таблица 1.4

Основные физические величины, используемые в радиационной защите, и их единицы

Физическая величина	Наименование и обозначение единицы		Соотношение между единицами	
	системы СИ	внесистемная	системы СИ и внесистемной	внесистемной и в системе СИ
<i>Активность нуклида</i> в радиоактивном источнике. Выражает число распадов в единицу времени.	Беккерель (Бк, Вq)	Кюри (Ки, Си)	1 Бк = 1 расп. в с, 1 Бк = $= 2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки	1 Ки = $= 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
<i>Удельная активность.</i>	Беккерель на килограмм (Бк/кг).	Кюри на килограмм (Ки/кг).	1 Бк/кг = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки/кг	1 Ки/кг = $= 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг
<i>Поглощенная доза излучения.</i> Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей	Грей (Гр, Gy).	Рад (рад, rad).	1 Гр = 1 Дж / кг; 1 Гр = 100 рад; 1 Дж = $= 10^5$ рад/г	1 рад = $= 100$ эрг/г = $= 0,01$ Гр = 10^2 Дж/кг = $= 10^{-2}$ Гр;

Физическая величина	Наименование и обозначение единицы		Соотношение между единицами	
	системы СИ	внесистемная	системы СИ и внесистемной	внесистемной и в системе СИ
массы физического тела, например, тканями организма				$1 \text{ рад/г} = 10^{-5} \text{ Дж}$
<i>Доза эквивалентная.</i> Поглощенная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий неодинаковую радиационную опасность разных видов ионизирующего излучения (см. табл. 1.6)	Зиверт (Зв, Sv)	Бэр (бэр, rem)	$1 \text{Зв} = 1 \text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ бэр}$ (для β - и γ излучения); $1 \text{Зв} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{Зв} = 10 \text{ мЗв}$
<i>Доза эффективная (эффективная эквивалентная).</i> Сумма средних эквивалентных доз в различных органах или тканях, взвешенных с коэффициентами учета различной чувствительности органов и тканей к возникновению стохастических эффектов радиоактивного воздействия (см. табл. 1.7)	Зиверт (Зв, Sv)	Бэр (бэр, rem)	$1 \text{Зв} = 1 \text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ бэр}$ (для β - и γ излучения)	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{Зв} = 10 \text{ мЗв}$

Физическая величина	Наименование и обозначение единицы		Соотношение между единицами	
	системы СИ	внесистемная	системы СИ и внесистемной	внесистемной и в системе СИ
<i>Экспозиционная доза</i> излучения. Отношение суммарного заряда всех ионов одного знака, возникающих при полном торможении электронов и позитронов, образованных фотонами в элементарном объеме воздуха, к массе воздуха в этом объеме.	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Кл/кг = = 3876 Р = = 3,88•10 ³ Р	1 Р = = 2,58•10 ⁻⁴ Кл/кг
<i>Мощность дозы облучения</i> - доза, полученная организмом за единицу времени.	Грей в секунду (Гр/с) = Дж/кг•с = Вт/кг); Зиверт в секунду (Зв/с), Ампер на килограмм (А/кг)	Рад в секунду (рад/с), Бэр в секунду (бэр/с), Рентген в секунду (Р/с)	1 Гр/с = = 100 рад/с, 1 Гр/с = 1 Зв/с = 100 Р/с (для β- и γ-излучения); 1 Зв/с = = 100 бэр/с 1 А/кг = = 3876 Р/с.	1 рад/с = = 0,01 Гр/с, 100Р/с = = 1 Зв/с = = 1 мкГр/с
<i>Удельная поверхностная активность</i> радионуклида.	Беккерель на квадратный метр (Бк/м ²)	Кюри на квадратный километр (Ки/км ²)	1 Ки/км ² = = 3,7•10 ⁴ Бк/м ²	1 Бк/м ² = = 2,7•10 ⁻⁵ Ки/км ²

Энергию частиц измеряют в электрон-вольтах (эВ). *Электрон-вольт* - это энергия, которую приобретает электрон под действием электрического поля с разностью потенциалов (напряжением) в 1 вольт.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ джоуля} = 3,83 \cdot 10^{-20} \text{ калорий.}$$

Исходя из соотношений: $1 \text{ Дж} = 0,239 \text{ кал} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ электрон-вольт} = 10^7 \text{ эрг}$,

$$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Дж/кг} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр} = 2,388 \times 10^{-6} \text{ кал/г.}$$

Кратные единицы поглощённой дозы – килогрей ($1 \text{ кГр} = 1 \text{ Гр} \cdot 10^3$), миллигрей ($1 \text{ мГр} = 1 \text{ Гр} \cdot 10^{-3}$). Принцип образования кратных единиц измерения ионизирующей радиации представлен в табл. 1.5.

Поглощённая энергия расходуется на нагрев вещества, а также на его химические и физические превращения. Она растёт с увеличением времени облучения и зависит от состава вещества, вида излучения (рентгеновское излучение, поток нейтронов и т. п.), энергии его частиц, плотности их потока и состава облучаемого вещества. Например, для рентгеновского и γ -излучений она зависит от атомного номера (Z) элементов, входящих в состав вещества.

Характер этой зависимости определяется энергией фотонов, зависящей от частоты электромагнитных колебаний – $h\nu$ В данной формуле: h — постоянная Планка; введена М. Планком в 1900 г. при установлении закона распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела. Наиболее точное значение $h = (6,626196 \pm 0,000050) \cdot 10^{-34} \text{ джоуль} \cdot \text{с} = (6,626196 \pm 0,000050) \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$. Однако чаще пользуются $h = h/2\pi = (1,0545919 \pm 0,0000080) \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$, также называемой постоянной Планка, а ν — это частота электромагнитных колебаний.

В результате таких взаимодействий в биологических тканях нарушаются физиологические процессы, и развивается в ряде случаев лучевая болезнь различной степени тяжести. Поглощенная доза излучения является основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия.

РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД ЯДЕР		
Вид излучения	Нуклид	Период полураспада
альфа	Уран-238	4,47 млрд лет
	Торий-234	24,1 суток
бета	Полюний-234	1,17 минут
	Уран-234	245,000 лет
альфа	Торий-230	8,000 лет
	Радий-226	1,600 лет
альфа	Радон-222	3,823 суток
	Полоний-218	3,05 минут
альфа	Свинец-214	26,8 минут
	Висмут-214	19,7 минут
бета	Полоний-214	0,000164 секунды
	Свинец-210	22,3 лет
бета	Висмут-210	5,01 суток
	Полоний-210	138,4 суток
альфа	Свинец-206	Стабильный

Рис. 1.6. Образование естественных радионуклидов при распаде ^{238}U

играют 40 α -радиоактивных изотопов. Они объединены в три радиоактивных ряда, которые начинаются с тория (^{232}Th) и урана (^{238}U и ^{235}U). К ним можно отнести также и четвертый ряд – ряд нептуния, начинающийся с ^{237}Np (многие радионуклиды из этого семейства уже распались). Отдельно от этих семейств находится *калий-40* (^{40}K) и *рубидий-87* (^{87}Rb).

Один из первых открытых естественных радиоактивных элементов был «радий» – испускающий лучи, излучающий. Образование его и других естественных радионуклидов протекает в процессе самопроизвольных превращений (распадов) нуклидов семейства урана и тория. В качестве примера приводим на рис. 1.6 цепочку многочисленных превращений радионуклидов семейства ^{238}U , сопровождающиеся α - или β -излучениями и завершающиеся образованием стабильного нуклида свинца.

Мощность поглощенной дозы – превращение дозы в единицу времени. Она характеризуется скоростью накопления дозы облучения и может увеличиваться или уменьшаться во времени. Её единица в системе СИ – грей в секунду (Гр/с). *Это такая мощность поглощенной дозы излучения, при которой за 1 с в веществе поглощается доза излучения в 1 Гр.* На практике для оценки мощности поглощенной дозы излучения до сих пор широко используют внесистемную единицу мощности поглощенной дозы – рад в час (рад/ч) или рад в секунду (рад/с). Эта доза может создаваться как после внешнего, так и после внутреннего облучения.

Как внешнее, так и внутреннее облучение человека создаётся антропогенными и естественными источниками. Последние имеют **земное** и **космическое** происхождение. Среди первых решающую роль

Наибольшую дозу облучения (50%) человек получает от радона-222 (^{222}Rn) и его производных – представителей семейства ^{238}U (рис. 1.6). 14 % дозы создаётся γ -лучами от земли и зданий, 12% - пищей и напитками, 10% - космическими лучами (внутреннее облучение за счёт космогенных радионуклидов: углерода-14 - ^{14}C (12 мкЗв/год), бериллия-7 - ^7Be (3 мкЗв /год), натрия-22 - ^{22}Na (0,2 мкЗв/год) и трития - ^3H (0,01 мкЗв/год).

Внешняя поглощённая доза - доза, полученная человеком от источника, находящегося *вне организма*. Оно составляет почти 33% общей дозы облучения и создаётся потоком частиц или квантов от земли и зданий (главным образом калием-40), космическим излучением и антропогенными источниками. Жители Беларуси получают также дополнительное облучение за счёт чернобыльских радионуклидов. 90 % её создаётся цезием-137, 9% - стронцием-90 и 1% - изотопов плутония. После ядерного взрыва проникающая радиация создаётся потоком γ -лучей и нейтронов, испускаемых примерно в течение 10-25 секунд с момента ядерного взрыва.

Поток γ -лучей - фотонов (F) – отношение числа ионизирующих частиц (фотонов) dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу: $F = dN/dt$. Единица измерения потока ионизирующих частиц – частица / с (одна частица в секунду).

Флюенс (перенос) ионизирующих частиц (фотонов) - отношение числа ионизирующих частиц (фотонов) dN , проникающих в объем элементарной сферы, к площади центрального поперечного сечения dS этой сферы: $\Phi = dN/dS$. Единица измерения флюенса частиц – частица / м^2 (одна частица на квадратный метр).

Плотность потока ионизирующих частиц (фотонов, φ) - отношение потока ионизирующих частиц (фотонов) dF проникающих в объем элементарной сферы, к площади центрального поперечного сечения dS этой сферы: $\varphi = dF/dS = d\Phi / dt = dN/dt \cdot dS$. Единица измерения плотности потока - частица/с $^{-1}$ •м $^{-2}$ (одна частица или квант в секунду на квадратный метр).

При прохождении этих фотонов (гамма излучение) различают узкий и широкий пучок. Геометрия *узкого пучка* характеризуется тем, что детектор регистрирует только не рассеянное излучение источника. Геометрия, при которой детектор регистрирует не рассеянное и рассеянное излучение, называется *широким пучком*.

Удельная поглощённая доза (σ) – поглощённая доза, создаваемая излучением при флюенсе = одна частица на квадратный метр: $\sigma = D / \Phi$.

Внутренняя поглощённая доза - доза, полученная каким-либо органом человеческого организма от источника радиации, находящегося внутри организма. Этим источником внутреннего облучения может быть радиоактивное вещество, которое проникает в организм через кишечник с пищей (пищевые продукты и вода), через легкие (при вдыхании воздуха) и, в незначительной степени, через кожу, либо через раны или порезы, а также при медицинской радиоизотопной диагностике. Источники внутреннего облучения можно условно разделить на источники *чернобыльского происхождения* (в настоящее время большая их часть цезия-137, стронция-90 и плутония-239, 240 содержится в продуктах питания) и *естественного происхождения*. Последние создают почти 67% суммарной дозы облучения.

Источник внутреннего облучения остаётся в организме на определенное время, в течение которого и оказывает свое негативное воздействие. Длительность воздействия определяется периодом полураспада источника, попавшего в организм, и количеством времени, в течение которого он выводится из организма. Вывод радионуклидов из организма представляет собой весьма сложное явление. Его можно лишь приблизительно описать посредством концепции "*биологического полувыведения*" - времени, необходимого для выведения из организма половины радиоактивного материала.

Состояние радиационной обстановки на местности или в помещении характеризует *экспозиционная доза*. Экспозиционная доза (фотонного излучения) — количественная характеристика рентгеновского и γ -излучения с энергией до 3 МэВ, основанная на их ионизирующем действии и выраженная как отношение суммарного заряда всех ионов одного знака dQ , возникающих при полном торможении электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в элементарном объеме воздуха, к массе dm воздуха в этом объеме: $X = dQ/dm$. Представляет собой энергетическую характеристику излучения, оцениваемую по эффекту ионизации сухого атмосферного воздуха, и меру ионизирующего действия фотонного излучения, определяемую по ионизации воздуха в условиях электронного равновесия.

Единицей измерения экспозиционной дозы в СИ является *кулон на килограмм (Кл/кг)*. Широко распространена также внесистемная

единица экспозиционной дозы - *рентген (P)* (названа в честь немецкого физика Вильгельма Конрада Рентгена, открывшего в 1895 г. рентгеновские лучи): один рентген (1 P) – это такая доза фотонного излучения, под действием которой в 1 см³ сухого воздуха при нормальных условиях (0°С и 760 мм рт. ст.) образуются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака.

Доза в 1 P соответствует образованию $2,083 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см³ воздуха (при 0° С и 760 мм рт. ст.), или $1,61 \cdot 10^{12}$ пар ионов в 1 г воздуха. Если учесть, что заряд электрона равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ кулона, а масса 1 см³ воздуха = $1,29 \cdot 10^{-6}$ кг, то 1 P составляет $2,57976 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг. В свою очередь 1 Кл/кг = $3,876 \cdot 10^3$ P. На создание такого количества ионов необходимо затратить энергию, равную 0,114 эрг/см³ или 88 эрг/г, т. е., 88 эрг/г есть энергетический эквивалент рентгена.

Соотношения между единицами измерения экспозиционной и поглощенной дозами составляют: для воздуха 1 P = 0,88 рад, для биологической ткани 1 P = 0,93 рад, 1 рад равен в среднем 1,44 P.

Мощность экспозиционной дозы – приращение экспозиционной дозы в единицу времени. Ее единица в системе СИ – ампер на килограмм (А/кг):

$$1 \text{ P/c} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг.}$$

В зоне аварии Чернобыльской атомной станции есть районы, где радиоактивность почвы достигает 1200 микрорентген в час. По величине экспозиционной дозы можно рассчитать и поглощенную дозу рентгеновского и γ -излучений в любом веществе. Для этого необходимо знать состав вещества и энергию фотонов излучения.

Следует помнить, что, согласно принятому ГОСТу, после 1 января 1990 г. *не рекомендуется вообще пользоваться понятием экспозиционная доза и её мощность*. Поэтому во время переходного периода эти величины следует указывать не в единицах СИ, а во внесистемных единицах – рентгенах и рентгенах в секунду (P/c).

Различают как **единовременное**, так и **постоянное (хроническое)** радиационное воздействие. *Единовременное воздействие* возникает при чрезвычайных обстоятельствах, в частности, авариях и оценивается по поглощенной дозе. *Постоянное же воздействие*, которое может возникать в результате регулярных выбросов радиоактивности в воздух или воду или постоянного нахождения радио-

нуклидов в окружающей среде, как правило, осуществляет длительное поражающее действие на человека. Такое воздействие радиация оказывает на людей, проживающих на загрязнённых радионуклидами землях после аварии на ЧАЭС. Для оценки указанных **доз облучения** используют такие понятия, как эквивалентная и эффективная эквивалентная дозы облучения.

Эквивалентная доза излучения - величина, используемая для оценки радиационной опасности хронического облучения человека различными видами ионизирующих излучений и определяемая суммой произведений поглощенных доз отдельных видов излучений на их коэффициенты качества. Можно сказать, что это средняя поглощенная доза излучения D в органе или ткани T , умноженная на взвешивающий радиационный коэффициент W_R (или, как его ещё называют, коэффициент качества излучения – K , см. табл. 1.6) для биологической ткани стандартного состава (10,1% - водорода; 11,1% - углерода; 2,6% - азота; 76,2% - кислорода, по массе):

$$H_{T,R} = D W_R = \sum D_{T,R} W_R,$$

где R - индекс вида и энергии излучения.

Коэффициент качества излучения показывает, во сколько раз ожидаемый биологический эффект от исследуемого излучения больше, чем для излучения с линейной передачей энергии (ЛПЭ) $\leq 3,5$ кэВ на 1мкм пути в воде. Для различных излучений взвешивающий радиационный коэффициент (W_R) устанавливается в соответствии с «Нормами радиационной безопасности - НРБ-2000» в зависимости от линейной передачи энергии (табл. 1.5):

Таблица 1.5

ЛПЭ, кэВ/мкм воды	$\leq 3,5$	7,0	23	53	≥ 175
W_R	1	2	5	10	20

Линейная передача энергии – ЛПЭ (LET - Linear Energy Transfer) - интенсивность передачи энергии (и, следовательно, уровень поражения) в расчете на единицу пройденного пути. Например, α -частица относится к высокой ЛПЭ-радиации, тогда как фотоны и электроны - к низкой ЛПЭ-радиации.

Взвешивающий радиационный коэффициент W_R (коэффициент качества K) показывает во сколько раз радиационная опасность для определённого вида излучения выше, чем радиационная опасность для рентгеновского излучения при одинаковой поглощённой дозе в тканях организма. Как видно из табл. 1.6, при одной и той же поглощённой дозе нейтронное и α -излучение вызывают, соответственно, в 2-12 и 20 раз больший поражающий эффект, чем фотонное излучение.

Таблица 1.6

Взвешивающий радиационный коэффициент (W_R)

Вид и энергия излучения	Радиационный коэффициент W_R
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ	2
10-100 кэВ	4
более 100 кэВ до 2 МэВ	12
более 2 МэВ до 20 МэВ	8
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
α -частицы, продукты деления, тяжёлые ядра	20

При облучении человека, возникают биологические эффекты, величина которых определяет степень радиационной опасности. Для любого вида излучения, *наблюдаемые радиационные эффекты пропорциональны поглощённой энергии*. Поэтому ранее эквивалентную дозу рассчитывали как произведение поглощённой дозы на коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ).

$$D_3 = D \cdot K_{\text{ОБЭ}}$$

Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) - относительная способность различных типов излучений вызывать сходные биологические эффекты. В качестве эталонного излучения принято

моноэнергетическое 200 кэВ рентгеновское излучение. Эффекты оцениваются как обратное отношение поглощенных доз для разных типов излучений, которые приводят к биологическому эффекту одинаковой выраженности. Из-за сложности его определения на практике применяется более простой параметр, именуемый взвешивающим коэффициентом для тканей и органов (W_T).

Единицей измерения эквивалентной дозы излучения в системе СИ является Зиверт (Зв), названный так по имени шведского радиобиолога Р. М. Зиверта. Она используется в радиационной безопасности для учета стохастических эффектов, возникающих при воздействии различных видов ионизирующих излучений (кратковременное или хроническое облучение любого органа и всего тела дозами ниже порогов детерминистских эффектов). Таким образом, эта единица учитывает неблагоприятные биологические последствия облучения в малых дозах.

Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада, ранее её определяли как биологический эквивалент рентгена). Считается, что это такая поглощенная доза излучения, которая вызывает тот же биологический эффект, что и 1 рад γ -излучения. (в английской транскрипции - Rem от Roentgen Equivalent of Man). Поскольку коэффициент качества β - и γ -излучений равен 1, то на местности, загрязненной радиоактивными веществами при внешнем облучении соотношения между единицами облучения следующее:

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ бэр} = 100 \text{ Р, или}$$

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр}; 1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад}; 1 \text{ рад} \approx 1 \text{ Р.}$$

Между тем, равенство $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ неверно. В самом деле, при экспозиционной дозе 1 Р в 1 см^3 воздуха должно образовываться $2,083 \cdot 10^9$ пар ионов при средней энергии на один акт ионизации ($E_{и}$) = 34 эВ. После пересчета на 1 г воздуха получается, что 1 Р является эквивалентом $0,114 \text{ эрг/см}^3 \approx 87,7 \text{ эрг/г} \approx 0,877 \text{ рад}$. Таким образом, соотношение между поглощенной дозой излучения, выраженной в радах, и экспозиционной дозой фотонного излучения, выраженной в рентгенах, для воздуха имеет вид: $1 \text{ Р} \approx 0,877 \text{ рад}$. По-видимому, тот факт, что 1 Р практически эквивалентен 1 рад , позволял ранее многим авторам считать бэр эквивалентом рентгена, как это до 1963 г. беспрекословно считалось. Но с 1963 г. *бэр опре-*

деляют как биологический эквивалент рада, как этого и требует определение единицы эквивалентной дозы.

Мощность эквивалентной дозы – отношение приращения эквивалентной дозы за какой-то интервал времени. Она выражается в Зивертах в секунду (Зв/с). Поскольку время пребывания человека в поле излучения при допустимых уровнях измеряется, как правило, часами, предпочтительно выражать мощность эквивалентной дозы в микрозивертах в час (мкЗв/ч).

Удельная эквивалентная доза (h) – эквивалентная доза при флюенсе одна частица на квадратный метр: $h = H / \Phi$.

Знание величины поглощённой дозы оказывается недостаточным для оценки степени радиационной опасности. В радиационной безопасности для интегрированной оценки возможного ущерба здоровью человека в условиях хронического облучения с учетом различного характера влияния облучения на разные органы введено понятие *эффективной эквивалентной дозы*.

Эффективная доза (эффективная эквивалентная доза, H_E) или, как её ещё называют, приведенная эффективная доза, характеризует величину эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой человеком за определенный промежуток времени (как правило, за год). Величина дозы представляет сумму средних эквивалентных доз H_T в различных органах или тканях, взвешенных с коэффициентами $W_T = H_E = \sum W_T H_T$.

Приведенная эффективная доза измеряется в *Зивертах (Зв, Sv)*, либо *миллизивертах (мЗв, mSv)* в год. Используется также и внесистемная единица – бэр. Например, полученная щитовидной железой эквивалентная доза в 20 бэр равна эффективной дозе в 0,6 бэр.

Для профессионалов – персонала, работающего с источниками радиации, величина эффективной дозы не должна превышать 1000 мЗв (1 Зв) за период трудовой деятельности (50 лет), а для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв. От природных источников она не должна превышать 5 мЗв/год, а в производственных условиях мощность эффективной дозы γ -излучения не должна быть выше 2,5 мкЗв/ч.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов (W_T) – множители эффективной эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые при радиационной защите для расчета эффективной

эквивалентной дозы. Они приведены в «Нормах радиационной безопасности нашей республики – НРБ-2000» (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов (W_T)

Органы	Взвешивающий коэффициент
Гонады	0,20
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Грудная железа	0,05
Мочевой пузырь	0,05
Пищевод	0,05
Печень	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальные органы (ткани)	0,05

Эти коэффициенты учитывают различную чувствительность отдельных органов и тканей при возникновении стохастических эффектов после радиоактивного воздействия.

Различают также дозы, приводящие к гибели животных в ранние и поздние сроки. Доза, вызывающая гибель 50% животных за 30 дней, называется летальная доза 30/50 или $LD_{30/50}$. Она составляет при однократном одностороннем рентгеновском или γ -облучениях для морской свинки 300 бэр, для кролика 1000 бэр. Минимальная абсолютно легальная (смертельная) доза – гибнет 100% облучённых ($LD_{30/100}$) - для человека при общем γ -облучении равна ~ 600 бэр. Эту дозу человек может получить как при внешнем, так и внутреннем облучении.

4. Вопросы к зачету

1. Что такое активность радиоактивного препарата? Дайте определение удельной, объемной и поверхностной активности? Укажите единицы их измерения.

2. Какие существуют виды излучения? Какова их природа возникновения и основные свойства?

3. В какой последовательности по степени уменьшения располагаются γ -, α -, β - излучения по проникающей и ионизирующей способности?

4. В чем отличительная особенность γ -излучения от α - и β - излучения?

5. В чем отличие эквивалентной от экспозиционной доз? Какое соотношение единиц измерения их мощности?

6. Эквивалентная и эффективно эквивалентная дозы облучения (определение, сходства и различия).

7. Для чего используются величины ОБЭ и ЛПЭ?

8. О чём свидетельствуют взвешивающий радиационный коэффициент и взвешивающие коэффициенты для тканей и органов?

9. Укажите, какие правила необходимо соблюдать при выполнении лабораторной работы?

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. БЫТОВЫЕ ДОЗИМЕТРЫ И РАДИОМЕТРЫ

1. Цель работы — ознакомить студентов с методами обнаружения и измерения радиоактивности, детекторами ядерных излучений, определением мощности дозы γ -излучения естественного фона, плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей, оценкой удельной активности радионуклидов в пробах пищевых продуктов.

2. Порядок выполнения работы:

2.1. Изучить настоящие методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на контрольные вопросы.

2.3. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Методы обнаружения и измерения радиоактивности

Радиоактивные излучения не воспринимаются органами чувств. Они могут быть обнаружены (детектированы) при помощи приборов и приспособлений, работа которых основана на физико-химических эффектах, возникающих при взаимодействии излучения с веществом.

В результате взаимодействия радиоактивного излучения с внешней средой происходит ионизация и возбуждение ее нейтральных атомов и молекул. Такое воздействие вызывает *изменения физико-химических свойств облучаемой среды*. Указанными свойствами являются: *электропроводность веществ* (газов, жидкостей, твердых материалов); *люминесценция* (свечение) *некоторых веществ*; *засвечивание фотопленок*; *изменение цвета, окраски, прозрачности, сопротивления электрическому току химических растворов* и др. Эти явления приняты за основу при разработке методов регистрации и измерения ионизирующих излучений – фотографический, сцинтилляционный, химический и ионизационный методы.

3.1. Детекторы ядерных излучений

Это устройства для регистрации α - и β -частиц, рентгеновского и γ -излучения, нейтронов, протонов и т.п. Они служат для определения состава излучения и измерения его интенсивности, спектра энергии частиц, изучения процессов взаимодействия быстрых частиц с атомными ядрами и распада нестабильных частиц.

Фотографический метод исторически был первым способом обнаружения ядерных излучений. Метод основан на почернении фотоэмульсии. Под воздействием ионизирующих излучений молекулы бромистого или хлористого серебра (AgBr или AgCl), содержащихся в фотоэмульсии, восстанавливают металлическое серебро подобно видимому свету, которое после проявления выявляется в виде почернения. Степень почернения фотоэмульсии (фотопластинки, плёнки) пропорциональна дозе излучения. Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу излучения (экспозиционную или поглощенную), полученную пленкой. В настоящее время фотографический метод широко применяется в ядерной физике при исследовании свойств самых различных заряженных частиц, их взаимодействий и ядерных реакций. На этом принципе основано использование индивидуальных фотодозиметров.

Химический метод. Некоторые химические вещества под воздействием ионизирующих излучений меняют свою структуру. Так, хлороформ в воде при облучении разлагается с образованием соляной кислоты, которая дает цветную реакцию с красителем, добавленным к хлороформу. Двухвалентное железо в кислой среде окисляется в трехвалентное под воздействием свободных радикалов H^+ и OH^- , образующихся в воде при ее облучении. Трехвалентное железо с красителем дает цветную реакцию. По плотности окраски судят о дозе излучения (поглощенной энергии). На этом принципе основана работа химических дозиметров гамма- и нейтронного излучения ДП-70 и ДП-70М (МП).

Сцинтилляционный метод. Некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий, вольфрамат кальция и др.) светятся при воздействии на них ионизирующих излучений. Возникновение свечения является следствием возбуждения атомов под действием излучений. При возвращении в основное состояние атомы испускают фотоны видимого света различной яркости (сцинтилляция). Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения.

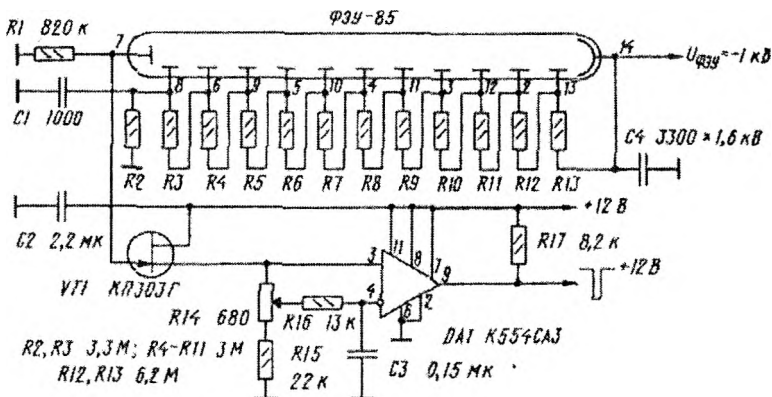


Рис. 2.1. Фотоголовка сцинтилляционного детектора ионизирующей радиации

Фотоны видимого света улавливаются специальным прибором – так называемым *фотоэлектронным умножителем* (ФЭУ), способным регистрировать каждую вспышку (рис. 2.1). В основу работы индивидуального измерителя дозы (ИД-11) положен сцинтилляционный метод обнаружения ионизирующих излучений. В современных дозиметрических приборах широкое распространение получил ионизационный метод обнаружения и измерения ионизирующих излучений.

Ионизационный метод. Сущность его заключается в том, что под воздействием ионизирующих излучений в изолированном объеме происходит ионизация газа: электрически нейтральные атомы (молекулы) газа разделяются на положительные и отрицательные ионы, в результате чего электропроводность среды увеличивается. Если в нее поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами возникает направленное движение ионов, т.е. возникает так называемый ионизационный ток. Измеряя ионизационный ток, можно судить об интенсивности ионизирующих излучений. Такие устройства называются детекторами излучений. В качестве детекторов в дозиметрических приборах используются ионизационные камеры и газоразрядные счетчики различных типов.

Приборы, работающие на основе ионизационного метода, имеют принципиально одинаковое устройство и включают: воспринимающее устройство (ионизационную камеру или газоразрядный счетчик), усилитель ионизационного тока (электрическая схема, включающая электрометрическую лампу, нагрузочное сопротивление и другие элементы), регистрирующее устройство (микроамперметр) и источник питания (сухие элементы или аккумуляторы) (рис. 2.2).

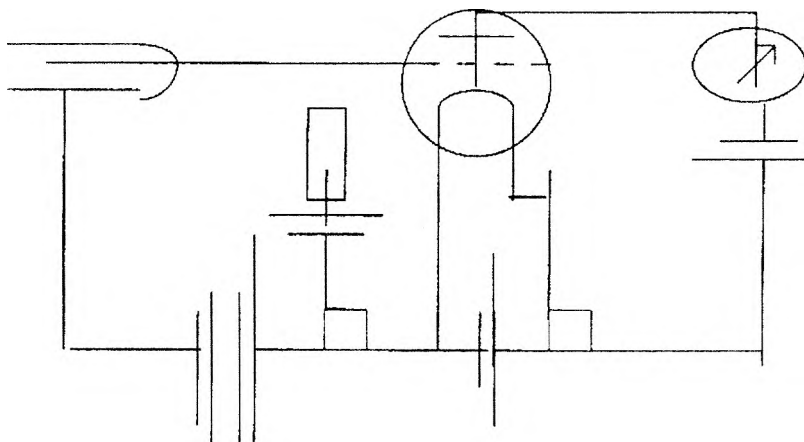


Рис.2.2. Схема работы ионизационной камеры

Ионизационная камера представляет собой заполненный воздухом замкнутый объём, внутри которого находятся *два изолированных друг от друга электрода* (типа конденсатора). К электродам камеры прилагается напряжение от источника постоянного тока. При отсутствии ионизирующего излучения в цепи ионизационной камеры тока не будет, поскольку *воздух является изолятором*. При воздействии же излучений в ионизационной камере *молекулы воздуха ионизируются*. В электрическом поле положительно заряженные частицы перемещаются к катоду, а отрицательные — к аноду. *В цепи камеры возникает ионизационный ток, который регистрируется микроамперметром*. Числовое значение ионизационного тока пропорционально мощности излучения. Следовательно, *по ионизационному току можно судить о мощности дозы излучений*, воздействующей на камеру.

Ионизационные камеры в зависимости от назначения и конструкции могут работать в *импульсном и токовым* (интегральном) режимах. *Импульсные камеры используют для регистрации отдельных тяжелых заряженных частиц (α -частицы, протоны и т.д.).*

Удельная ионизация легких частиц (электроны, позитроны) сравнительно мала, поэтому регистрация их в импульсном режиме неэффективна. *Токовые камеры* применяют для измерения интенсивности *всех типов излучения*, которые пропорциональны среднему току, проходящему через камеру. Величина ионизационного тока пропорциональна энергии излучения, поэтому ионизационные камеры измеряют *ток насыщения в единицу времени, т.е. мощность дозы данного излучения*. Приборы градуируют в единицах мощности дозы. Значит, *ионизационные камеры используют не только для измерения дозы излучения, но и ее мощности*.

Пропорциональные счетчики выгодно отличаются от ионизационной камеры тем, что начальное усиление первичной ионизации происходит внутри самого счетчика ($K_{\gamma}=10^3 - 10^4$). Наличие *пропорциональности усиления в счетчиках позволяет определить энергию ядерных частиц и изучить их природу*. Пропорциональные счетчики бывают *торцового типа*, например САТ-7 и САТ-8 (счетчик α -частиц торцовый, СИ-ЗБ и др.). Чтобы обеспечить проникновение в плоскость счетчика α – частиц, входное слюдяное окно делают очень тонким (4-10 мкм). *Наполняют счетчик смесью неона с аргоном почти до уровня атмосферного давления*. В счетчиках *открытого типа* рабочая полость сообщается с внешним воздухом. Такие счетчики работают при атмосферном давлении, они допускают непрерывные протекание или циркуляцию наполняющего их газа и поэтому их часто используют для *регистрации активности газовых проб*.

Газоразрядный счетчик используется для измерения радиоактивных излучений малой интенсивности. *Высокая чувствительность счетчика позволяет измерять интенсивность излучения в десятки тысяч раз меньшую той, которую удастся измерить ионизационной камерой*. Счетчик представляет собой полый герметичный металлический или стеклянный цилиндр, *заполненный разреженной смесью инертных газов (аргон, неон) с некоторыми добавками, улучшающими работу счётчика (пары спирта)*. Внутри цилиндра, вдоль его оси, натянута тонкая металлическая нить (анод),

изолированная от цилиндра. Катодом служит металлический корпус или тонкий слой металла, нанесенный на внутреннюю поверхность стеклянного корпуса счётчика. К металлической нити и токопроводящему слою (катоде) подают напряжение электрического тока.

В газоразрядных счетчиках используют *принцип усиления газового разряда*. При отсутствии радиоактивного излучения свободных ионов в объеме счетчика нет. Следовательно, в цепи счетчика электрического тока также нет. При воздействии радиоактивных излучений в рабочем объеме счетчика *образуются заряженные частицы*. Электроны, двигаясь в электрическом поле к аноду счетчика, площадь которого значительно меньше площади катода, приобретают кинетическую энергию, достаточную для дополнительной ионизации атомов газовой среды. Выбитые при этом электроны также производят ионизацию. Таким образом, *одна частица радиоактивного излучения, попавшая в объем смеси газового счетчика, вызывает образование лавины свободных электронов*. На нити счетчика собирается большое количество электронов. В результате этого положительный потенциал резко уменьшается и возникает электрический импульс. **Регистрируя количество импульсов тока, возникающих в единицу времени, можно судить об интенсивности радиоактивных излучений.**

Счетчики Гейгера – Мюллера (газоразрядные счетчики) конструктивно почти не отличаются от пропорциональных счетчиков цилиндрического торцового типа. Основное отличие состоит в том, что *внутренний объем счетчика Гейгера наполнен инертным газом при пониженном давлении (15-75 гПа), а работа осуществляется в области Гейгера, т.е. в режиме самостоятельного газового разряда* (рис. 2.3).

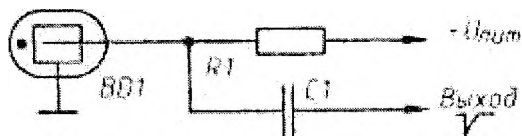


Рис. 2.3. Схема включения счётчика Гейгера-Мюллера

Счетчики для регистрации γ -излучения имеют некоторую особенность в конструкции. Регистрация γ -излучения возможна в результате выбивания вторичных электронов из катода счетчика на

основе известных трех механизмов взаимодействия этого излучения с веществом: *фотоэффекта, комптонэффекта, образования электронно–позитронных пар.*

Вторичные электроны (фотоэлектроны, электроны отдачи, электронно-позитронные пары), попадая в чувствительный объем счетчика, вызывают газовый разряд (ударную ионизацию), который и регистрируется радиометрическим устройством. Этот закон Брэгга-Грея используется также и для дозиметрии нейтронов. Ионизационный метод положен в основу работы таких дозиметрических приборов, как ДП-5А (Б, В), ДП-3Б, ДП-22В и ИД-1.

*Твердотельные дозиметры. В системе обеспечения радиационной безопасности широко используются твердотельные дозиметры. К последним относятся *фотопленочные дозиметры, дозиметры, основанные на окрашивании твердых материалов, и, наконец, твердые вещества, активируемые нейтронами.* В качестве примера твёрдотельных дозиметров можно привести полупроводниковые детекторы (ППД) ионизирующих излучений. Действие ППД основано на *свойствах полупроводников проводить электрический импульс под действием ионизирующих излучений.* Из всех полупроводников наиболее пригодны для детекторов монокристаллы германия и кремния.*

3.2. Приборы дозиметрического контроля

Приборы, предназначенные для обнаружения и измерения радиоактивных излучений, называются дозиметрическими. Они предназначаются для контроля:

- облучения — измерения поглощенных или экспозиционных доз излучения, полученных людьми и сельскохозяйственными животными;
- радиоактивного загрязнения радиоактивными веществами людей, сельскохозяйственных животных, а также техники, транспорта, оборудования, средств индивидуальной защиты, одежды, продовольствия, воды, фуража и других объектов;
- радиационной разведки—определения уровня радиации на местности;
- определения наведенной радиоактивности в облученных нейтронными потоками различных технических средствах, предметах и грунте.

Для каждого вида излучения в зависимости от его пробега в веществе подбирается свой подходящий детектор. Как же классифицируются дозиметрические приборы?

Среди них выделяют:

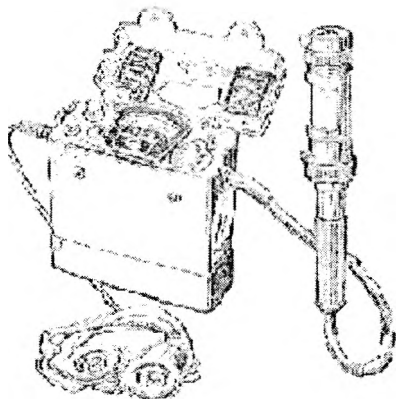


Рис. 2.4. Переносной дозиметр

- для определения плотности потока или интенсивности ионизирующих частиц и квантов, поверхностей,
- радиоактивности предметов,
- удельной активности аэрозолей, газов и жидкостей.

Для более точных измерений активности препаратов и потоков частиц применяют *стационарные радиометры* (рис. 2.5), которые осуществляют дискретный счет попавших в детектор частиц и квантов (дифференциальные измерения).

Спектрометры - приборы и установки, предназначенные для определения энергии частиц, энергетического спектра, типа радионуклида; α -спектрометры, γ -спектрометры, β -спектрометры и комбинированные приборы.

Дозиметры (рентгенометры) – приборы, измеряющие экспозиционную и поглощенную дозы излучения или соответствующие

Индикаторы – простейшие измерительно-сигнальные приборы, позволяющие обнаружить факт наличия излучения и ориентировочно оценить некоторые характеристики излучений. Детекторами в них чаще всего являются газоразрядные счетчики.

Радиометры – это приборы с газоразрядными, сцинтилляционными счетчиками и другими детекторами, предназначенные:

- для измерения активности радиоактивных препаратов и источников излучения,

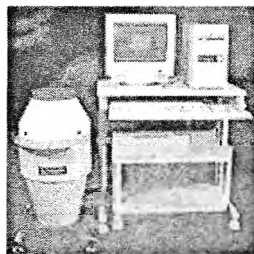


Рис. 2.5. Стационарный радиометр

мощности доз. Дозиметры состоят из трех основных частей: детектора, радиотехнической схемы, усиливающей ионизационный ток, и регистрируемого (измерительного) устройства. По характеру применения дозиметры делятся на стационарные, переносные (рис. 2.4) и приборы индивидуального дозиметрического контроля.

а) *Рентгенометры-радиометры* используют для определения уровня радиации на местности и загрязнённости радионуклидами различных объектов и их поверхностей. К ним относится измеритель мощности дозы ДП-5В (А, Б) – базовая модель. На смену этому прибору пришёл ИМД-5. Для подвижных средств создан бортовой рентгенометр ДП-3Б, измерители мощности дозы ИМД-21, ИМД-22. Это основные приборы радиационной разведки.

б) *Дозиметры* для определения индивидуальных доз облучения. В эту группу входят: дозиметр ДП-70МП, комплект индивидуальных измерителей доз ИД-11.



Рис. 2.6. Бытовой дозиметрический прибор

в) *Профессиональные и бытовые дозиметрические приборы*. Первые имеют целый ряд принципиальных преимуществ, однако весьма дороги (в десять и более раз дороже бытового дозиметра). Радиометры для измерения активности радона бывают только в профессиональном исполнении.

подавляющее большинство дозиметров являются *прямо показывающими*, т.е. с их помощью можно получить результат сразу после измерения. Существуют и *непрямо показывающие дозиметры*, не имеющие никаких устройств питания и индикации, исключительно компактные (часто в виде брелока). Их предназначение – индивидуальный дозиметрический контроль на радиационно опасных объектах и в медицине. Считывать его показания можно только с помощью специальной стационарной аппаратуры.

Дозиметры бывают *беспороговые* и *пороговые*. Последние позволяют обнаружить только превышение нормативного уровня радиации по принципу "да-нет" и благодаря этому они просты и надежны в эксплуатации, стоят дешевле беспороговых примерно в 1,5 - 2 раза. Как правило, беспороговые дозиметры можно эксплуатировать и в пороговом режиме.

Бытовые дозиметры, в основном, различаются по следующим параметрам (рис. 2.6):

- типу регистрируемых излучений - только γ , или γ и β ;
- типу блока детектирования - газоразрядный счетчик (также известен как счетчик Гейгера) или сцинтилляционный кристалл / пластмасса;
- количеству газоразрядных счетчиков, варьирующих от 1 до 4-х;
- размещения блока детектирования - выносной или встроенный;
- наличия цифрового и/или звукового индикатора; времени одного измерения - от 3 до 40 секунд;
- наличия тех или иных режимов измерения и самодиагностики; габариту и весу;
- цене продажи, зависящей от комбинации вышеперечисленных параметров.

Широкое использование бытовых дозиметрических приборов началось после аварии в Чернобыле. Связано это с тем, что радионуклиды выброшенные из четвёртого энергоблока Чернобыльской АЭС осели и выпали во время дождя на огромной площади нашей республики (свыше 46 тыс. км²). Чтобы *решить проблему информированности населения о радиационной обстановке* в месте проживания или нахождения, включая и оценку радиоактивного загрязнения продуктов питания и кормов, рекомендуется широко использовать бытовые дозиметры.

Бытовые приборы для населения представляют собой особый класс приборов, предназначенных для оценки населением *радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях и других местах*. Ими можно оценить *загрязнение продуктов питания и воды*. Оценка радиоактивного загрязнения (удельной или объемной активности) продуктов питания и воды проводят *методом прямого измерения* на расстоянии 1-5 см от исследуемого объекта массой не менее 1 кг или объемом не менее 1 л по разности результатов измерений излучения от объекта и радиационного фона.

Они дают возможность специалистам и населению измерить мощность дозы в том месте, где этот дозиметр находится (в руках человека, на грунте и т.д.) и проверить тем самым на радиоактивность подозрительные предметы. Поэтому индивидуальный дозиметр поможет, прежде всего, тем, кто часто бывает в районах, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, может быть полезен при

сборе ягод и грибов, при выборе места для строительства дома, для проверки привозного грунта при ландшафтном благоустройстве и др. работах.

Для оценки загрязнённости используются десятки бытовых дозиметрических приборов, из которых наиболее удачными моделями следует считать приборы типа ДРГ-0,1-Т «Белла» и «Сосна». Диапазон их измерения колеблется от 10 до 10000 мкР/ч. В качестве детекторов в них используются от одного-двух до четырех газоразрядных счетчиков СБМ-20. Они легко регистрируют цезий-137, испускающий γ – кванты и β -частицы. Питание приборов осуществляется от элементов типа «Крона», А-316.

ВНИМАНИЕ! В лаборатории во всех приборах вместо элемента питания «Крона» используется выпрямитель, включаемый в сеть 220 В.

3.3. Радиационный фон

Различают просто *фон* - мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения в данном месте и в данное время и *естественный радиационный фон* - мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения, создаваемая рассеянной радиоактивностью земной коры и проникающим космическим излучением, т.е. всеми природными источниками ионизирующего излучения.

Уровень радиационного фона позволяет оценить радиационную обстановку во время измерения ионизации за определенный интервал времени, мощность экспозиционной дозы, выражающуюся в микроРентгенах/час (мкР/ч).

1) *Естественный радиационный фон* создаётся ионизирующим излучением природных источников земного и космического происхождения, существующий везде и всюду, как кислород в воздухе. Слабая (фоновая) радиация окружает нас повсеместно с древнейших времен (табл. 2.1).

Космические лучи (открыты в 1912 г. австрийским физиком В. Гессом) состоят на 92% из быстрых протонов, на 7% - из ядер гелия (α -частиц) и на 1% - из ядер лития, бериллия, азота, углерода, кислорода, фтора и др. Это первичное космическое излучение. В результате взаимодействия последнего с атомами и молекулами атмосферы образуется вторичное космическое излучение, состоящее,

в основном, из электронов, нейтронов, мезонов и γ -квантов. До поверхности земли долетают μ -мезоны и (в меньшей степени) нейтроны. Они и являются источником облучения всего живого на Земле.

Таблица 2.1

Среднегодовые эффективные эквивалентные дозы облучения человека за счёт всех источников излучения (в мкЗв)

Радиационный фон	Доза облучения человека, мкЗв
Естественный радиационный фон - соответствует мощности экспозиционной дозы в 20-25 мкР/час	2250
Технологически изменённый естественный радиационный фон:	
- естественные радионуклиды в стройматериалах, воздухе помещений	1400
- минеральные удобрения	0,15
- угольные электростанции	2,0
Искусственный радиационный фон:	
- АЭС	0,17
- испытания ядерного оружия	25
- медицинская диагностика и лечение	1400
Суммарная доза облучения от всех источников - (или 5,09 мЗв или 509 мбэр)	5090

В результате взаимодействия космических лучей с атомами и молекулами атмосферы, литосферы и биосферы постоянно образуются космогенные радионуклиды. Из 20 известных космогенных радионуклидов наиболее значимыми являются углерод-14 (^{14}C - $T_{1/2}$ 5730 лет) и тритий (^3H - $T_{1/2}$ 12,35 лет), как изотопы основных био-

генных элементов. Поток космических лучей у поверхности земли равен примерно 1 частица/см² в одну секунду. Они облучают человека в дозе 300 микрозиверт (мкЗв) в год.

Таблица 2.2

Природные и техногенные источники ионизирующего излучения

Источники	Средняя годовая доза		Вклад в дозу (%)
	мЗв	мбэр	
Космос (излучение на уровне моря)	0,32	32	13,011
Земля (грунт, вода, строительные материалы)	0,5- 1, 68	50 - 168	69,186
Техногенные источники, в т.ч.:	0,421 мЗв		17,39
-медицинские обследования и лечение;	0,4 мЗв	40	16,522
-радиоактивные осадки;	0,02 мЗв	2	0,826
-атомная энергетика;	0,001 мЗв	0,1	0,041
-радиоактивные элементы, содержащиеся в теле человека	0,30	30	15,1

Земное излучение создаётся радионуклидами, находящимися в грунте (граниты, глинозёмы, песчаники, известняки), воздухе, воде, продовольствии и теле человека или животных. Из не распавшихся к настоящему времени сохранились 23 радионуклида, сроки жизни которых сопоставимы с возрастом Земли. Этими радионуклидами являются: долгоживущие (изотопы семейства урана-238, период полураспада ($T_{1/2}$) - $4,47 \cdot 10^9$ лет; урана-235, $T_{1/2}$ - $7,04 \cdot 10^8$ лет; тория-232, $T_{1/2}$ - $1,41 \cdot 10^{10}$ лет). К ним относятся и короткоживущие (изото-

пы радия и радона - $T_{1/2}$ от 3,92 с до 14,8 суток), а также долгоживущие одиночные радионуклиды, не образующие семейств (калий-40, $T_{1/2}$ - $1,28 \cdot 10^9$ лет; рубидий-87, $T_{1/2}$ - $4,7 \cdot 10^{10}$ лет). Последние изотопы являются одними из главных источников природной радиации, от которых нет способа избавиться.

По мере распада перечисленных выше радионуклидов образуются ещё 40 радиоизотопов. Принято считать, что поверхностная активность природных радионуклидов (калий-40 + 14 радионуклидов семейства урана-238 + 10 нуклидов семейства тория-232) составляет $1777-6500$ кБк/м². *Основными видами ионизирующего излучения земного происхождения являются γ -, β - и α -излучения.* Земные источники ответственны в среднем за 5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы (300-600 мкЗв в год), получаемой человеком, в основном, вследствие внутреннего облучения (табл. 2.2).

Относительную степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз от природных источников излучения:

- менее 2 мЗв/год - облучение не превышает средних значений доз для населения страны от природных источников излучения;
- от 2 до 5 мЗв/год - повышенное облучение;
- более 5 мЗв/год - высокое облучение.

2) *Радиоактивный фон* в помещении представляет собой технологически изменённый естественный радиационный фон. Это значит, что в помещении наряду с естественным фоном земли на человека воздействуют источники ионизирующего излучения, претерпевшие изменения в результате деятельности человека. Такими источниками являются радионуклиды строительных материалов, воздуха, воды и продуктов питания, куда они поступили из полезных ископаемых, песка, глины, минеральных удобрений, органического топлива, и др., извлекаемых человеком из земли.

Дома, в которых живут и работают люди, с **одной стороны, защищают их от внешних радиационных облучений**, а с другой - *увеличивают общую дозу облучения за счет радионуклидов, которые содержатся в строительных материалах, и радона, который также находится внутри помещений.* В деревянных домах мощность радиационной дозы в два-три раза меньше, чем в каменных или бетонных. А в домах, построенных из шлакоблоков, мощность радиационной дозы, как правило, в десятки раз больше, чем в деревянных.

ТИПИЧНЫЕ значения фона на улице (открытой местности) в г. Минске - 8 - 12 мкР/час, в помещении - 15 - 20 мкР/час. Чернобыльская авария добавила к этому еще 0,2 мЗв (20 мбэр). Уровень свыше 0,6 мкЗв/ч (60 мкбэр/ч) считается повышенным. На эти значения население и должно ориентироваться, пользуясь бытовыми приборами.

Радон, действующий на человека, находящегося в помещении, является промежуточным радиоактивным элементом, возникающим при распаде урана и тория. Это α -излучатель. Он имеет три изотопа:

Таблица 2.3

Значения мощности эквивалентной дозы, используемой при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения

Категория облучаемых лиц	Назначение помещений и территорий	Продолжительность облучения часов в год	Проектная мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч
Персонал	Помещения постоянного пребывания персонала	1700	6,0
	Помещения временного пребывания персонала	850	12
Население	Любые другие помещения и территории	8800	0,06

^{219}Rn (актинон) – производное урана (^{235}U); ^{220}Rn (торон) – производное тория (^{232}Th); ^{222}Rn (радон) – производное урана (^{238}U). Наибольшую значимость имеют ^{220}Rn и ^{222}Rn . Образование их зависит от концентрации в горных породах, особенно в гранитах ^{228}Ra и ^{226}Ra . Они вносят существенный вклад в облучение человека в помещении.

При проектировании строительства здания предусматриваются меры защиты от внешнего ионизирующего излучения с учётом следующих нормативов (табл. 2.3).

Радон - инертный газ, не имеет вкуса и запаха, он в 7,5 раза тяжелее воздуха. Из почвы, где образуется этот газ, он поступает в атмосферу. На открытом воздухе радон быстро рассеивается. В закрытых помещениях, куда радон может поступать из подвалов и подпольного пространства, из строительных материалов, природного газа и воды, радон может накапливаться в больших концентрациях, представляющих опасность для человека (рис. 2.7).

Радон и продукты его распада попадают в организм человека при *дыхании через лёгкие*, где задерживаются почти 100% радиоактивных продуктов его распада. При дыхании человека в лёгкие поступает сутки около 20 м³ воздуха. Даже при ничтожном содержании радона в воздухе, в легких накапливаются значительные количества радиоактивных продуктов его распада, которые вызывают развитие различных легочных заболеваний и, в частности, рака.

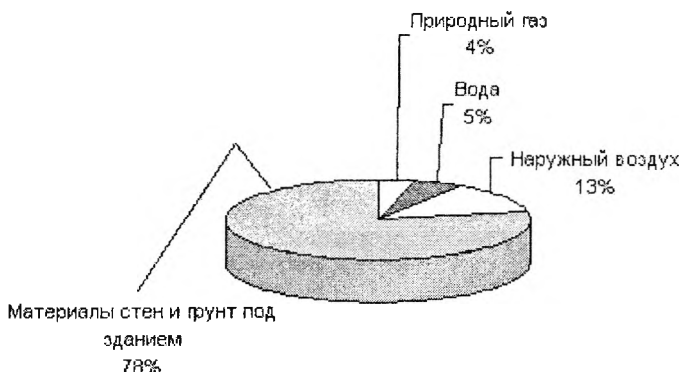


Рис. 2.7. Источники поступления радона в помещение

В соответствии с действующими нормативными документами, *при выборе участков территорий под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения предпочтительны участки с уровнем мощности дозы γ -излучения, не превышающими 0,3 мкГр/ч и плотностью потока радона с поверхности грунта не более 80 мБк/(м² • с).* Для строительства зданий производственного назна-

чения выбирается территория, где плотность потока радона с поверхности грунта не превышает 250 мБк/(м²•с). В новых жилых домах содержание радона не должно превышать 100 Бк/м³, в старых домах - допускается до 200 Бк/м³, но если его содержание превышает 400 Бк/м³, то жильцы должны быть переселены (при содержании радона в жилом доме 100 Бк/м³ жильцы его за счет радона получают среднегодовую эффективную эквивалентную дозу облучения 0,61 сЗв/год).

3) *Искусственный радиационный фон Земли* создаётся продуктами ядерного деления урана и плутония при испытаниях ядерного оружия и выбросами радионуклидов АЭС, промышленными и энергетическими реакторами. Такой же вклад вносят также *искусственные (антропогенные) источники радиационного облучения, созданные в результате хозяйственной деятельности человека*. Они используются: в медицине, при производстве электро- и тепловой энергии, для сигнализации о пожарах и изготовления светящихся циферблатов часов, многих приборов поиска полезных ископаемых и в военном деле и др. Вклад отдельных источников в облучение человека представлен на рис. 2.8 и в табл. 2.4.

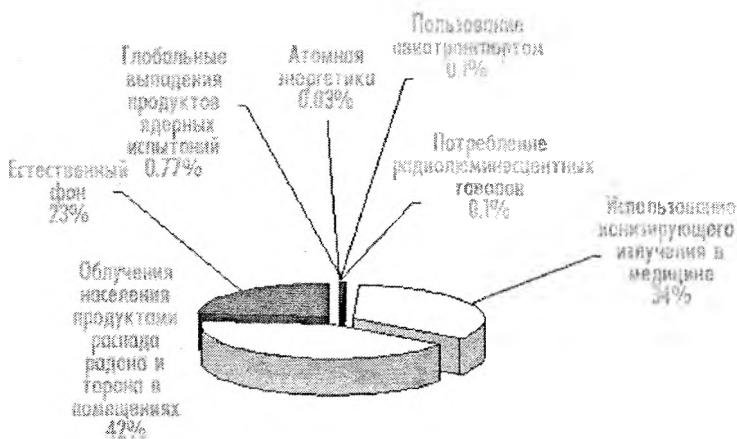


Рис. 2.8. Источники ионизирующей радиации

Если мощность дозы облучения превышает:

- 1,2 мкЗв/ч (120 мкбэр/ч), рекомендуется удалиться с данного места или находиться на нем не более шести месяцев в год;

- 2,5 мкЗв/ч (250 мкбэр/ч), пребывание следует ограничить тремя месяцами в год;
- при превышении 7 мкЗв/ч (700 мкбэр/ч) – одним месяцем.

Таблица 2.4

**Искусственные источники излучения
(оценка средних годовых доз)**

Источник	Годовая доза		Доля природного фона, % (до 200 мбэр)
	мбэр	мЗв	
Медицинские приборы (флюорография -370 мбэр, рентгенография зуба - 3 бэра, рентгеноскопия легких – 2-8 бэр)	100-150	1,0-1,5	50-75
Полеты в самолете (расстояние 2000 км, высота 12 км) - 5 раз в год	2,5-5	0,02-0,05	1,05-2,5
Телевизор (просмотр программ по 4 ч в день)	1	0,01	0,5
АЭС	0,1	0,001	0,05
ТЭЦ (на угле) на расстоянии 20 км	0,6-6	0,006-0,06	0,3-3
Глобальные осадки от испытания ядерного оружия	2,5	0,02	1
Другие источники	40	-	-
Итого:	150-200 мбэр/год		

3.4. Загрязнение радиоактивное

Присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте, в количестве, превышающем установленные уровни, принято называть радиоактивное загрязнение. Допускается использовать материалы

только при условии низкого уровня содержания в них радионуклидов. Критерием для принятия решения о возможном применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий, содержащих радионуклиды, является ожидаемое создание ими индивидуальной годовой эффективной дозы облучения не выше 10 мкЗв. При этом годовая коллективная эффективная доза не должна быть более 1 человеко-зиверта.

Специального разрешения на использование и последующего радиационного контроля требуют сырье, материалы и изделия:

- с удельной β -активностью от 0,3 до 100 кБк/кг,
- с удельной α -активностью от 0,3 до 10 кБк/кг,
- с содержанием трансурановых радионуклидов от 0,3 до 1,0 кБк/кг,
- создающие мощность дозы γ -излучения от 0,2 до 1,0 мкГр/ч над фоном.

Предназначенные для дальнейшего использования по прямому назначению материалы и изделия, загрязненные радиоактивными веществами выше указанных уровней подлежат дезактивации («освобождению» от радионуклидов). В противном случае они направляются на захоронение в специальные места захоронения промышленных отходов.

Загрязнение местности и предметов β -излучающими веществами обычно измеряют как поток радиационного излучения в част./($\text{с}\cdot\text{м}^2$); ($1 \text{ част./}(\text{с}\cdot\text{м}^2) = 1 \text{ расп./}(\text{с}\cdot\text{м}^2) = 1/(\text{с}\cdot\text{м}^2) = 1 \text{ (Бк/м}^2)$).

Поток радиационного излучения - отношение числа ионизирующих частиц (фотонов), проходящих через площадь данной поверхности (м^2 , см^2) за определённый интервал времени, в табл. 3 - это одна мин.

Загрязнённой считается почва такой территории, активность радионуклидов в которой превышает: - для Sr-90 + Y-90 - 40 част./($\text{см}^2\cdot\text{мин}$).

- по цезию-137 - уровень 37 кБк/м²,
- по стронцию-90 - уровень 5,6 кБк/м²,
- плутонию-238, 239 и 240 - уровень 0,74 кБк/м².

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част./(см²·мин.)

Объект загрязнения	α-активные нуклиды*		Бета-активные нуклиды
	Отдельные**	Прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелые, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200***
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10000

*Примечания:** Для поверхности рабочих помещений и оборудования, загрязненных α-активными радионуклидами, нормируется снимаемое (нефиксированное) загрязнение; для остальных поверхностей - суммарное (снимаемое и неснимаемое) загрязнение.

** К отдельным относятся α-активные нуклиды, среднегодовая допустимая объёмная активность которых в воздухе рабочих помещений ДОА < 0,3 Бк/м³.

*** Установлены следующие значения допустимых уровней загрязнения кожи, спецбелья и внутренней поверхности лицевых частей средств индивидуальной защиты для отдельных радионуклидов:

Регионы, подвергшиеся загрязнению радионуклидами выше указанного уровня, называются контролируемыми территориями. Изменение показаний при измерении продуктов питания и воды до уровня 3,7 кБк/кг (10^{-7} Ки/кг, Ки/л) соответствует примерно 10-15 мкР/ч и наоборот.

При превышении уровня, соответствующего радиоактивному загрязнению продуктов питания в 3,7 кБк/кг, рекомендуется отказаться от их потребления или ограничить потребление вдвое по сравнению с обычным рационом. Это весьма грубая оценка загрязнения пищевых продуктов. Более точная характеристика загрязнённости пищевых продуктов и питьевой воды радионуклидами цезия-137 и стронция-90 даётся в Республиканских допустимых уровнях (РДУ-2001), представленной в табл. 4.2 на стр. 78-79.

3.5. Устройство бытовых дозиметров

«Белла» – индикатор внешнего гамма-излучения. Оперативно оценивает радиационную обстановку в бытовых условиях, определяет уровень мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Диапазон измерения мощности прибора составляет 0.20 - 99,99 мкЗв/ч; основная погрешность измерения - 30%; время измерения - 45 с.

Органы управления прибора табло, индикаторы, крышка отсека батарейного питания расположены на боковой части корпуса и передней панели. На верхней боковой поверхности расположены лампочка индикатора напряжения элемента питания и кнопка КОНТР. ПИТАНИЯ. Прибор имеет два режима работы. В режиме ПОИСК прибор служит для грубой оценки радиационной обстановки: прибор ведёт счёт импульсов от счетчика прибора и подает звуковые сигналы. В режиме ИЗМЕРЕНИЯ мощности эквивалентной дозы прибор считает импульсы от счётчика прибора. По окончании счёта, время которого определяется внутренним таймером, на цифровом табло индуцируется число, соответствующее мощности эквивалентной дозы γ -излучения в мкЗв/ч.

Бета-гамма радиометр «Сосна» предназначен для индивидуального контроля населением радиационной обстановки. Позволяет осуществлять в бытовых условиях индивидуальный радиационный контроль окружающей среды:

- измеряет мощность эквивалентной дозы гамма-излучения;
- плотность потока β -излучения с загрязненных радионуклидами поверхностей;
- удельную активность β -излучений радионуклидов в веществах (продуктах, кормах).

Измерение можно производить как в районах с естественным радиационным фоном, так и в районах, загрязненных долгоживущими нуклидами, а также в местах размещения радиационно-опасных объектов и на объектах народного хозяйства, где используются источники γ -излучения.

Диапазоны измерений: мощности экспозиционной дозы - 0.01-9,99 мР/ч; измерения плотности потока β -излучения - 10-5000 част/см² мин; измерения объемной активности растворов (по изотопу Cs-137) = 10^{-7} - 10^{-6} Ки/л. Время измерения - 20 ± 5 с.

Корпус прибора состоит из 2-х частей, соединенных между собой винтами. В *верхней части* на лицевой панели расположены органы управления и индикации, отсек элемента питания с крышкой. Внутри верхней части корпуса размещены 2 печатные платы. В *нижней части* корпуса расположена плата с установленными на ней счетчиками излучений. К нижней части корпуса крепится поворотная задняя крышка, являющаяся экранирующим фильтром. Между датчиками и задней крышкой установлена тонкая пленочная прокладка.

При установке переключателя режимов работы в положение "МД", в приборе работает внутренний таймер, который через заданное время прекращает счёт импульсов. Импульсы возникают при попадании ионизирующих частиц в рабочие объемы счетчиков.

При установке переключателя режимов работы в положение "Т", таймер прибора не работает. Время счета импульсов контролируется по часам. На цифровом табло индуцируется количество импульсов на заданный период времени.

Схема сигнализации выдает звуковой сигнал по окончании времени измерения, если переключатель режима работы находится в положении "МД" и короткий звуковой сигнал при прохождении каждого десятого импульса, если переключатель режима работы находится в положении "Т".

3.5.1. Проверка работоспособности приборов «Белла» Включить прибор: выключатель питания переведите в положение "ВКЛ". Включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Постоянный звуковой сигнал требует установить новый элемент питания.

«Сосна» Проверить исправность электронной пересчетной схемы и таймера прибора. Перевести переключатель режима работы в положение "МД", нажать кнопку "КОНТР" и удерживать ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, а затем кратковременно нажать кнопку "ПУСК". На цифровом табло должны появиться три точки между цифровыми знаками и начаться отсчет чисел. Через 20 ± 5 с отсчет чисел заканчивается, звучит короткий звуковой сигнал, а на табло появится число. Например, 1.024.

После окончания отсчета отпустить кнопку "КОНТР". Если полученное число отличается от 1.024, то прибор считается неисправным.

Проверить исправность преобразователя напряжения и счетчиков. Установить переключатель режима работы в положение "МД" и нажать кнопку "ПУСК". После окончания измерения на табло должно появиться число, по величине близкое к естественному фону гамма-излучения, но не меньше 0.005. В противном случае прибор считается неисправным.

ВНИМАНИЕ! Приборы включать только перед непосредственным измерением. В остальное время приборы должны быть выключены. Необходимо оберегать приборы от ударов и механических повреждений. Особую осторожность соблюдать при замерах с открытой задней крышкой, чтобы не повредить тонкую защитную пленку, закрывающую счетчики прибора.

3.5.2. Подготовка приборов к работе. Перед включением прибора **ВНИМАТЕЛЬНО** ознакомьтесь с устройством приборов, руководством по их эксплуатации, с порядком подготовки к работе.

1. **Включить прибор «Белла».** На цифровом табло высвечиваются нули и точки после каждого разряда - 0. 0. 0. 0. Измерение мощности эквивалентной дозы длится 40 с. Затем точки исчезнут, и останется только одна, фиксирующая показания в мкЗв/ч, например, - 0,15. Показания на табло будут сохраняться в течение 40 с, после чего они автоматически сбросятся, и начнется следующее измерение. Измерение можно начать, не дожидаясь 40 с. Для этого необходимо нажать кнопку **КОНТР. ПИТАНИЯ.**

2. «Сосна». Проверить, выключен ли прибор, закрыта ли задняя крышка прибора. Перевести переключатель режима работы в положение "МД". Включить прибор. Нажать кнопку "ПУСК", на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда 0.0.0.0. и начаться счет импульсов. Через 20 ± 5 с измерение закончится, что сопровождается звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной точкой, например, 0.012.

Это показание прибора и будет соответствовать мощности экспозиционной дозы γ -излучения, измеренной в мР/ч. Измерения провести 5 раз. Полученные значения записать в табл. 2.6. Рассчитать среднее значение. Перевести среднее значение в мкР/ч. Перевести полученное значение мкЗв/ч на приборе Белла в мкР/ч. Для этого следует вспомнить (лабораторная работа № 1), что для γ -излучения $1 \text{ Зв} = 114,5 \text{ Р}$. Сделать вывод о соответствии полученного значения мощности экспозиционной дозы естественному фону. Сравнить величину естественного фона, полученного на приборах «БЕЛЛА» и «СОСНА».

Таблица 2.6

Измеренная мощность дозы

Прибор	Число измерений						
	1	2	3	4	5	Среднее значение показаний прибора	Среднее значение замеренной величины в мкР/ч
Белла (мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч)							
Сосна (мощность экспозиционной дозы, мР/ч)							

По результатам измерений сделать заключение об уровне естественного радиационного фона в данной аудитории (нормальный естественный радиационный фон для Минска составляет 10 - 20 мкР/ч).

3.5.3. Измерение плотности потока β -излучения с загрязненных поверхностей. Проверить, закрыта ли задняя крышка прибора.

1. Перевести переключатель режима работы в положение "МД".

2. Положить прибор плоскостью закрытой задней крышки на исследуемую поверхность.

3. Включить прибор. Нажать кнопку ПУСК.

4. Показания прибора (число импульсов γ -излучения N_γ) занести в табл. 2.7. Измерения провести не менее 3-х раз. Осторожно открыть заднюю крышку прибора.

5. Выполнить измерение с открытой задней крышкой аналогично пункту 3. Показание прибора (суммарное число импульсов γ - + β -излучения и отдельно - N_γ) занести в табл. 2.7. Измерения провести не менее 3-х раз.

6. Выключить прибор.

7. Закрыть заднюю крышку прибора.

8. Рассчитать средние значения для N_γ и $N_{\gamma+\beta}$. Данные занести в табл. 2.7.

9. Вычислить величину плотности потока β -излучения с поверхности по формуле:

$$q = K_s \cdot (N_{\gamma+\beta} \text{ ср} - N_\gamma \text{ ср.}), \text{ част./}(\text{см}^2 \cdot \text{мин}),$$

где $N_{\gamma+\beta}$ ср и N_γ ср. - средние значения показаний прибора с открытой и закрытой задней крышкой (число импульсов соответствует числу радиоактивных распадов в исследуемом веществе). Коэффициент счета прибора K_s равен 0.5 част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$).

Значения числа импульсов подставляются в формулу без учета точки на табло. Например, если показания на табло 0,040, то в формулу необходимо подставить значение 40. Полученные значения плотности β -потока исследуемой поверхности сравнить с допустимыми по табл. 2.5.

3.5.4. Оценка удельной активности радионуклидов в пробах.

1. Взять чисто вымытую сухую кювету.

2. Установить переключатель режима работы в положение "Т".

3. Открыть заднюю крышку прибора.

4. Включить прибор.

5. Подготовить часы или секундомер для фиксации времени измерения.

Таблица 2.7

Исследуемая поверхность	Показание табло (имп.)				Среднее значение	Плотность потока исследуемой поверхности
	$N\gamma$					
	$N\gamma$					
	$N\gamma+\beta$					
	$N\gamma$					
	$N\gamma+\beta$					
	$N\gamma$					
	$N\gamma+\beta$					

6. Установить прибор на пустую кювету и выполнить измерение исследуемого вещества. Время измерения $t = 10$ мин. Показания прибора N_{ϕ} занести в табл. 2.8.

7. Установить прибор на кювету с исследуемым веществом.

8. Нажать кнопку "ПУСК". Провести исследование аналогично пункту 6. Через $t = 10$ мин ± 5 с нажать кнопку "СТОП". Показания прибора ($N_{\phi}+n$) занести в табл. 2.8.

9. Выключить прибор. Снять его с кюветы и закрыть заднюю крышку.

Таблица 2.8

Исследуемая проба	Длительность измерения с пустой кюветой, мин (t_1)	Показание прибора с пустой кюветой, N_{ϕ}	Длительность измерения пробы, мин (t_2)	Показание прибора с пробой, $N_{\phi}+n$	Удельная активность пробы, А Бк/кг или Ки/кг

Примечание. В табл. 2.8 показания прибора записываются без учета знака, например, показание 0,525 записывают в таблице как 525. Если показания прибора более 1500 имп., то необходимо заметить кювету и повторить измерения.

10. Произвести оценку величины удельной активности радионуклидов в пробе по формуле

$$A = K_n(N_{\phi} + n_{пр.}/t_2 - N_{\phi}/t_1) \cdot B_{к}/кг (Ки/кг),$$

где K_n - коэффициент прибора, равен 300 при размерности Бк мин/(кг имп.), или $8 \cdot 10^{-9}$ Ки мин/(кг имп.).

11. Полученное значение активности пищевого продукта сравнить с РДУ – 2001 (см табл. 4.2, стр. 78-79). Сделать вывод о пригодности использования исследуемого образца.

Все расчёты следует производить с точностью до второго знака.

4. Выводы по выполненной работе

5. Вопросы к зачёту

1. Какие виды излучения присутствует в естественном радиационном фоне и почему?

2. Что называется радиоактивным загрязнением, чем оно создаётся и как измеряется?

3. Какие физические процессы характеризуют работу пропорциональных и газоразрядных счётчиков?

4. Какие антропогенные источники радиационного излучения существуют?

5. Что такое ядерный детектор, виды детекторов и принцип их работы?

6. Какие методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений известны?

7. Как устроены бытовые дозиметры и особенности их работы?

8. Дайте определение радиометрам и дозиметрам.

9. Для чего применяются приборы радиационной разведки и дозиметрического контроля?

10. Какие виды излучения присутствуют в естественном радиационном фоне на открытом воздухе и в помещении и почему?

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБ ПОЧВЫ

1. Цель работы — ознакомить студентов с загрязнённостью чернобыльскими радионуклидами почвы и окружающей среды, составом выброса из разрушенного во время катастрофы VI энергоблока Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), динамикой изменения радиационной обстановки на территории Беларуси, устройством и работой радиометром РКГ-01 «Алиот» при определении удельной активности радионуклидов в пробах почвы; применить на практике методику измерения удельной активности радионуклидов в почве из районов, пострадавших от аварии на ЧАЭС, а также и других районов Беларуси.

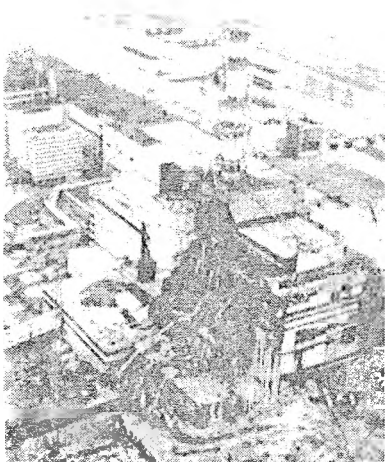
2. Порядок выполнения работы:

2.1. Изучить представленные методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачёту.

2.3. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Загрязнение радионуклидами почвы



Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 г. Она рассматривается как крупнейшая глобальная ядерная катастрофа прошедшего XX столетия. Взрыв и пожар на станции привели к выбросу из повреждённого ядерного реактора в атмосферу огромного количества радиоактивных материалов, состоящих из радиоактивных газов, аэрозолей, мелкодисперсных частиц топлива и конструкционных материалов. Обобщённые данные о составе радионуклидов в выбросах станции представлены в табл. 3.1.

Радиоактивному загрязнению подверглись огромные территории Республики Беларусь. Основная масса тугоплавких радионуклидов (^{90}Sr , 238 , 239 , 240 , ^{241}Pu и др.) выпала в 30-километровой зоне вокруг станции, интенсивно загрязнив её. За пределами этой зоны осели не только коротко живущие летучие радиоизотопы (радиоизотопы йода, благородные газы и др.), но и радионуклиды с большими сроками жизни, важными среди которых являются радиоизотопы цезия (134 , ^{137}Cs).

Таблица 3.1

Выброс радионуклидов во время аварии на Чернобыльской АЭС

Выброс	Радионуклиды	Количество $\cdot 10^{18}$ Бк
Суммарный	≈ 30	9,95
Благородные газы	Ксенон, криптон	5,3
Элементы с атомной массой ~ 130	Йод, теллур, цезий, барий, церий	2,04
Элементы с атомной массой ~ 90	Стронций, ниобий, молибден, цирконий	2,1
Уран и трансурановые элементы	Плутоний, нептуний, кюрий	0,5
Долгоживущие изотопы	Йод-129 ($T_{1/2}$ 15,7 млн.л.), трития ($T_{1/2}$ 12,3 г), углерода ($T_{1/2}$ 5,73 тыс. л)	0,01

В результате распространения радионуклидов в атмосфере и переноса их в водной среде в нашей республике сложилась после катастрофы на ЧАЭС довольно сложная радиационно-экологическая обстановка. Она характеризуется масштабностью и пятнистостью загрязнения.

3.1. Изменчивость радиационной обстановки. Спектр воздействующих на человека радионуклидов менялся трижды в течение развития радиационной послеаварийной обстановки.

В первые недели после аварии на ЧАЭС наибольшую радиационную опасность представляли летучие короткоживущие радионуклиды. Это, в основном, **изотопы йода, теллура, бария, лантана** и др. (^{131}I , ^{127}Te , ^{132}Te , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{99}Mo) - см. табл. 3.2.

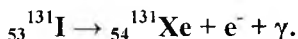
Таблица 3.2

Динамика радиационной обстановки после аварии на ЧАЭС

Период	Основные радионуклиды, определявшие (ющие) радиационную обстановку	Тип радионуклидов
I Апрель-июнь 1986 г.	Короткоживущие	^{131}I , ^{127}Te , ^{132}Te , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{99}Mo .
II Лето 1986-лето 1987 г.	Среднеживущие	$^{103, 106}\text{Ru}$, $^{141, 144}\text{Ce}$, ^{89}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{241}Pu .
III Лето 1987 г.– по настоящее время	Долгоживущие	^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$, ^{241}Am .

1. *Короткоживущие радионуклиды определяли радиационную обстановку в течение апреля-июня месяцев 1986 г.* В первые дни после аварии на ЧАЭС особенно высокой была концентрация в воздухе ^{131}I , находившегося в аэрозольной форме. ^{131}I — короткоживущий изотоп с периодом полураспада 8,14 дней, является β - и γ -излучателем. Дозовые нагрузки у человека за счёт радиоактивного йода сформировались в течение первых 2—3 мес. после аварии (радионуклид оказывал влияние на здоровье человека в течение 10-15 периодов своего полураспада).

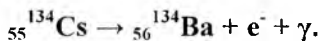
^{131}I имеет 19 радиоактивных и 1 стабильный изотопы с $M = 120-139$. При распаде он превращается в ксенон-131 с выделением электрона (средняя энергия – 203 кэВ) и γ -кванта с энергией 637 кэВ:



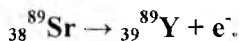
Поступает в организм йод-131 ингаляционным и алиментарным путём. В последнем случае - через биологическую цепочку: почва — растения — молочно-продуктивный скот — молоко - человек). Максимальное содержание радиойода в почве наблюдалось в период 28 апреля – 9 мая 1986 г. (сотни мкР/ч, зачастую выше 1 мР/ч). Попадая в организм, ^{131}I избирательно накапливался в щитовидной железе и создавал кратковременное локальное облучение дозой высокой мощности (более 200 рад/с).

Облучение щитовидной железы привело к нарушению образования в ней трёх гормонов: **тироксина, трийодтиронина и кальцитонина**. Два первых гормона контролирует процессы роста, созревания тканей и органов, обмен веществ и энергии; кальцитонин - один из факторов управления обменом кальция в клетках, участник процессов роста и развития костного аппарата. Следовательно, после воздействия ионизирующей радиации произошли нарушения этих процессов в организме, особенно у детей. Изменения в генетическом аппарате клеток щитовидной железы явились причиной развития в ней ракового заболевания. Число этих заболеваний, как у облучённых детей, так и у взрослых возросло в десятки раз.

2. По мере распада короткоживущих радионуклидов, радиационная обстановка стала определяться среднеживущими радионуклидами (лето 1986 - лето 1987 г.). Одним из его представителей является цезий-134 - $^{134}_{55}\text{Cs}$ ($T_{1/2} = 2,06$ года). При β - распаде его выделяется электрон (энергия 662 кэВ) и γ -квант с энергией 128 и 796 кэВ:



Другой представитель среднеживущих радионуклидов - стронций-89 ($^{89}_{38}\text{Sr}$) - $T_{1/2} = 51$ день. Излучая β - частицу с энергией 1,462 МэВ, он переходит в стабильный иттрий-89 - ^{89}Y .



3. Начиная с 1987 г. по настоящее время радиационная обстановка в Беларуси определяется долгоживущими радионуклидами: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am (см. табл. 3.2). Из перечисленного списка большее облучение человека в настоящее время осуществляет цезий-137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$).

Во-первых, им загрязнено почти 23% территории Беларуси.

Во-вторых, он является β - и γ -излучателем, $T_{1/2}$ у него = 30,2 года. Цезий имеет 20 радиоактивных и 1 стабильный изотоп. При β -распаде ${}_{55}^{137}\text{Cs}$ выделяется электрон (энергия 514 кэВ, макс. – 1,18 МэВ) и γ -квант (энергия – 661 кэВ), что способствует превращению его в стабильный изотоп бария:

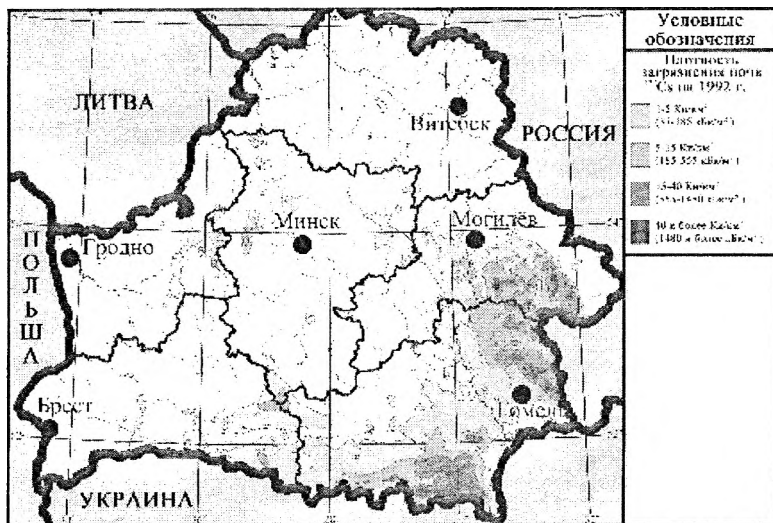
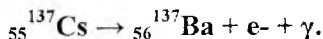


Рис. 3.1. Загрязнение территории Беларуси цезием-137

Цезий-137 попадает в организм, как правило, с *цельным молоком и мясом*, полученными в районах повышенного загрязнения. ${}_{55}^{137}\text{Cs}$ является аналогом калия, содержится преимущественно в крови и мышцах. Циркуляция его в организме и поступление туда по биологическим цепочкам определяют *постоянное воздействие ионизирующей радиации на внутренние органы человека в течение всей его жизни*. В районах, загрязненных цезием, формирование доз у жителей происходит сравнительно медленно. Поэтому *основным видом облучения на сегодняшний день является общее хроническое внутреннее облучение*.

Стронцием-90 (${}_{38}^{90}\text{Sr}$) загрязнено 10% территории Беларуси. Известны 12 радиоактивных изотопов стронция с $M = 81-83, 85, 89-96$.

Он испускает электрон с энергией 546 кэВ, превращаясь в иттрий-90 (${}_{39}^{90}\text{Y}$). Последний теряет электрон с максимальной энергией 2,27 МэВ и превращается в цирконий-90 (${}_{40}^{90}\text{Zr}$):

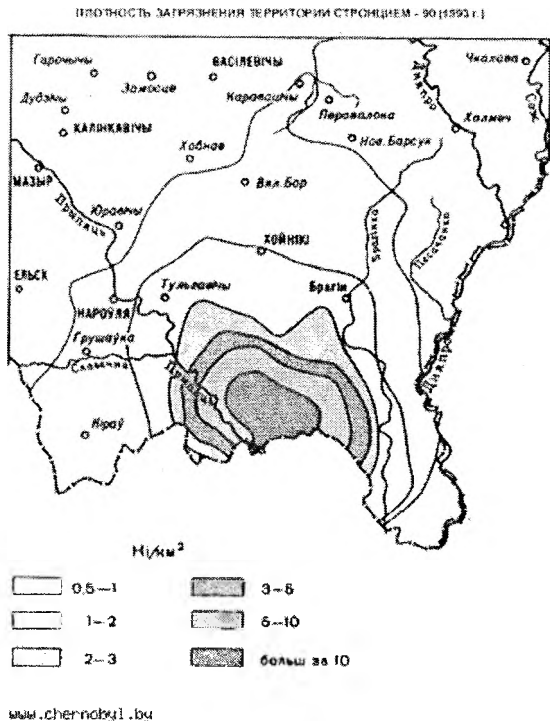
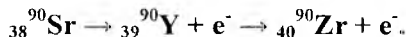


Рис. 3.2. Загрязнение территории Беларуси стронцием-90

Период полураспада стронция-90 и иттрия-90 составляют, соответственно, 29,12 лет и 64,8 часа.

Изотопы стронция накапливаются в костях скелета, в особенности в позвонках, зонах активного роста и перестройки костей. Вызывают *развитие опухолей*. Эффективный период полувыведения из скелета: ${}^{89}\text{Sr}$ – 50,4 дня, ${}^{90}\text{Sr}$ – $6,4 \cdot 10^3$ дней.

Плутоний-238, 239 и 240 распространились на 2% территории республики. ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ излучает α -частицы (энергия около 5 МэВ),

мягкое рентгеновское излучение с энергией 10-22 кэВ, γ -кванты – 380 кэВ и превращается в уран-238:

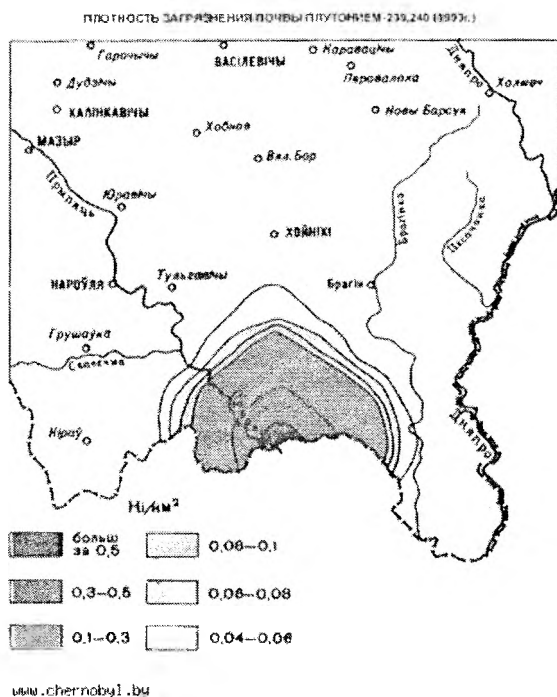
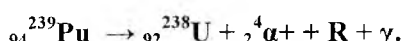


Рис. 3.3. Загрязнение территории Беларуси плутонием-239, 240

Период полураспада у ${}_{94}^{239}\text{Pu} = 24,38$ тыс. лет, у ${}_{92}^{238}\text{U} = 713$ млн. лет. Большой интерес представляет также плутоний-241, который испускает α - , β -частицы (122 и 524 кэВ), и γ -кванты (2,54 МэВ), превращаясь в америций-241. Образующийся америций более токсичный, с большим периодом полураспада, чем плутоний-241:



Период полураспада у ${}_{94}^{241}\text{Pu} - 14,4$ года, у ${}_{95}^{241}\text{Am} - 432$ года. Оба они накапливаются в костях, печени, лёгких. Вызывают развитие хронической анемии, остеопороза, рака костей, лёгких и др.

В зависимости от уровня загрязнения почвы долгоживущими радионуклидами территория нашей республики делится на зоны (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Зонирование территории республики по уровню радиоактивного загрязнения

Наименование зоны	Уровень загрязнения территории, кБк/м ² (Ки/км ²)		
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	^{238, 239, 240} Pu
Зона проживания с периодическим радиационным контролем	37-185 (1-5)	5,55-18,5	0,37-0,74
-«-« с правом на отселение	185-555 (5-15)	18,5-74	0,74-1,85
-«-« последующего отселения	555-1480 (15-40)	74-111	1,85-3,7
-«-« первоочередного отселения	>1480 (>40)	>111	>3,7
-«-« эвакуации (отчуждения)	Территория вокруг ЧАЭС, с которой в 1986 году было эвакуировано население		

3.2. Миграция радионуклидов в окружающей среде происходит в горизонтальном и вертикальном направлениях.

1) Горизонтальная миграция - радионуклиды разносятся ветром, водой во время лесных пожаров и пожаров торфяников, дикими животными, птицами и др.

2) Движущими силами вертикального перемещения (миграция) радионуклидов являются:

- конвективный перенос (фильтрация атмосферных осадков вглубь почвы);

- капиллярный перенос радионуклидов с влагой к поверхности в результате испарения;

- термоперенос радионуклидов с влагой под действием градиента температур;

- перенос по корневым системам растений;

- роющая деятельность почвенных животных;

- хозяйственная деятельность человека и др.

3.2.1. Распространение радионуклидов в воздухе, воде, почве.

В настоящее время концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе составляет, в среднем:

- для β -активных радионуклидов - $15,9 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³,
- для ^{137}Cs - $4,9 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³,
- для ^{90}Sr - $1,19 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³.

Во время ветрового подъема радиоактивной пыли с поверхности земли, либо пожара на загрязнённой территории в аномально жаркое и сухое лето наблюдают и более высокие уровни ^{137}Cs , ^{90}Sr и изотопов плутония в воздухе (пыль и дым пожара содержат все радиоактивные вещества, находящиеся в почве) (рис. 3.4).

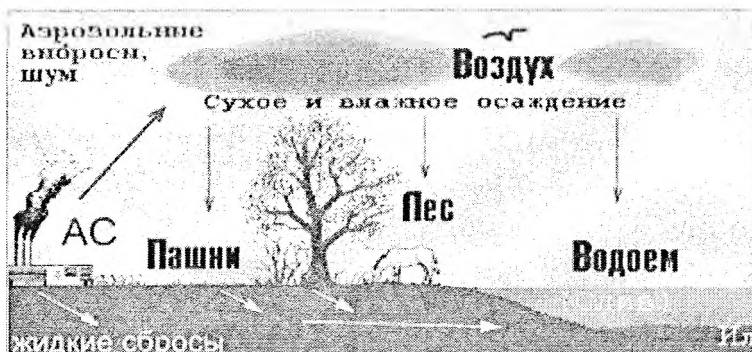


Рис. 3.4 Миграция радионуклидов в окружающей среде

3.2.2. *Оседание радионуклидов на почву и растения* вызывает загрязнение их снаружи. Радионуклиды частично проникают в листья и всасываются внутрь растения. Накапливаются в корнях, плодах и листьях культурных растений, в молоке и мясе домашних животных и с ними попадают в организм человека. Выпадения $\Sigma\beta$ из атмосферы составляют в настоящее время в среднем $1,4$ Бк/м² в сутки.

3.2.3. *Оседание радионуклидов на землю, здания, воду* является причиной:

1. Проникновения радионуклидов с поверхности почвы через корневую систему в растения.
2. Загрязнения радионуклидами поверхности зданий, сооружений, техники, транспорта, оборудования и других объектов.

3.2.4. Лесные массивы в зонах загрязнения аккумулировали значительное количество радиоактивных выбросов, поскольку лес является природным барьером на пути распространения радиоактивных аэрозолей ветровыми потоками воздуха.

3.2.5. Вдыхаются и проглатываются животными и человеком. Человек, вдыхая аэрозоли радионуклидов с воздухом и употребляя загрязнённую радиоактивными веществами воду, сельскохозяйственные продукты или продукты загрязнённых морей, рек и водоемов, подвергается радиоактивному облучению. Например, из-за попадания внутрь организма с пищей элемента земной коры - калия-40 (после аварии на ЧАЭС – также цезия-137, стронция-90 и изотопов плутония) повысилась радиоактивность человеческого тела, увеличилось внутреннее облучение человека.

3.3. Отбор проб почвы на полях и др. для анализа проводят методом конверта, с таким расчетом, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для слоя данного типа почвы. Изымаются 5 точечных проб с одной пробной площадки. Все взятые пробы перевозятся в лабораторию в стеклянной таре (вес которых не должен превышать 200 г.). Пробы берутся в течение суток с определением точных координат их взятия.

Для анализа проб используется радиометр РКГ-01 "АЛИОТ", который позволяет определять содержание цезия-137 (до 1987 г. - и цезия-134, к настоящему времени он почти распался) с автоматическим учетом в измеряемой пробе радионуклида калия-40 и сведения к минимуму его влияния на точность измерения.

4. Устройство и технические данные радиометра РКГ-01 "АЛИОТ"

Радиометр РКГ - 01 "АЛИОТ" предназначен для массового контроля наличия гамма - излучения в различных пробах.

4.1. Технические данные радиометра:

- диапазон регистрируемого фотонного ионизирующего излучения 0,5-3 МэВ с использованием блока детектирования на базе сцинтилляционного кристалла размером 40х40 мм;

- диапазон измерения удельной активности Бк/кг (Ки/кг) 18,5-37000 ($5 \cdot 10^{-10}$ – $1 \cdot 10^{-6}$).

Основная относительная погрешность в этом диапазоне измерений - не более 35%.

В радиометре предусмотрены:

- выдача звукового сигнала при времени измерения 300 с;
- автоматическое прекращение измерения при достижении статистической погрешности 15% с выдачей звукового сигнала.

4.2. Устройство радиометра. Радиометр состоит из электронного блока, блока детектирования, помещенного в защитное устройство и соединенного с электронным блоком кабелем.

Особенности конструкции радиационной защиты позволяют удобно расположить сосуд Маринелли с исследуемой пробой относительно блока детектирования. В основе работы блока детектирования лежит принцип преобразования энергетических потерь γ -квантов в чувствительном объеме сцинтилляционного детектора в электрические импульсы. Радиометр - двухканальный. Один канал (определение цезия) настроен на энергию в диапазоне 0,15-0,9 МэВ, второй (определение калия) - на энергию в диапазоне 0,9-1,6 МэВ.

Высокие требования к радиометру предъявляются необходимостью выдачи стабильных показаний за время непрерывной работы и значительным временем измерения на верхнем пределе диапазона измерений (порядка 2000 с) и обеспечиваются системой обратной связи по физическому реперу.

4.3. Назначение индикаторов и переключателей электронного блока. Передняя панель:

- цифровой 12-ти разрядный индикатор;
- ПУСК - разрешение начала измерений;
- СТОП - прекращение текущего измерения;
- ОБЪЕМ - ввод в радиометр сведений о геометрии измеряемой пробы;
- ЕДИН. ИЗМ. - ввод в радиометр требования оператора о единицах измерения, в которых необходимо выдать информацию об удельной активности исследуемой пробы;
- 0...9 - наборное поле для ввода десятичных цифр;
- В - ввод признака веса пробы в радиометр;
- Ф - клавиша, обеспечивающая вывод на индикацию активности пробы в калиевом канале;
- контрольный индикатор «РЕЖИМ».

На задней панели имеются разъем для подключения сетевого кабеля (220 в, 50 Гц), сетевой предохранитель (1 А), кнопка "ОБЩ. СБРОС" и тумблер "ВКЛ", который должен быть включен. Кнопка "ОБЩ. СБРОС" позволяет вывести контролер электронного блока из состояния "зависания" и может быть использована для повторного измерения фона. Тумблер СЕТЬ - включение и выключение радиометра.

4.4. Подготовка к работе. Порядок работы.

4.4.1. Включение прибора.

1. Включить радиометр тумблером "СЕТЬ" на задней панели прибора.

2. Выдержите радиометр во включенном состоянии 10 минут. Обратите внимание на контрольный индикатор «РЕЖИМ», он должен мигать.

4.4.2. Выбор типа кюветы.

Для любых видов продукции (жидкости, сыпучие и твердые пробы) используется сосуд Маринелли, который заполняется до метки, соответствующей 1 литру. Если объем пробы ограничен, то в мерный сосуд (0.5 литра) помещают исследуемую пробу, а затем ее переливают (пересыпают) в сосуд Маринелли.

4.4.3. Измерение фона γ -излучения.

1. Измерение фона следует начинать после установления рабочего режима радиометра. При измерении активностей проб с малой плотностью - кювету оставить пустой.

2. Кювету поместить в защитный домик. Нажать клавишу "ПУСК".

3. По окончанию измерения фона раздается звуковой сигнал и на табло появляются значения величин фона в цезиевом и калиевом окнах и статистическая погрешность определения скорости счета фона.

Измерение фона заканчивается либо по достижении заданной (записанной в памяти) точности, либо при нажатии клавиши "СТОП". Эти значения запоминаются и учитываются при последующих измерениях с данным типом кюветы.

ВНИМАНИЕ! ИЗМЕРЕНИЯ ФОНА СЛЕДУЕТ ПОВТОРИТЬ, ЕСЛИ:

- прибор перенесен в другое место;
- перерыв в работе составил несколько часов;

- имеются сомнения в результате измерения;

- меняется тип кюветы;

- произошло загрязнение защитной пленки или рабочего места.

Для повторного измерения фона необходимо нажать кнопку "ОБЩ. СБРОС" на задней панели прибора.

4.4.4. Определение удельной активности пробы.

1. Ввести вес пробы (в граммах) с помощью цифровых клавиш и клавиши "В".

2. С помощью клавиши "ОБЪЕМ" ввести геометрию измерения (1.0 л, 0.5 л или 0.1л).

3. Поместить кювету с исследуемым образцом в защитный домик. В случае ошибочного ввода можно повторить набор веса пробы после нажатия клавиши "В".

4. Начать измерение ОА (УА) можно путем нажатия клавиши "ПУСК", а на индикаторе слева появляются изменяющиеся значения активности радионуклидов цезия в пробе в единицах Бк/л (Бк/кг), а справа - абсолютное значение статической погрешности в тех же единицах измерения.

Таблица 3.4

Результаты собственных измерений

№ п/п	Наименование материала	Измеренная уд. активность Бк/кг (Ки/кг) по ^{137}Cs		Измеренная уд. активность Бк/кг (Ки/кг) по ^{40}K	
		Бк/кг	Ки/кг	Бк/кг	Ки/кг
	Фон				
	Проба № 1				
	Проба № 2				
	Проба № 3				
	и др.				

5. Измерения заканчиваются либо автоматически при достижении заданной погрешности, либо после нажатия кнопки "СТОП". При этом предусмотрена выдача звукового сигнала. Для получения результата удельной активности радионуклида нажать и удерживать клавишу "Ф".

6. После прекращения измерения пробы можно считать показания с цифрового индикатора, нажав клавишу "ЕДИН. ИЗМ.", получить результат измерения в Бк/кг (Ки/кг) и значение статистической погрешности в %.

7. Если дальнейшие пробы измеряются в той же геометрии, то необходимо установить в защиту сосуд Маринелли с новой пробой, ввести вес пробы и нажать клавишу "ПУСК".

8. Для выключения радиометра тумблер "СЕТЬ" перевести в положение "ВЫКЛ".

9. Полученные результаты записать в таблицу результатов измерения (табл. 3.4).

4.5. Обработка результатов измерения.

Удельная эффективная активность $A_{эфф}$ природных радионуклидов в почве, рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra226} + 1,31 A_{Th232} + 0,085 A_{K40} + 0,22 A_{Cs137},$$

где A_{Ra} и A_{Th} - удельная активность Ra-226 и Th-232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого ряда;

A_{K40} - удельная активность K-40 (Бк/кг).

Таблица 3.5

Результаты исследования естественных радионуклидов в почве (Бк/кг)

Вид материала	Радий 226	Торий-232
Для земной коры	33	39,0
Почва	25	28,0

Используя данные табл. 3.5 и результаты измерений для радионуклидов по ^{40}K и ^{137}Cs , рассчитать по формуле удельную эффективную активность $A_{эфф}$ исследуемых образцов почвы.

Все расчеты проводить с точностью до второго знака.

Сравнивая рассчитанные значения удельной эффективной активности ($A_{эфф}$) с нормой, равной 0, сделать вывод о возможности проживать на территории, где имеется такое загрязнение почвы.

5. Выводы по выполненной работе

6. Вопросы к зачёту

1. Какие радионуклиды Чернобыльского выброса были наиболее опасны для человека, животных, растений сразу после ядерной аварии?
2. Какие радионуклиды обуславливают радиационную обстановку Беларуси в настоящее время?
3. Как поступают радионуклиды в растения и организм животных и человека?
4. Какой в настоящее время превалирует механизм поступления радионуклидов в организм жителей Республики Беларусь?
5. Какие виды миграции радионуклидов существуют в настоящее время, их сущность?
6. Какой спектр радионуклидов попал в окружающую среду после катастрофы на Чернобыльской АЭС?
7. В чем разница понятий объемной и удельной активности? Как перестраивается радиометр АЛИОТ для измерения объемной или удельной активности?
8. Как отбираются пробы почвы для анализа радионуклидов?
9. Какие этапы характеризуют динамику радиозэкологической обстановки в нашей республике?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ β -РАДИОМЕТРОМ РУБ-01П1

1. Цель работы — ознакомить студентов с причинами и механизмами загрязнения продуктов питания в нашей республике, оценить пути поступления радионуклидов к человеку, коэффициентами перехода радионуклидов в продукты питания, изучить схему, принципы устройства β - радиометра РУБ-01П; освоить практику работы с прибором при определении удельной активности (Бк/кг) β -излучающих радионуклидов в продуктах питания.

2. Порядок выполнения работы:

2.1. Изучить настоящие методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачёту.

2.3. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Загрязнение радионуклидами продуктов питания

После того, как радионуклиды выпали на поверхность земли, происходит их *включение в биологические объекты*: траву, злаки, овощи, грибы и др., куда они поступают с водой и минеральными веществами из почвы (рис 4.1). Радионуклиды мигрируют к человеку *по цепочкам: почва-растение-человек*. Такая цепочка прохождения радионуклидов через промежуточные продукты питания к человеку называется *пищевой цепочкой радионуклида*.

Следует помнить, что растения обладают неодинаковой способностью накапливать радионуклиды. По *убывающей способности накапливать цезий-137* их можно расположить следующим образом:

- разнотравье заболоченных лугов,
- зеленая масса люпина,
- многолетние злаковые травы,
- зеленая масса рапса, клевера, гороха, вики,
- солома овса,

- зеленая масса кукурузы,
- зерно овса, ячменя,
- картофель,
- кормовая свекла,
- зерно озимой ржи и пшеницы.

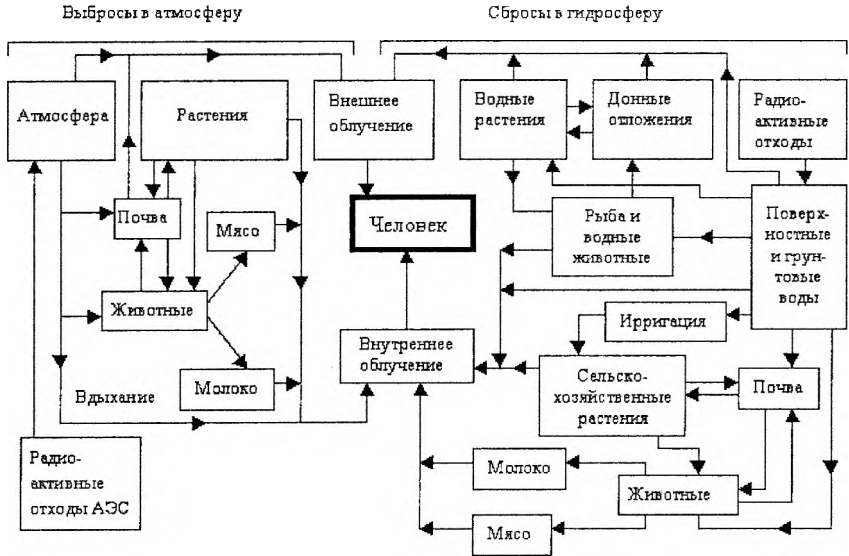


Рис. 4.1. «Пищевые цепочки» радионуклидов чернобыльского происхождения

По аналогичной способности, но по отношению к стронцию-90, растения располагаются иначе:

- зеленая масса клевера, люпина, гороха, рапса, вики, многолетних злаковых трав,
- солома ячменя,
- зеленая масса озимой ржи,
- кормовая свекла,
- зеленая масса кукурузы,
- солома овса, озимой ржи,
- зерно ячменя, овса, озимой ржи,
- картофель.

Существуют и другие пищевые цепочки:

- почва-растение-животное-молоко-человек,

- почва-растение-животное-мясо-человек,
в связи с чем повышается содержание радионуклидов в молоке,
овоцах, мясе и других видах сельхозпродукции.

Таблица 4.1

Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукты питания

Продукты	Коэффициент перехода (Бк/кг) / (кБк/м ²)	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко	0,2-3,7	0,1-0,4
Мясо (говядина)	1-4	0,2
Птица	1	0,6
Рыба *)	5	2
Хлеб ржаной	0,6-0,8	0,4
Хлеб пшеничный	0,5-0,6	0,3
Картофель	0,2-4,6	0,1-0,5
Капуста	1,5-2	0,5-0,6
Свёкла	3	0,6
Морковь	2	0,5
Яблоки	1,4	0,2-0,3
Грибы	60	1

*) На территории водосброса реки.

Продвигаясь по пищевым цепочкам, а также с питьевой водой, они попадают в организм животных, в том числе сельскохозяйственных; вместе с мясом и молоком животных радионуклиды проникают в организм человека. Повышение концентрации радионуклидов в биологических объектах по сравнению с содержанием радиоактив-

ные вещества в окружающей среде, в том числе и в почве, очень значительное. Соотношение между содержанием радионуклида в продуктах питания и в почве получило название коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в продукты питания (табл. 4.1).

В результате хлебобулочные изделия и мясо, например, имеют несколько большую радиоактивность, чем молоко, сметана, масло, кефир, овощи и фрукты. Так что на поступление радиоактивных элементов внутрь человека **влияет набор продуктов, которыми он питается**. Радиоактивные вещества проникают также и в водоемы из атмосферы или за счёт смыва с почвы. Попадая в реки, озёра, моря и океаны, радиоактивные вещества поглощаются водными растениями и животными как *непосредственно из воды*, так и из звена *пищевой цепи: вода-водоросли-рыба-человек*. Радиоактивные вещества переходят в зоопланктон, для которого водоросли служат пищей, а затем — в организм моллюсков, ракообразных, рыб. В результате загрязняются вода, загрязняются или гибнут рыбы и другие обитатели водоемов. *Организмы, которые накапливают те или иные радиоактивные вещества в особенно высоких концентрациях, называют «биоиндикаторами радиоактивного загрязнения»*; так, водоросль кладофора особенно интенсивно накапливает ^{91}Y , а моллюск большой прудовик — ^{90}Sr .

Для того, чтобы максимально ограничить поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания, в Беларуси введены республиканские допустимые уровни. В настоящее время действуют республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, утвержденные в 2001 году (РДУ-2001, табл. 4.2).

Таблица 4.2

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-2001)

Наименование продуктов	Ки/кг, Ки/л	Бк/кг, Бк/л
<i>Для цезия-137</i>		
Вода питьевая	$2,7 \cdot 10^{10}$	10
Молоко и цельномолочная продукция	$2,7 \cdot 10^9$	100

Наименование продуктов	Ки/кг,	Бк/кг,
Молоко сгущенное и концентрированное	$5,4 \cdot 10^{-9}$	200
Творог и творожные изделия	$1,4 \cdot 10^{-9}$	50
Сыры сычужные и плавленые	$1,4 \cdot 10^{-9}$	50
Масло коровье	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Мясо и мясные продукты, в том числе:		
говядина, баранина и продукты из них	$13,5 \cdot 10^{-9}$	500
свинина, птица и продукты из них	$4,9 \cdot 10^{-9}$	180
Картофель	$2,2 \cdot 10^{-9}$	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Мука, крупы. Сахар	$1,6 \cdot 10^{-8}$	60
Жиры растительные	$1,1 \cdot 10^{-8}$	40
Жиры животные и маргарин	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Овощи и корнеплоды	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Фрукты	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Садовые ягоды	$1,9 \cdot 10^{-9}$	70
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	$2,0 \cdot 10^{-9}$	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	$5,0 \cdot 10^{-9}$	185
Грибы свежие	$1,0 \cdot 10^{-7}$	370
Грибы сушеные	$6,8 \cdot 10^{-7}$	2500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$1,0 \cdot 10^{-9}$	37
Прочие продукты питания	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
<i>Для стронция-90</i>		
Вода питьевая	$1,0 \cdot 10^{-11}$	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Картофель	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$5,0 \cdot 10^{-11}$	1,85

Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 10 кг/год на человека, устанавливаются допустимые уровни, в 10 раз более высокие, чем величины для прочих пищевых продуктов

(см. табл. 4.2). В Брестской, Гомельской, Могилевской, Минской и Гродненской областях выявлено 216 населенных пунктов, где пищевые продукты из личных подсобных хозяйств, превышают требованиям РДУ-2001 по содержанию цезия-137. В табл. 4.3 представлено количество (в %) проб пищевых продуктов из личных подсобных хозяйств с превышением РДУ-2001 по содержанию цезия-137, выявленных в этих областях в течение 2001-2003 годов.

Таблица 4.3

**Удельный вес (%) проб пищевых продуктов
из личных подсобных хозяйств с превышением РДУ-2001
по содержанию цезия-137**

Продукт	2001 г.	2002 г.	2003 г.
Молоко	4,0	3,9	2,6
Молокопродукты	1,8	4,5	1,9
Овощи	0,03	0,02	0,03
Мясо и мясопродукты	0,8	0,5	0,7

4. β -радиометр РУБ-01П1

Бета-радиометр РУБ-01П1 предназначен для измерения удельной и объемной активности β -излучающих радионуклидов в пробах пищевых продуктов и др. Применяется он для комплексного санитарно-гигиенического контроля, как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Принцип действия β -радиометра основан на преобразовании световых вспышек в чувствительном объеме детектора в скорость счета импульса тока. β -радиометр имеет 2 блока детектирования. В одном из них детектор представляет собой блок, состоящий из 10 сцинтилляционных пластинок, в другом - сцинтиллирующий слой, нанесенный на оргстекло и закрытый пленкой с отражательным светозащитным покрытием.

Сцинтилляционные детекторы ионизирующих излучений имеют определенное преимущество перед счетчиками Гейгера - по амплитуде и длительности вспышки можно судить о типе и энергии породившей ее частицы. Важно и то, что сцинтилляционный счетчик

имеет значительно большую эффективность, нежели счетчик Гейгера, фиксирующий обычно лишь одну-две частицы из ста в него попавших.

Конструктивно сцинтилляционный счетчик прост: нужный сцинтиллятор наклеивают на катод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и все это помещают в тщательно изолированный от посторонней подсветки бокс. Остальное - подсчет фотоимпульсов, сортировка их по амплитуде, форме и т.п. - дело обычной электронной техники.

Диапазон измерения β - радиометра с блоком детектирования по ^{137}Cs - для всех видов материалов составляет $1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$ Бк/кг, Бк/л ($2,7 \cdot 10^{-9} - 5,4 \cdot 10^{-9}$ Ки/кг, Ки/л), чувствительность β - радиометра Р - по ^{137}Cs - – $2,6 \cdot 10^{-4}$ Бк.

4.1. Назначение кнопок органов управления

1. Кнопка "ВКЛ." с предназначена для включения измерительного устройства.

2. Кнопка-«ЭКСПОЗ» служит для установки нужного времени набора информации или режима контроля.

3. Кнопки "ПУСК" и "СТОП" предназначены для управления работой измерительного устройства в режиме набора информации "∞". Работа устройства при наборе информации индуцируется светодиодом. Превышение емкости счета индуцирует светодиод.

4. Кнопка "ПУСК МК" предназначена для отключения пусковой цепи микроЭВМ во время набора программы или окончания цикла измерений.

5. Кнопка "N*10" предназначена для пересчета поступающей информации в 10 раз и расширения емкости счета, индикатора.

6. Кнопка "ПОДСВЕТ" предназначена для кратковременной подсветки индикатора в темное время суток.

ВНИМАНИЕ! Категорически запрещается включать β -радиометр при снятой крышке или с открытыми штуцерами (разъемами) на крышке блока детектирования.

4.2. Подготовка прибора к работе

1. Перевести кнопочные переключатели, расположенные на передней панели измерительного устройства, в положение "ОТПУЩЕНО".

2. Подсоединить измерительное устройство к сети переменного тока.

3. Нажатием кнопки "ВКЛ." включить питание радиометра (должны гореть светодиоды, "1" и цифры индикатора).

4. Нажать и отпустить кнопку "ЭКСПОЗ." несколько раз. Последовательно должны загореться и погаснуть светодиоды "1", "10", "100", "1000", "1800", "∞", "К".

5. Кнопкой "ЭКСПОЗ." добиться индикации "∞" и выдержать радиометр во включенном состоянии 15 мин.

6. Нажатием кнопки "ЭКСПОЗ." добиться загорания диода "К". В этом режиме на цифровом табло с периодичностью 10 с. должны высвечиваться числа $\approx 7680 \pm 2$, гореть светодиод с одновременной выдачей короткого звукового сигнала. Если число отличается от этого показателя, то прибор считается неисправным.

4.3. Измерение удельной активности радионуклидов в пробах

1. Нажать и отпустить кнопку "ЭКСПОЗ." несколько раз и добиться индикации "100", т.е. время одного измерения-100 с.

2. Нажать кнопку "ПУСК", при этом начнется счет импульсов. Через время индикации t , указываемое светящимся диодом, прибор издает звуковой сигнал, а на цифровом табло фиксируется число импульсов. После 3-5 с. происходит автоматический сброс результата и начинается новое измерение. Записать показания индикатора с учетом времени счета в табл. 4.4 (Nф).

3. Вставить кювету с пробой в блок детектирования. Нажать кнопку "ПУСК". В конце измерения после звукового сигнала записать показания индикатора в табл. 4.4 (Nф+пр).

4. Повторить действия по пунктам 2,3 5 раз, каждый раз записывая показания-индикатора в табл. 4.4.

5. Повторить пункты 2-4 для другого объекта контроля.

6. Выключить бета-радиометр, переведя кнопку "ВКЛ." в положение "ОТПУЩЕНО". Отключить бета-радиометр от сети переменного тока.

7. Рассчитать средние значения для Nф и Nф+пр. Данные занести в табл. 4.4 графы "Nф ср" и "Nф+пр ср".

8. Вычислить величину удельной активности по формуле

$$A = \frac{N(\phi + \text{пр}) \text{ ср} - N \phi \text{ ср}}{P \cdot t}, \text{ Бк/кг},$$

где P- коэффициент чувствительности, равный $2,6 \cdot 10^{-4}$ (для ^{137}Cs);

$N_{ф+пр}$ - показание измерения пробы (число импульсов);

$N_{ф}$ - показание измерения фона (число импульсов);

t - время в секундах.

Все расчеты проводить с точностью до второго знака.

Таблица 4.4

Результаты собственных исследований

Название исследуемой пробы	№ измерения	Измерение фона $N_{ф}$	Измерение пробы ($N_{ф+пр}$)	Среднее значение удельной активности (А), Бк/кг	Допустимое значение активности пробы, Бк/кг (РДУ 2001)	% отклонения от РДУ
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	Среднее значение					
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	Среднее значение					

5. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы о соответствии замеренной активности проб допустимым значениям.

6. Вопросы к зачету

1. Принципиальная схема устройства сцинтилляционного детектора. Назначение фотоумножителя?

2. Что называется пищевой цепочкой радионуклида? Какие пищевые цепочки Вы знаете?
3. Все ли растения одинаково накапливают радионуклиды?
4. Что называется коэффициентом перехода радионуклидов из почвы в продукты питания? У каких продуктов он высокий, у каких – низкий?
5. Дайте определение «биоиндикатора радионуклидного загрязнения». Приведите примеры «биоиндикаторов».
6. Какую цель преследует введение РДУ-2001?
7. Перечислите основные пищевые цепочки, «работающие» в настоящее время.
8. От чего зависит величина накопления радионуклидов в организме человека?
9. Какие из исследованных вами пищевых продуктов превышают допустимые уровни?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ВЫРОСШИХ В ЛЕСУ

1. Цель работы — ознакомить студентов с причинами загрязнения радионуклидами леса и его даров, различиях накопления их в грибах, измерением удельной β -активности проб - даров леса с помощью радиометра КРВП-ЗБ.

2. Порядок выполнения работы:

2.1. Изучить настоящие методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачёту.

2.3. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Радиоактивное загрязнение леса и его даров

При выполнении предыдущей работы вы познакомились с тем, что лесные массивы в зонах загрязнения радионуклидами после аварии на ЧАЭС аккумулировали значительное количество радиоактивных выбросов. Лес в данном случае был природным барьером на пути распространения радиоактивных аэрозолей ветровыми потоками воздуха. В связи с этим основная масса радионуклидов цезия-137 и стронция-90 накопилась в почве и верхнем 3—5-сантиметровом слое лесной подстилки. В лесу очень активно накапливают радиоактивные вещества такие растения, как лишайники, мхи, хвощи, грибы. Высокое их содержание отмечается также в коре деревьев и ягодах. Из дикорастущих ягод много радионуклидов накапливают клюква, малина, черника, брусника, земляника, голубика. Это, так называемые, *растения-концентраторы радионуклидов*.

В зависимости от видовой принадлежности грибы характеризуются не одинаковым накоплением радионуклидов отдельными его видами:

1. *Грибы-аккумуляторы* — польский гриб, моховик желтобурый, рыжик, масленок осенний, козляк, горькуша, колпак коль-

чатый. Собирать эти грибы допускается только в лесах с плотностью загрязнения до 1 Ки/км².

2. **Грибы, сильно накапливающие радионуклиды** — подгруздок черный, лисичка желтая, волнушка розовая, груздь черный, еленка, подберезовик. Сбор разрешен при плотности загрязнения до 1 Ки/км².

3. **Грибы, средне накапливающие** — опенок осенний, белый гриб, подосиновик, подзеленка, сыроежка обыкновенная. Заготовку можно проводить в лесах с плотностью загрязнения до 2 Ки/км².

4. **Грибы, слабо накапливающие радионуклиды** — строчок обыкновенный, рядовка фиолетовая, шампиньон, дождевик шиповатый, сыроежка цельная и буреющая, зонтик пестрый, опенок зимний, вешенка.

На рынках ежегодно выявляют большое количество лесных ягод и грибов, загрязненных радионуклидами выше установленных допустимых уровней. Так, например, во 2-м квартале 2004 года в 13,7% проб лесных ягод и 11,3% проб грибов имели высокие уровни содержания цезия-137. Максимальное содержание цезия-137 в



лисичках составило 1900 Бк/кг (Лунинецкий район), что превышает допустимый уровень в 5 раз. В сушеных грибах из Гомельской области содержание цезия-137 достигало 8650 Бк/кг, что почти в 3,5 раза выше допустимого уровня.

При посещении лесных массивов следует обращать внимание на *указатели радиационной опасности*, которые выставляются на въездах в потенциально опасные кварталы леса. Чтобы быть полностью уверенными в безопасности даров леса, обязательно надо *проверить в центре гигиены и эпидемиологии собранные грибы и ягоды на содержание радионуклидов*.

Если вы не уверены в качестве собранных грибов, но все же хотите употребить их в пищу, следует *подвергнуть грибы особенно тщательной обработке*. Грибы нужно хорошо вымыть, полностью

очистить их от частиц почвы, отварить, слив отвар перед основной кулинарной обработкой, или вымочить перед засолкой. Такие приемы *можно считать дезактивацией*, значительно снижающей уровень загрязнения грибов радионуклидами.

Следует также помнить, что сбор грибов, ягод, заготовка лекарственных сырья, выпас молочного скота и заготовка сена в лесах разрешается при плотности загрязнения цезием-137 до 74 кБк/м² (2 Ки/км²), с обязательным контролем за содержанием радионуклидов в полученных продуктах.

Особенно следует опасаться употреблять в пищу мясо диких убитых животных. Широкомасштабная миграция крупных животных в зону ЧАЭС была зафиксирована уже через несколько месяцев после аварии. С прилегающих территорий сюда пришло 400 лисиц, множество кабанов, оленей, стаи волков, ранее здесь не встречавшихся. Впоследствии появилось несколько краснокнижных видов птиц (черный аист, беркут, лебедь-кликун), которых до аварии в этих местах не видели уже несколько десятилетий. Все они содержат в себе большое количество радионуклидов и активно мигрируют на чистые территории.

По-прежнему в республике высокий процент проб лесных ягод, грибов, заготавливаемых населением, и мяса диких животных, рыбы местного улова, загрязненных радионуклидами цезия выше допустимых уровней (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Удельный вес (%) проб грибов, лесных ягод, мяса диких животных, не отвечающих требованиям РДУ-2001 по содержанию цезия-137 (частный сектор)

Наименование продукта /Годы	2000 г.	2001г.	2002 г.	2003 г.
Грибы	29,5	28,5	14,2	23,4
Ягоды лесные	22,9	20,2	24,5	18,8
Мясо диких животных	51,4	51	45,5	43,4
Рыба местного улова	5,3	3.6	2,3	2,55

Следует также помнить, что количество радионуклидов в пищевой цепочке, как правило, постепенно увеличивается от хозяина к хозяину. Например, концентрация ^{137}Cs возрастает в цепи лишайники — мышцы оленей — мышцы волков (30, 85 и 181 пкюри/г сухой массы, соответственно), а концентрация ^{90}Sr в этой же цепи уменьшается (7,2, 0,1 и 0,04 пкюри/г сухой массы).

4. Измерение β -активности пищевых продуктов, произрастающих в лесу

Для измерения удельной β -активности пищевых продуктов - даров леса в лабораторных условиях используют радиометр КРВП-ЗБ. Он представляет собой установку счёта импульсов с блоком детектирования β -излучения.

Измерение β -активности пищевых продуктов основано на измерении с помощью пересчетного устройства и секундомера числа импульсов, поступающих с блока детектирования за определенное время. В качестве детектора β -излучения используется низковольтный газоразрядный счетчик, заключенный в свинцовый домик для снижения влияния внешнего гамма-излучения. Радиометр обеспечивает измерение β -активности пищевых продуктов, загрязненных β -активными веществами прямым методом в пределах от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л.

Значение основной погрешности радиометра не превышает 20% .

Пересчетный блок состоит из литого металлического корпуса и шасси, на котором смонтированы все узлы. На лицевой панели расположены все органы управления блоком:

- выключатель питающей сети (положение "Выкл." - питающая сеть отключена, положение "Сеть" - питающая сеть включена);
- тумблер рода работ ПРОВЕРКА, РАБОТА;
- положение ПРОВЕРКА - проверка исправности радиометра;
- положение РАБОТА - работа с блоком детектирования;
- часы с кнопкой ПУСК и ручкой ЗАВОД;
- панель с декафонами для подсчета количества зарегистрированных импульсов ("*10000, *1000, *100, *10, *1");
- номерная шкала декафонов дает возможность отсчитывать количество импульсов при остановке счета.

Пуск секундомера часов осуществляется после поворота кнопки ПУСК влево с последующим нажатием.

ВНИМАНИЕ! При работе с часами не допускается прилагать большие усилия при нажатии кнопки ПУСК.

- блок детектирования (БД) β -излучения смонтирован в плоском пластмассовом корпусе. Со стороны рабочей поверхности счетчика отверстие крышки защищено триацетатной пленкой толщиной 10 мкм. Блок детектирования помещается на специальном держателе в разборный свинцовый домик, передняя стенка которого откидывается, открывая доступ внутрь домика. К верхней стенке с внутренней стороны прикреплен БД β -излучения, к боковым стенкам - рамка с направляющими для установки пластмассовой кюветы с пробой. Толщина внутренних стенок домика из оргстекла - 3 мм, из свинца - 30 мм.

4.1. Подготовка радиометра КРВП-ЗБ к работе и проверка его работоспособности

Внимание! При работе с часами не допускается прилагать больших усилий при нажатии кнопки "Пуск" и рукоятки "Завод" часов.

1. Открутить защитную крышку рукоятки завода часов, завести часы, вращая рукоятку "Завод" против часовой стрелки. Не прилагайте при этом больших усилий!

2. Если секундная стрелка не движется запустить часы легким поворотом рукоятки "Пуск" против часовой стрелки. Не прилагайте больших усилий!

3. Если стрелка секундомера не стоит в положении "0", нажать кнопку "Пуск" и установить стрелку секундомера в нулевое положение.

4. Включить радиометр тумблером "Сеть" и выдержать его во включенном состоянии 3-5 мин для установления рабочего режима.

5. Проверка работоспособности радиометра. Перевести тумблер в положение "Проверка". Легким нажатием кнопки "Пуск" запустить счетчик. Через 10 сек повторным нажатием кнопки "Пуск" остановить счет импульсов. Радиометр исправен, если количество зарегистрированных декатронами импульсов равно 1000 ± 30 . Нажатием кнопки "Пуск" установить декатроны в "0".

4.2. Измерение радиоактивного фона

1. Перевести тумблер в положение "Работа".

2. Открыть переднюю стенку свинцового домика. Внутри домика на его верхней стенке находится блок детектирования β -излучения. Непосредственно под блоком детектирования находятся специальные пазы, в которые устанавливается (вдвигается) пластмассовая кювета с пробой. Измерение фона производится с пустой кюветой или без нее.

3. Легким нажатием кнопки "Пуск" включить счетчик импульсов и секундомер. Допускается пользоваться секундомером наручных часов. Время измерения фона — 10 минут. Повторным нажатием кнопки "Пуск" остановить счетчик импульсов и секундомер. На декартонах высвечивается количество зарегистрированных импульсов фона.

4. Определить скорость счета импульсов фона N_{ϕ} по формуле

$$N_{\phi} = \frac{K_{\phi}}{t_{\phi}},$$

где: K_{ϕ} - количество зарегистрированных импульсов фона;

t_{ϕ} - время измерения фона, с;

N_{ϕ} - скорость счета импульсов фона, 1/с;

5. Нажатием кнопки "Пуск" установить декартоны в "0".

4.3. Измерение активности пробы пищевого продукта

Установить (вдвинуть) кювету с пробой внутрь свинцового домика под блок детектирования.

Легким нажатием кнопки "Пуск" включить счетчик импульсов и секундомер. Время измерения активности пробы — 10 мин. Повторным нажатием кнопки "Пуск" остановить счетчик импульсов и секундомер. На декартонах высвечивается количество импульсов пробы.

1. Определить скорость счета импульсов пробы $N_{пр}$ по формуле

$$N_{пр} = \frac{K_{пр}}{t_{пр}},$$

где $K_{пр}$ — количество зарегистрированных импульсов пробы, 1/с;

$t_{пр}$ — время измерения пробы, с;

$N_{пр}$ — скорость счета импульсов пробы, 1/с.

2. Рассчитать удельную активность пробы $A_{уд}$ пищевого продукта по формуле

$$A_{уд} = \frac{N_{пр} - N_{ф}}{p} \text{ Бк/кг (Ки/кг)},$$

где $N_{пр}$ - скорость счета импульсов пробы, 1/с;

$N_{ф}$ - скорость счета импульсов фона, 1/с;

p - коэффициент чувствительности радиометра (см. табл. 5.3),

Таблица 5.2

Результаты собственных измерений

№ п/п	Проба пищевого продукта	Скорость счёта		Коеф. чувствительности	Удельная активность пробы, $A_{уд}$	
		$N_{пр}$	$N_{ф}$	p	факт.	норма
1	Фон					
2	Грибы					
3	Клюква					
4	др.					

3. Измеренные и вычисленные данные занести в табл. 5.2.

4. Сравнить вычисленную фактическую удельную активность пробы пищевого продукта с Республиканскими допустимыми уровнями, содержания радиоактивных веществ в продуктах питания РДУ-2001. Сделать вывод о пригодности пробы пищевого продукта для использования.

5. После выполнения работы закрутить защитные крышки рукояток часов, вынуть кювету из свинцового домика, выключить радиометр тумблером "Сеть".

Вынуть вилку из розетки, сдать настоящие методические указания преподавателю, привести рабочее место в порядок, выполнить расчеты, оформить отчет.

5. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы о соответствии замеренной активности проб допустимым значениям.

Чувствительность «Р» радиометра КРВП-ЗБ
[л, кг·с⁻¹·Бк⁻¹; (л, кг·с⁻¹·Ки⁻¹)]

Вид пробы	Коэффициент (р) чувствительности радиометра КРВП-ЗБ
Мясо и мясные продукты, молоко и молочные продукты, рыба, птица, мука, хлеб, яйца, яичный порошок, корнеплоды, бобовые, соки.	$3,2 \cdot 10^{-4} (1,2 \cdot 10^7)$
Фрукты, ягоды, овощи, растительность, пищевая зелень, крупяные продукты сухие лекарственные травы, сено, комбикорма, грибы, чай, зерно.	$5,2 \cdot 10^{-4} (1,9 \cdot 10^7)$
Вода питьевая (водопроводная, колодезная).	$3,2 \cdot 10^{-4} (1,2 \cdot 10^7)$
Вода речная, озерная, прудовая и т.д. с частицами ила и почвы.	$11,6 \cdot 10^{-4} (4,3 \cdot 10^7)$
Пробы, содержащие калий-40 (⁴⁰ K).	$11,0 \cdot 10^{-4} (4,1 \cdot 10^7)$

Вопросы к зачету

1. Какие типы детекторов применяются для регистрации β-излучения?
2. Почему в лесах после аварии на ЧАЭС содержится большое количество радионуклидов?
3. Все ли грибы одинаково накапливают радионуклиды? Какие из них безопаснее всего собирать на загрязнённых радионуклидами территориях?
4. На что необходимо обращать внимание при сборе даров леса?
5. Выше какого уровня загрязнения почвы цезием-137 не разрешается сбор даров леса и выпас скота?
6. Почему мясо диких животных представляет опасность для человека?
7. Где можно проверить на загрязнённость радионуклидами даров леса и мяса диких животных?
8. Особенности измерения удельной β-активности проб - даров леса с помощью радиометра КРВП-ЗБ. Отличаются ли измеренные пробы от допустимых уровней и во сколько раз?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ ЦЕЗИЯ И КАЛИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛАХ γ -РАДИОМЕТРОМ РУГ-91 "АДАНИ"

1. Цель работы. Ознакомить студентов с загрязнённостью изотопами цезия и калия строительных и других материалов; измерением объемной активности γ -излучающих нуклидов калия-40 и цезия-137 в пробах природной среды; определением эффективной активности строительных материалов и допустимостью их использования.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Изучить настоящие методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачёту.

2.3. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Загрязнённость изотопами цезия и калия строительных и других материалов

После аварии на ЧАЭС в зоне загрязнения оказались 132 месторождения различных видов минерально-сырьевых ресурсов, в том числе 47% промышленных запасов формовочных, 19% строительных и силикатных, 91% стекольных песков республики; 20% промышленных запасов мела, 13% запасов глин для производства кирпича, 40% тугоплавких глин, 65% запасов строительного камня и 16% цементного сырья.

Из-за чрезмерной загрязнённости из пользования выведено 22 месторождения минерально-сырьевых ресурсов, балансовые запасы которых составляют почти 5 млн. м³ строительного песка, песчано-гравийных материалов и глин, 7,7 млн. т мела и 13,5 млн. т торфа. Из планов проведения геологоразведочных работ исключена территория Припятской нефтегазоносной области, ресурсы которой оценены в 52,2 млн. т нефти.

В связи с этим введены нормативы на некоторые материалы:

- временный допустимый уровень содержания цезия-137 в продукции на основе торфа (принят в 2004 году):

Таблица 6.1

Наименование продукции	Удельная активность (Бк/кг)
Брикеты топливные на основе торфа, торф кусковой для отопления, фрезерный торф для пылевидного сжигания	1220

Допустимый уровень установлен на брикеты, изготовленные на основе торфа при относительной влажности 16-28 %, торф кусковой для отопления при относительной влажности до 45%, фрезерный торф для пылевидного сжигания при относительной влажности 52%. Температура определения данных показателей $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

- Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно - техническом сырье (введены в 2004 г.):

Таблица 6.2

Наименование продукции	Удельная активность, Бк/кг
Лекарственно-техническое сырье	370

- Республиканские контрольные уровни радиоактивного загрязнения поверхностей зданий, сооружений, конструкций, строительных материалов, оборудования (введены с 2004 г.):

Таблица 6.3

Объект	Контрольный уровень загрязнения, β -частиц/(см^2 мин)
Поверхности зданий, сооружений, конструкций, строительных материалов, оборудования	10 (жилищно-гражданское строительство) 20 (промышленное и прочие виды строительства)

Существуют и иные нормативы на загрязненность строительного материала, выражающиеся в Бк/кг:

**Допустимые уровни удельной эффективной активности
загрязнения строительных материалов**

Класс	$A_{ин\ Эфф}$, Бк/кг	Область применения
1	< 370	Вновь строящиеся жилье и общественные здания.
2	< 740	В дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений.
3	< 1350	Дорожное строительство вне населенных пунктах

**4. Назначение и технические характеристики
гамма - радиометра РУГ-91**

4.1. Гамма-радиометр РУГ-91 "АДАНИ" предназначен для измерения суммарной объемной активности γ -испускающих изотопов цезия-134, 137 в первые годы после аварии на АЭС, сейчас – только цезия-137, а также удельной активности природного изотопа калия-40, содержащихся в объектах окружающей среды.

4.2. Технические данные гамма – радиометра

4.2.1. Сцинтиллятор - кристалл Na J (Te) размером 40x40 мм.

4.2.2. Диапазоны измеряемой объемной активности, кБк/л.

Условия измерения	Цезий	Калий
При времени измерения 20 мин.	0.018-5.0	0,2-50,0
При времени измерения 2 мин.	0.06-50.0	0.5-50,0

4.2.3. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения объемной активности цезия-134, 137.

В интервалах		
время измерения 20 мин	время измерения 2 мин	
0.018-0.03кБк/л	0.06-0.1	50%
0.03-0.10кБк/л	0.1-0.6	30%
0.10-1.0кБк/л	0.6-10.0	10%
1.0-5 кБк/л	10.0-50,0	5%

4.2.4. Пределы допустимой основной погрешности измерения объемной активности радионуклида калия-40 при времени измерения 20 мин (0.2 - 50.0 кБк/л)-50%; 2 мин (0,5-50,0 кБк/л) - 50%.

4.2.5. Пределы допустимой дополнительной погрешности при изменении температуры 1% на 1° С, при изменении внешнего фона гамма-излучения до 50 мкР/ч - 25%.

4.2.6. Время установления рабочего режима, не более 30 мин.

4.6.7. Время непрерывной работы, не менее 24 ч.

4.2.7. Объем пробы 0.5 л.

5. Устройство γ -радиометра РУГ-91

5.1. Принцип действия гамма - радиометра основан на подсчете числа световых импульсов, возникающих в сцинтилляционном детекторе при попадании на него гамма - квантов. Число зарегистрированных в единицу времени световых импульсов однозначно связано с активностью исследуемого образца.

5.2. Упрощенная функциональная схема, поясняющая принцип действия радиометра. Исследуемый образец (проба) размещается в кювете, в качестве которой используется сосуд Маринелли объемом 0.5 л. Кювета с пробой устанавливается внутри свинцового защитного экрана, уменьшающего влияние внешнего фонового излучения. Сверху экран закрывается свинцовой защитной крышкой.

Световые вспышки, возникающие в сцинтилляторе, через световод попадают на фотокатод фотоэлектронного умножителя и преобразуются в электрические импульсы, которые после усиления поступают в устройство селекции.

Устройство селекции производит сортировку импульсов по их амплитудам (пропорционально энергии регистрируемых γ -квантов). Это позволяет определять вклады изотопов цезия и калия в суммарную активность пробы.

Устройство обработки управляет работой устройства селекции и вычисляет количественные характеристики ионизирующего излучения. Устройство индикации и управления задает режим работы γ -радиометра и индуцирует на табло результат измерения. Режим работы задается с помощью семи кнопок, расположенных на лицевой панели прибора.

ВНИМАНИЕ! В гамма - радиометре в качестве детектора используется кристалл, который требует бережного обращения. Избегайте механических ударов по прибору и резкого перепада температур!

5.3. Назначение органов управления. Кнопка СЕТЬ служит для включения и выключения γ -радиометра. Кнопками ФОН и ПРОБА производится включение режима ИЗМЕРЕНИЕ для измерения активности соответственно фона и исследуемого образца.

Кнопками 2 МИН и 20 МИН устанавливается время измерения, при этом 20-минутный режим используется для более точных измерений и рекомендуется для измерения малоактивных проб (менее 200 Бк/л).

Кнопки КАЛИЙ-40 и ЦЕЗИЙ-137 служат для вывода на табло информации об измеренной активности пробы соответственно для калия-40 и суммарной активности изотопов цезия.

Кнопка СБРОС служит для отмены ошибочной команды и приведения γ -радиометра в исходное состояние. Выполнение команды при нажатии любой кнопки подтверждается звуковым сигналом, при этом над кнопкой загорается светодиод.

6. Подготовка прибора к работе

6.1. Подсоединить сетевой шнур к сети 220 в и нажать кнопку СЕТЬ.

6.2. Звуковой сигнал и индикация "О" во всех разрядах цифрового табло означает готовность прибора к работе.

7. Порядок работы на приборе

Следует отметить, что свинцовый экран не исключает полностью влияние фонового излучения: даже при отсутствии исследуемого образца внутри экрана на выходе детектора будут регистрироваться импульсы, которые и нужно учитывать, как фоновые. Таким образом, вся процедура измерения состоит из двух этапов: измерения фона и измерения активности образца.

7.1. Измерение фона. Внешнее γ -излучение создается космическим излучением, естественными радионуклидами, содержащимися в объектах окружающей среды, предметах быта, поэтому его величина меняется во времени и различна для разной местности. Вели-

чина фона зависит от погодных условий, месторасположения прибора, вентиляции помещения. Поэтому желательно определять значение фона перед каждой серией измерений, особенно при изменении условий измерений (например, месторасположения прибора).

Фон измеряется по двум каналам одновременно (по калию-40 и цезию-137), его значения заносятся в память микропроцессора и в дальнейшем автоматически вычитаются из результатов измерения активности пробы.

Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом.

7.1.1. Замерить фон внутри свинцового защитного экрана. Для чего нажать кнопку фон и кнопку 2 мин.

7.1.2. По окончании измерения фона нажать кнопку КАЛИЙ-40 либо ЦЕЗИЙ-137. На табло индуцируется значение фона для калия-40 либо цезия-137 в единицах скорости счета (число зарегистрированных импульсов фона за заданное время измерения).

7.1.3. Измеренные значения автоматически заносятся в память γ -радиометра и хранятся в ней до следующего измерения фона.

7.1.4. Если фон уже измерялся и сетевой шнур γ -радиометра не отключался от питающей сети, то после включения кнопки СЕТЬ на табло "индуцируется его значение. При этом над кнопкой СБРОС загорается светодиод.

7.1.5. При повторном измерении величины фона, нажать кнопку ФОН и кнопку времени еще раз.

7.2. Измерение активности пробы

7.2.1. Для корректных измерений объем пробы должен составлять 0.5 л. Особой подготовки проб для проведения измерений не требуется.

ВНИМАНИЕ! При измерении жидкостей следует избегать выпадения осадка. При измерении твердых образцов желательно, их предварительно измельчить, чтобы заполнить требуемый объем. Время измерения активности пробы 2 мин или 20 мин. 20-минутный режим используется для измерения малых активностей (0.018 0.2 кБк/л) и рекомендуется только для питьевой воды и детского питания в готовом для употребления виде. Измерение всех остальных продуктов можно проводить в режиме 2 минут.

7.2.2. Установить кювету с исследуемой пробой внутрь свинцового экрана. Закрывать крышку.

7.2.3. Нажать кнопку ПРОБА.

7.2.4. Нажать кнопку времени 2 МИН.

7.2.5. Измерение активности идет одновременно по двум каналам: по калию-40 и цезию-137. Однако на табло индуцируется (высвечивается) значение объемной активности того радионуклида (калия или цезия), кнопка которого нажата.

7.2.6. По окончании измерения нажимаем кнопки КАЛИЙ-40 или ЦЕЗИЙ-137 зафиксировать значения показаний радиометра и записать в таблицу результатов.

7.2.7. Пункты 6.2.4 - 6.2.6 повторить 5 раз для каждой пробы. Количество исследуемых проб две. Определить среднее значение объемной активности (A_v).

7.2.8. Результат на табло сохраняется до начала следующего измерения.

Таблица 6.5

Результаты собственных измерений

Объект исследования	Показания прибора A_v , кБк/л		Удельная активность (рассчитанная по средним значениям), A_m , Бк/Кг		$A_{эф}$, Бк/кг
	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40	

(Всего 12 строк – 10 для измеренных значений и 2 для средних значений).

ВНИМАНИЕ! При превышении уровня активности исследуемой пробы предельной величины 50 кБк/л на табло выводится ориентировочное значение измеряемой активности на сигнал перегрузки «9999». В случае появления индикации "9999" провести повторное измерение при времени 2 МИН. Если на табло снова выводится сигнал перегрузки, то активность пробы значительно превышает 50 кБк/л и необходимо принять меры по ее изоляции.

8. Расчёты удельной активности

В результате проведенных замеров была определена объемная активность пробы. Необходимо рассчитать среднюю удельную активность пробы.

Удельная активность A_m связана с объемной A_v соотношением:

$$A_m = A : m = A : \rho v = A_v : \rho,$$

где m , v , ρ - соответственно, масса, удельный объем, плотность исследуемого образца.

Удельная активность по цезию-137 и калию-40 рассчитывается по формуле

$$A_{m\text{ ср}} = A_{v\text{ ср}}/m : v, \text{ Бк/кг.}$$

9. Определение удельной эффективной активности строительных материалов

Удельная эффективная активность $A_m \text{ эфф}$ природных радионуклидов в строительных материалах (песок, щебень, цементное и кирпичное сырье и др.) и отходах промышленного производства, используемые для изготовления строительных материалов (зола, шлаки и др.), рассчитывается по формуле:

$$A_m \text{ эфф} = A_{\text{Ra}226} + 1,31 A_{\text{Th}232} + 0,085 A_{\text{K}40} + 0,22 A_{\text{Cs}137},$$

где A_{Ra} - удельная активность радия - 226,

A_{Th} - удельная активность тория - 232 берутся из табл. 6.6,

A_{K} - удельная активность калия - 40

A_{Cs} - удельная активность цезия - 137 берутся из табл. 6.5 результатов (пересчетные значения).

Полученные значения $A_m \text{ эфф}$ записать в табл. 6.5 результатов.

Полученные значения удельной эффективной активности для исследуемых материалов сравнить со значениями, приведенными в табл. 6.4 и сделать вывод об их применимости.

При $A_m \text{ эфф} > 1350 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ использование материалов для строительных целей ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

**Удельная активность естественных радионуклидов
в строительных материалах (Бк/кг)**

Вид материала	Радий-226	Торий-232
Глина	20,4	33,7
Бетон легкий	21,8	15,2
Бетон тяжелый (цемент)	23,7	16,7
Песок	7,8	12,3
Щебень из доломитов и известняков	12,6	4,8
Щебень из гранита	27,4	35,9
Гранитный отсев	43,0	118,2
Стройматериалы	27,8	32,6

10. Выводы по выполненной работе

11. Вопросы к зачёту

1. В каких домах построенных из различных строительных материалов радиационный фон будет наибольшим: деревянных, кирпичных, бетонных?

2. От каких факторов зависит измеряемая величина радиационного фона?

3. Какие радионуклиды обычно измеряются в образцах строительного материала?

4. Какой радионуклид чернобыльского происхождения нормируется в образцах строительных материалов?

5. На какие строительные и природные материалы введены нормативы?

6. Какие природные радионуклиды присутствуют в строительных материалах?

7. Устройство и принцип работы РУГ-91?

8. Опишите ход определения проб, обоснуйте полученные данные и выводы.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Цель работы: Определение изменения потока γ -фотонов ионизирующего излучения в зависимости от расстояния. Исследование эффективности защиты от ионизирующего излучения различными материалами (экранами).

2. Порядок выполнения работы:

2.1. Изучить настоящие методические материалы.

2.2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачёту.

2.3. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Воздействие ионизирующей радиации на человека

Воздействию ионизирующего излучения (ИИ) человек подвергается постоянно за счет:

- воздействия природных излучений (солнечная и космическая радиация, излучение из недр земли и др.),
- при работе с источниками ИИ на предприятиях (учреждениях), воздействие стен зданий и др.,
- при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур и т.п.

Но наиболее массовое облучение людей может иметь место при применении *ядерного оружия*, а также после *крупных аварий на радиационно опасных объектах*. Это требует от каждого человека строгого соблюдения основ радиационной безопасности.

В 1896 русский физиолог И. Р. Тарханов впервые показал, что рентгеновское излучение, проходя через живые организмы, нарушает их жизнедеятельность. И действительно, ионизирующие излучения оказались очень опасным для человека: в 1895 г. радиационный ожог рук получил Анри Беккерель, в 1902 г. - лучевой рак кожи был выявлен у Марии С. Кюри, в 1907 г. было описано 7 случаев смерти от ионизирующей радиации др. учёных. Мутагенное воз-

действие ионизирующего излучения впервые установили русские ученые Р.А. Надсон и Р.С. Филиппов в 1925 году в опытах на дрожжах. В 1927 году это открытие было подтверждено Р. Меллером на классическом генетическом объекте - дрозофиле.

Особенности воздействия ИИ на человека характеризуются следующими особенностями:

1. У живых организмов нет специальных органов для распознавания действия этого фактора.

2. Ионизирующая радиация способна вызвать отдаленные последствия:

- злокачественные опухоли,
- укорочение жизни,
- снижение иммунитета.

3. Способна глубоко проникать в облучаемую ткань.

4. Способна к суммарному кумулятивному действию.

5. Поражающий эффект возникает при ничтожных количествах поглощенной энергии. При облучении человека смертельной дозой γ -излучения, равной 6 Гр, в его организме выделяется энергия, равная примерно: $E=mD=70 \text{ кг} \cdot 6 \text{ Гр}=420 \text{ Дж}$. Такая энергия передается организму человека одной чайной ложкой горячей воды.

3.1. Облучение человека. В настоящее время проникающая радиация воздействует на организм человека следующим образом:

1. *Вызывает внешнее облучение* человека γ -лучами из космоса, с поверхности Земли, от строительных материалов, от чернобыльских радионуклидов.

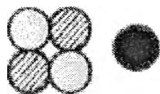
2. Проникновение газообразного элемента радона в атмосферу, а затем с *вдыхаемым воздухом* - в организм.

3. Переход радиоактивности в растения через корни и их *проникновение в организм человека с пищей*.

Поскольку энергия, поглощаемая тканью человека мала, естественно предположить, что тепловое воздействие ионизирующей радиации не является непосредственной причиной лучевой болезни и гибели человека. Действительно, *в основе биологического воздействия ионизирующей радиации на живой организм лежат химические процессы, происходящими в живых клетках после их облучения*. Радиоактивные излучения **вызывают ионизацию атомов и молекул живых тканей**, в результате чего происходит **разрыв нормальных молекулярных связей и изменение химической структуры кле-**

точных макромолекул. Эти изменения влекут за собой либо гибель либо мутацию клеток.

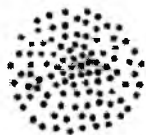
Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма имеет несколько стадий:



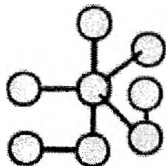
1. **Образование заряженных частиц.** Проникающие в ткани организма α - и β -частицы теряют энергию вследствие электрических взаимодействий с электронами тех атомов, близ которых они проходят.



2. **Электрические взаимодействия.** Под влиянием проникающей радиации от атомов ткани организма отрываются электроны. Они заряжены отрицательно, поэтому оставшая часть исходного нейтрального атома становится положительно заряженной. Этот процесс называется ионизацией. Оторвавшиеся электроны могут ионизировать другие атомы.



3. **Физико-химические изменения.** И свободный электрон, и ионизированный атом не могут долго находиться в таком состоянии. Поэтому они вступают в сложную цепь реакций, в результате которых образуются новые молекулы. В их состав входят такие чрезвычайно реакционно-способные молекулы, как "свободные радикалы" (OH^\cdot - радикал гидроксила, HO_2^\cdot - гидроперекисный радикал, H_2O_2 - перекись водорода, O - атомарный кислород, O_2 - синглетный кислород и др.). Они обладают сильными окислительными и токсическими свойствами.



4. **Химические изменения.** Образовавшиеся свободные радикалы реагируют как друг с другом, так и с другими молекулами. Вступая в соединения с органическими веществами, они вызывают значительные химические изменения в клетках и тканях. Химический состав клетки изменяется в результате радиолитического разложения её компонентов

или метаболических процессов взаимодействия различных клеточных органелл, денатурации белковых и других органических структур с образованием токсических гистаминоподобных веществ. Наступает деполимеризация гиалуроновой кислоты, глико- и липопротеидов, нарушается проницаемость клеточных мембран, структура ДНК и РНК.

5. Биологические эффекты. могут наступить как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток, или способствовать развитию:

1) *ранних изменений в клетках*, которые приводят к возникновению рака; генетическим мутациям, оказывающим влияние на будущие поколения; поражению плода и зародыша вследствие облучения матери в период беременности; развитию лучевой болезни, характеризующейся развитием: геморрагического синдрома, кишечного синдрома и церебрального синдрома;

2) *отдаленных последствий*: увеличения количества раковых заболеваний, лейкозов, повышения генетического груза, укорочения продолжительности жизни.



Поведение всосавшихся в кровь радионуклидов определяется:

1). Важностью для организма стабильных изотопов данных элементов для определенных тканей и органов. Например, кальций выполняет специфическую роль, входит в состав тканей, в особенности, в костную систему. Йод накапливается в щитовидной железе, цезий является внутриклеточным электролитом и т.д.

2). Физико-химическими свойствами радионуклидов – положением элементов в периодической системе Д.И. Менделеева, валентной формой радиоизотопа и растворимостью химического соединения, способностью образовывать коллоидные соединения в крови и тканях и др. факторами.

Для всех радионуклидов критическими органами являются кровеносная система и половые железы потому, что они наиболее уязвимы даже при малых дозах радиации. Попавшие в организм животных и человека радиоактивные изотопы, так же как и стабиль-

ные изотопы элементов, выводятся в результате обмена из организма с калом, мочой, молоком, яйцами (куры, гуси) и другими путями. Различают:

а) Прямое действие - молекула испытывает изменения непосредственно от излучения при прохождении через неё фотона или заряженной частицы, а поражающее действие связано с актом возбуждения и ионизации атомов и макромолекул (в первую очередь, гормонов и ферментов). В зависимости от дозы поглощенных лучей может идти процесс деполимеризации коллоидных структур или, наоборот, их полимеризации.

б) Непрямое или косвенное действие - молекула получает энергию, приводящую к её изменениям, от продуктов радиолиза воды (H_2O_2 , O_2^- , OH^-) или растворенных веществ, а не поглощенной самими молекулами.

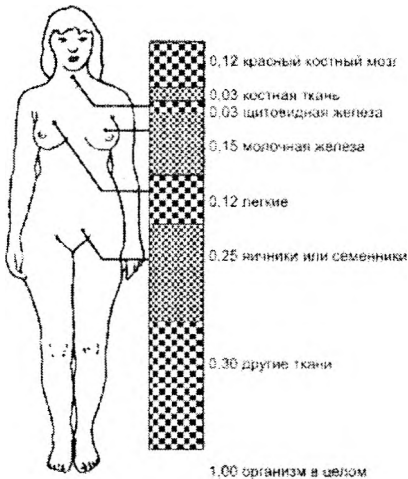
Большое значение имеет миграция энергии по молекулам биополимеров, в результате которой поглощение энергии, происшедшее в любом месте макромолекулы, приводит к поражению её активного центра (например, к инактивации белка-фермента). Кроме того, не всякая передача энергии ионизирующей частицей приводит к лучевому повреждению. При объяснении этого парадокса были сформулированы *принципы попадания и мишени*. Согласно указанным принципам в клетках имеются определенные участки (мишени), попадание в которые приводит к поражению. Радиационный эффект обусловлен одним или несколькими попаданиями ионизирующих частиц в клетку. В зависимости от того, сколько случаев попадания в мишень необходимо для поражения (один, два и т.д.), различают объекты одно-, двухударные и т.д. Наиболее строго принцип попаданий применим к анализу поражения одноударных объектов. При этом ионизирующая радиация может вызывать:

- *стохастические (редкие) повреждения*, для их появления не существует минимальных доз. По мере снижения дозы последствия по-прежнему возможны, но их вероятность становится меньшей. С увеличением дозы повышается не тяжесть этих эффектов, а *вероятность (риск) их появления*. Основными стохастическими последствиями являются раковые заболевания и наследственные генетические пороки. Коэффициенты риска их возникновения представлены в табл. 7.1.

Коэффициенты риска для развития стохастических эффектов

Число случаев на 100 000 человек при индивидуальной дозе облучения 10 мЗв.				
Категории облучаемых	Смертельные случаи рака	Несмертельные случаи рака	Тяжелые наследуемые эффекты	Суммарный эффект:
Работающий персонал	4.0	0.8	0.8	5.6
Все население *	5.0	1.0	1.3	7.3

* Все население включает не только здоровый работающий персонал, но и критические группы (дети, пожилые люди и т.д.).



Одни части тела более чувствительны, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения, возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений (рис. 7.1);

Рис. 7.1 Коэффициенты радиационного риска

- *детерминистские (или нестохастические) последствия* возникают при превышении минимальной дозы облучения (лучевая болезнь, половая стерильность и радиационные ожоги). В большинстве случаев при облучении всего организма она превышает 1 Зи-

верт (за исключением появления временной стерильности у мужчин при облучении в дозе 0,15 Гр, а также пороков и ненормального развития после воздействия 0,25 Гр радиационного облучения, полученного до 28 дней эмбрионального периода).

Развитие этих последствий можно избежать, если своевременно использовать меры защиты от воздействия ионизирующей радиации.

3.2. Основные меры защиты населения при авариях на ядерных реакторах *зависит от этапа* аварии на АЭС или взрыва ядерного боеприпаса:

- начальный этап (несколько часов от начала аварийного выброса) - укрытие и простейшая защита органов дыхания, применение стабильного йода, эвакуация, контроль доступа в район загрязнения;

- промежуточный этап (от нескольких первых часов до нескольких суток после наступления аварии) — переселение, санобработка людей, контроль пищевых продуктов и воды, использования заготовленных кормов для животных, медицинская помощь;

- восстановительный этап (принимается решение о возвращении к нормальным условиям жизни, может растянуться на несколько десятков лет) — контроль доступа в район загрязнения, переселение, контроль воды и пищевых продуктов, кормов для животных, дезактивация территории.

3.2.1. Физическая защита. В основе указанных мер защиты лежат следующие физические методы снижения воздействия на организм внешнего ионизирующего излучения:

1. Временем - чем меньше время пребывания вблизи источника радиации, тем меньше полученная от него доза облучения.

2. Расстоянием - излучение уменьшается с удалением от компактного источника (пропорционально квадрату расстояния). Если на расстоянии 1 м от источника радиации дозиметр фиксирует 1000 мкР/час, то уже на расстоянии 5 м показания снизятся приблизительно до 40 мкР/час.

3. Экранированием источника излучения - между человеком и источником радиации должно оказаться как можно больше вещества. Чем его больше и чем оно плотнее, тем большую часть радиации это вещество поглотит.

Ослабляющее действие проникающей радиации принято характеризовать *слоем половинного ослабления*, т.е. толщиной материала, проходя через который интенсивность проникающей радиации уменьшается в два раза. Такой слой половинного ослабления для различных материалов следующий:

1. Свинец	1.8 см	4. Грунт, кирпич	14 см
2. Сталь	2.8 см	5. Вода	23 см
3. Бетон	10 см	6. Дерево	30 см

4. Дезактивацией (удалением радионуклидов) продуктов питания, воды, различных поверхностей.

5. Использованием средств защиты органов дыхания (повязки, маски и др.).

6. Санитарно-гигиеническими мероприятиями (умывание, бани и др.).

7. Регулярным проветриванием и вентиляцией помещений, рабочих объемов (позволяет значительно уменьшить облучение радоном и продуктами его распада).

8. Уменьшением активности и количества источников ионизирующего излучения.

Таблица 7.2

Основные пределы доз облучения

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в:		
Хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
Коже	500 мЗв	50 мЗв
Кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

9. Использованием радиационно безопасных стройматериалов при строительстве или отделкой жилья (окраска стен, оклеивание обоями), которое, вероятно, прослужит не одному поколению.

Указанные выше меры применяют для ограничения облучения от внешних источников ионизирующего излучения, введенным «Нормами радиационной безопасности - НРБ-2000» для персонала (профессионалы) и населения (табл. 7.2):

Меры по снижению дозы внутреннего облучения зависят от этапа аварии:

А. Начальный и промежуточный этап аварии:

1. Стимуляция обменных процессов.
2. Применение комплексообразователей.

Б. Восстановительный этап аварии:

1. Снижение поступления в организм радионуклидов с пищей:
- ограничить потребление местных загрязнённых продуктов, особенно грибов;

- тщательно мыть овощи и фрукты;

- очищать от кожуры все корнеплоды;

- предварительно вымачивать мясо в холодной воде в течение 2-3 часов;

- производить рациональную кулинарную обработку продуктов.

2. Обеспечить усиление выведения радионуклидов из организма через кишечник, почки и потовые железы.

3. Использование продуктов и пищевых добавок, обладающих радиопротекторным (защитным) действием:

- пектин (семена и фрукты),

- фитаты (зерновые, бобовые);

- альгинат натрия (морские овощи);

- серосодержащие аминокислоты (капуста).

4. Использование продуктов, содержащих пищевые волокна (цельное зерно, овощи, орехи, семена, бобовые), пектины, камедь, лигнины (яблоки, белокочанная и цветная капуста), связывающие в кишечнике радионуклиды и выводящие их из организма.

Людям, проживающим на загрязнённых радионуклидами территориях следует помнить, что для того, чтобы обеспечить радиационную безопасность, необходимо:

1. Потреблять с пищей как можно больше йодсодержащих продуктов.

2. Использовать способы дезактивации продуктов в домашних условиях.

3. Ограничить потребление местных загрязнённых продуктов питания.

Для получения «чистой» сельскохозяйственной продукции следует применять следующие защитные меры:

Подбор культур. Используются типовые схемы севооборота в

зависимости от уровня и характера загрязнения почв радионуклидами. Подбираются культуры и сорта с минимальным накоплением радионуклидов.

Обработка почвы. Глубокая *мелиоративная вспашка* снижает поступление радионуклидов в растения до 5-10 раз. На избыточно увлажняемых почвах применяют периодическое глубокое рыхление или щелевание.

Известкование кислых почв снижает поступление стронция-90 из почвы в растения в 1,5-3 раз.

Применение органических удобрений уменьшает переход радионуклидов из почвы в растения до 30%. Внесение повышенных доз калийных удобрений - уменьшает поступление в растения цезия-137 до 2 раз, а стронция-90 - до 1,5 раза. Уменьшению поступления радионуклидов из почвы в растительную продукцию способствуют и фосфорные удобрения.

Химическая защита растений от вредителей, болезней и сорняков снижает накопление радионуклидов в продукции на 40%.

Использование этих мер помогает обеспечить нормативы содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-2001, см лабораторную работу № 4, табл. 4.2, с. 78-79).

3.2.2. Химическая защита. К методам защиты от ионизирующего излучения (ИИ) относятся также и химические методы защиты – применение радиопротекторов (радиозащитных) и др. средств. Радиопротекторы - это химические препараты, предназначенные для уменьшения воздействия ИИ на организм человека. Изучены тысячи различных противолучевых препаратов. Однако в условиях длительного воздействия на организм относительно небольших доз облучения наиболее эффективны вещества природного происхождения. Среди них важное место занимают **витамины и коферменты** (микро- и макроэлементы):

Витамин А – обладает антиоксидантными свойствами, помогает освободиться от свободных радикалов воды. Содержится в говяжьей печени, сливочном масле, яичном желтке, моркови, кукурузе, капусте, тыкве, хурме, чесноке, сельдерее, красном сладком перце, облепихе, петрушке и др.

Витамины группы В стимулируют нервную и иммунную системы. Особенно активно помогают противостоять радиации прямо или косвенно витамины В₆ и В₁₂.

Витамин В₆ – повышает кроветворение и иммунитет. Его содержат зерновые, капуста, морковь, зелень.

Витамин В₁₂ – способствует образованию эритроцитов, помогает работе нервной системы. Содержится в сое и продуктах животного происхождения.

Витамин С – активизирует процессы кроветворения, повышает иммунитет, выводит из организма свободные радикалы. Содержится в шиповнике, черной смородине, сладком перце, облепихе, черноплодной рябине, цитрусовых, землянике, томатах, капусте, зеленом луке.

Витамин Е – является антиоксидантом, т.к. помогает избавиться от свободных радикалов, улучшает кровообращение. Его содержат облепиха, кукуруза, бобовые, нерафинированные масла (больше - оливковое), гречка, семечки подсолнуха, орехи, чеснок, лук, яблоки, персики.

Витамин РР – улучшает обменные процессы в организме, а, следовательно, и стимулирует выведение радионуклидов из организма. Его содержат рисовые и пшеничные отруби, сухие дрожжи, печень, почки, сердце.

Микро- и макроэлементы. Радионуклиды, загрязняющие в настоящее время продукты питания, по своим химическим свойствам и обмену веществ сходны с некоторыми стабильными химическими элементами:

- цезий с калием и рубидием;
- стронций с кальцием;
- плутоний с трехвалентным железом.

Организм человека усваивает, прежде всего, стабильные химические элементы и лишь при их дефиците — их радиоактивные конкуренты. Поэтому необходимо больше потреблять продуктов, содержащих калий, рубидий, кальций, железо.

Калий – не только блокирует цезий-137, но и регулирует деятельность сердца, почек, скелетных мышц, улучшает работу печени. Источниками калия (суточная потребность 3 г) являются: курага, урюк, изюм, чернослив, чай, орехи, лимон, фасоль, картофель, пшеница, рожь, редька, овсяная крупа, яблоки, хурма, черешня, томаты, капуста, чеснок, черная смородина, свекла, абрикосы. Среди продуктов животного происхождения содержат калий: свинина, икра, сливочное масло.

Источником рубидия является красный виноград.

Кальций – не только блокирует поступление в ткани стронция-90, но и укрепляет кости, иммунную и кровеносную системы. Источником кальция (суточная потребность 1 г в сутки) являются: творог, сыр, мясо, рыба, яйца, капуста, зеленый лук, бобы, укроп, репа, петрушка, хрен, шпинат, зеленый горошек, яблоки, огурцы, морковь, овсяная крупа, пшеница, апельсины, лимоны, картофель, семечки.

Железо – способствует образованию эритроцитов, блокирует поглощение организмом плутония. Источником железа (суточная потребность 15–30 мг в сутки) являются: мясо, рыба, яблоки, изюм, салат, черноплодная рябина, зеленый лук, яичный желток. Лучше усваивается железо животного происхождения.

Йод – способствует укреплению иммунной и других систем, нормальной работе щитовидной железы. Его содержат яйца, гречка, морковь, овес, морская капуста, чеснок, фасоль, картофель, клубника, свекла.

Кобальт – необходим для системы кроветворения, входит в состав витамина В₁₂. Его содержат шавель, груша, укроп, свекла, зеленый лук, черная смородина, рыба, морковь, клюква, рябина, орехи, горох, фасоль, бобы, сливочное масло, печень, почки.

Магний – способствует обмену углеводов и белков, а, следовательно, и выведению радионуклидов из организма. Его содержат орехи, бобовые, зерно, морская капуста, листовые овощи, яичный желток, печень, овес.

Медь – необходима для нормального функционирования иммунной системы организма. Медь содержат свекла, картофель, яблоки, горох, фасоль, орехи, соя, гречка, сыр, рыба, мясо, яйца, печень, молочные продукты.

Натрий – является конкурентом цезия-137. Его содержат пищевая соль и некоторые овощи.

Селен – поглощает радикалы воды в значительных количествах, восстанавливает иммунную систему, снижает частоту опухолей молочной и щитовидной железы. Его содержат рис, ячмень, овес, зелень, чеснок, мясопродукты, рыба.

Сера – повышает сопротивляемость клеток организма к действию радиации, помогает восстанавливаться молекулам ДНК. Ее содержат капуста, петрушка, водяной кресс.

Фосфор – способствует нормальной работе системы кроветворения, подавляет раковые клетки. Его содержат рыба, яблоки, зеленый горошек, овес, гречка, пшено, мясо, яйца, огурцы, молоко.

Людям, проживающим на загрязнённых радионуклидами территориях, необходимо обеспечить себе витаминизированное и богатое минеральными веществами питание. Следует также уделить внимание **применению лекарственных трав и средств, обладающих радиозащитным действием и улучшающих функции организма:**

- женьшень, лимонник, хвощ полевой, земляника, боярышник, крапива, пустырник и др. - стимуляторы сердечно-сосудистой деятельности;

- золотой корень, элеутерококк, крапива, подорожник, земляника, одуванчик, иван-чай, шиповник и др. - стимуляторы кроветворения;

- облепиха, подорожник, ромашка аптечная, женьшень, элеутерококк, золотой корень, аралия, заманиха, медуница лекарственная, одуванчик - противолучевые средства;

- облепиха, шиповник, черная смородина, земляника, одуванчик, крапива двудомная, спорыш, калина и др. - общеукрепляющие средства;

- подорожник, шалфей, береза, хвощ полевой, зверобой, др. - противомикробные средства.

4. Методика проведения работы

В лабораторной работе используется радиометр СРП-88П, предназначенный для измерения потока гамма излучения от 10 до $3 \cdot 10^4$ фотонов/с (s^{-1}) с погрешностью $\pm 10\%$.

Прибор состоит из блока детектирования, преобразующего фотоны гамма излучения в электрические импульсы и пульта универсального цифрового измерения средней частоты импульсов.

Блок детектирования выполнен в виде гильзы диаметром 40 мм, длиной 400 мм, внутри которой установлены электронные блоки, фотоумножитель с кристаллом $Na J (Te)$ размером 25×40 мм.

Принцип действия радиометра основан на регистрации импульсов, поступающих от сцинтилляционных блоков детектирования. Величина интенсивности потока гамма-излучения фиксируется на табло пульта.

Для проведения лабораторной работы необходимо установить на пульте универсального цифрового измерения переключатели:

- «Порог» - в положение - «Изм.»;
- «Диапазон» - в положение —«0,3».

4.1. Провести измерение изменения интенсивности потока гамма излучения в зависимости от расстояния между источником излучения (блоком детектирования) и пультом цифрового измерителя (защита расстоянием).

За начальную точку измерения (R_0) принято расстояние, равное 3 см, соответствующее расстоянию, при котором блок детектирования касается пульта измерения. Дальнейший отсчет расстояния (высоты) ведется в соответствии со шкалой, установленной с левой стороны пульта управления ($R_i = 6, 11, 16, 21$ и 25 см). Интенсивность потока на расстояние, равным 25 см, принимается за естественный фон.

Таблица 7.3

Изменение интенсивности потока излучения от расстояния

№ замера	R_i в см					
	3	6	11	16	21	25
1						
2						
3						
4						
5						
$N_{ср}$						
N_R						
$N_{выч}$						

На каждом расстоянии производится пять замеров. Результаты измерений, абсолютные числовые значения (показание прибора 0,821 абсолютное число 821), записываются в табл. 7.3.

По результатам измерений потока γ -излучения провести вычисление величин:

$$N_{ср} = \sum Ni/5,$$

$$N_R = N_{cp} - N_{\phi}, \text{ где } N_{\phi} = \text{const} = N_{cp} \text{ при } R = 25,$$

$$N_{\text{выч}} = N_0(R_0/R_i)^2, \text{ где } N_0 = \text{const} = N_R \text{ при } R = 3, \text{ а } R_0 = 3 = \text{const}.$$

По результатам расчета построить график

$$N_R, N_{\text{выч}} = f(R_i)$$

и делается вывод о влиянии расстояния на интенсивность фотонов γ -излучения.

4.2. Провести измерения изменения интенсивности поглощения потока гамма излучения различными материалами

Таблица 7.4

Исследуемые материалы	Интенсивность гамма излучения, имп./с.								δN	$d_{1/2}$
	При наличии экрана				Без экрана					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	N_1	N_2	N_3	N_{cp}	N_1	N_2	N_3	N_{cp}		
Бетон $d = \dots$ мм $\mu = \dots$										
Сталь $d = \dots$ мм $\mu = \dots$										
Свинец $d = \dots$ мм $\mu = \dots$										

Установить исследуемый материал (экран) между блоком детектирования и корпусом пульта измерения. Блок детектирования придвигают вплотную к исследуемому материалу. Провести три измерения интенсивности фотонов γ -излучения (N_i).

Убрать исследуемый материал, не изменяя расстояние между детектором и корпусом пульта измерения. Провести три измерения интенсивности γ -излучения без материала (экрана). Результаты измерений (абсолютные значения цифр) записать в табл. 7.4.

4.3. Расчёты результатов выполненных измерений

1. Определить количество фотонов, поглощенных 1 мм материала (экрана).

$$\delta N = \frac{N_{\text{ср. без экрана}} - N_{\text{ср. с экраном}}}{d \text{ (мм)}}$$

где d - толщина исследуемого материала в мм,

$N_{\text{ср.}}$ - без экрана,

$N_{\text{ср.}}$ - с экраном.

Средние значения интенсивности потока гамма излучения без экрана и с экраном, соответственно.

2. Определить толщину половинного ослабления потока гамма излучения исследуемого материала.

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu,$$

где μ - линейный коэффициент ослабления при энергии гамма, излучения 1,25 МэВ.

μ равно для:

Бетона - $0,14 \text{ см}^{-1}$,

Стали - $0,34 \text{ см}^{-1}$,

Свинца - $0,66 \text{ см}^{-1}$.

По результатам расчета δN и $d_{1/2}$ дать заключение об эффективности поглощения (защиты) исследуемых материалов γ -излучения.

5. Выводы по выполненной работе

6. Вопросы к зачёту

1. Какие существуют методы защиты от ионизирующего (радиационного) излучения?

2. Какой Вы знаете основной механизм воздействия радиации на биологическую ткань?

3. Методы физической защиты от воздействия ионизирующего излучения?

4. Что выражает коэффициент половинного ослабления?

5. Принцип действия радиометра СРП - 88П?

6. Как можно защитить себя от воздействия радиации при хроническом (длительном) его воздействии на организм?
7. Какой кривой описывается изменение интенсивности потока гамма-излучения от расстояния?
8. Какие микро-, макроэлементы и витамины полезны человеку, проживающему на загрязнённой радионуклидами территории?
9. Дайте определение и приведите примеры стохастических и детерминистских эффектов.
10. Какие лекарственные травы и средства, обладают радиозащитным действием и улучшают функцию организма?

РАДИАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА

1. Цель работы: ознакомиться с особенностями и различиями загрязнения окружающей среды после ядерного взрыва и аварии на АЭС, загрязнения территории радионуклидами, с приборами радиационной разведки, действие которых основано на ионизационном методе, и с методами контроля загрязненности поверхностей, а также приобрести навыки в работе с ними.

2. Порядок выполнения работы:

2.1. При выполнении работы руководствоваться правилами техники безопасности в лаборатории;

2.2. до начала выполнения работы изучить устройство, эксплуатацию и подготовку к работе с прибором, находящимся на рабочем месте;

2.3. при работе с источниками ионизирующих излучений разрешается освобождать их от предохранительных экранов только на время выполнения замера, помня о вредности их воздействия;

2.4. не оставлять приборы включенными во время перерывов в работе, т.к. это приводит к расходованию ресурсов источников питания;

2.5. оберегать прибор от толчков, ударов, падений, при переноске использовать его укладочный ящик;

2.6. при обнаружении неисправностей или сомнения в работоспособности собранных схем обращаться к преподавателю или лаборанту;

2.7. законспектировать в рабочую тетрадь ответы на контрольные вопросы;

2.8. рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3. Теоретическая часть

В 1938 году немецкие физики Отто Ган и Фриц Штрассман открыли, что при бомбардировке атомов урана (^{235}U) нейтронами некоторые ядра расщепляются на две примерно равные части и при этом высвобождается большое количество ядерной энергии. В начале 1939 года французский физик Жолио-Кюри сделал вывод, что возможна цепная реакция, которая приведет к взрыву чудовищной разрушительной силы и что уран может стать источником энергии, как обычное взрывное вещество. Это заключение стало толчком для разработок по созданию ядерного оружия.

3.1. Ядерное оружие. К осени 1944 года работы по созданию атомной бомбы были завершены. Утром 6 и 9 августа 1945 года американцы взорвали две атомные бомбы над японскими городами Хиросима и Нагасаки. В результате погибло 105 тыс. и ранено 69 тыс. человек, соответственно. В СССР испытание ядерного оружия было произведено в 1949 году на полигоне Семипалатинска. В создании атомной бомбы принял участие коллектив ученых (И.Е. Тамм, А.И. Алиханов, Я.И. Френкель, Д.Д. Иваненко, А.П. Александров), который возглавлял И.В. Курчатов.

Принцип работы ядерного оружия основан на цепной реакции. В куске урана (^{235}U) или плутония (^{239}Pu) при бомбардировке нейтронами происходит расщепление первого ядра, и освобождаются 2-3 нейтрона, которые в свою очередь расщепляют следующие 4 ядра с выделением 8-12 нейтронов и т.д. При расщеплении ядер за доли секунды, количество расщепленных атомов, а значит и количество выделенной при этом энергии, возрастает лавинообразно. Этот процесс называется цепной реакцией (рис. 8.1).



И.В. Курчатов

(1903-1960)

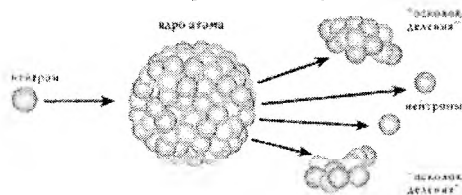


Рис. 8.1 Цепная ядерная реакция

Для того чтобы цепная реакция произошла, необходима минимальная масса ядерного топлива (^{235}U) или (^{239}Pu) – критическая масса. Критическая масса для ^{235}U равна 23 кг, а для ^{239}Pu – 5,6 кг.

В атомной бомбе используют чистый ^{235}U или ^{239}Pu с критической массой, разделенной на две или более частей. Для взрыва необходимо соединить эти части над целью в единое целое, чтобы их общая масса стала более критической. Источником цепной реакции становится источник нейтронов. В миллионные доли секунды происходит цепная реакция с выделением огромного количества энер-

гии и смертельной радиации. Высокоактивные продукты распада сыплются с неба, неся гибель всему живому.



Приведенную высоту взрыва определяют по формуле, равной =

$$H/q^{1/3} = 10,2 \text{ м/т}^{1/3},$$

где H - высота взрыва в метрах,

q - мощность взрыва в тоннах тротилового эквивалента.

Причиной радиоактивного загрязнения местности в районе эпицентра взрыва является образование в грунте наведенной активности под действием потока нейтронов проникающей радиации, испускаемой из зоны взрыва ядерного заряда. На 1 час после взрыва радиационная разведка предупредительными знаками обозначает границы зон радиоактивного загрязнения с уровнями радиации 25 Р/ч, 0,5 Р/ч и 0,1 Р/ч. Уровни радиоактивности на местности в районе эпицентра ядерного взрыва измеряются на разное время после его осуществления (табл. 8.1).

Таблица 8.1

**Мощности доз гамма-излучения на местности
в районе эпицентра воздушного ядерного взрыва**

Расстояние от эпицентра взрыва, м	Мощность дозы гамма-излучения на различное время после взрыва, Р/ч				
	30 мин	1 час	5 час	1 сут	3 сут
100	-	-	12	1	0,3
200	140	85	9	0,8	0,1
400	19	12	1,2	0,1	-
700	2,0	1,2	0,1	0,001	-
1000	0,3	0,2	0,02	0,002	-

От эпицентра воздушного ядерного взрыва начинается ближний след. Он образуется за счёт осаднения на местности продуктов взрыва ("осколков деления"). Масштабы радиоактивного загрязнения и положение этого следа по пути движения приземного пылевого образования определяется, главным образом, направлением и скоростью ветра. По данным измерений в момент взрыва и через 1,5 часа после него средняя скорость ветра на высоте до 10 км достигает порядка 90 км/ч.

Максимальный уровень радиоактивности по оси ближнего следа, измеренный через час после взрыва, не превышает 0,1 Р/ч и наблюдается только на расстояниях от 25 до 70 км от эпицентра взрыва. В табл. 8.2 приведены данные, характеризующие максимальные уровни радиации по оси следа пылевого приземного образования на различных расстояниях от места взрыва.

Положение дальнего следа определяется переносом облака взрыва. Формирование его, как источника радиоактивного загрязнения, происходит, в основном, за счёт конденсации паров конструктивных материалов бомбы с последующей коагуляцией капель и локализацией на них радиоактивных продуктов взрыва. Максимальный размер образующихся таким образом радиоактивных частиц не превышает 40-50 мкм при среднем размере около 10 мкм. Такие медленно оседающие частицы могут распространяться и выпадать на землю на расстояниях до нескольких сот и даже тысяч километров от места проведения взрыва.

Таблица 8.2

Радиационные характеристики ближнего следа радиоактивных выпадений

Расстояние от места взрыва, км	Время после взрыва, час	Мощность дозы гамма-излучения на местности, мР/ч	Ширина следа через 2 часа после взрыва, км
10	0,5	5	1
25	0,8	100	8
50	1,1	100	20
70	1,5	100	23
135	2,0	50	28
210	2,5	40	28

3.2. Радиационные катастрофы. Помимо взрыва ядерного оружия к радиационным катастрофам относятся события на ядерных

станциях, сопровождающиеся образованием ядерного облака, и рассеивание радионуклидов при взрыве взрывчатых веществ или крушении транспортных средств. Особенно неблагоприятная обстановка существует в атомной энергетике. С 1971 по 1984 гг. на атомных станциях ФРГ произошла 151 авария. В Японии на 37 действующих АЭС с 1981 по 1985 гг. зарегистрировано 390 аварий, 69% которых сопровождались утечкой радиоактивных веществ. В 1985 г. в США зафиксировано 3 000 неисправностей в системах и 764 временные остановки АЭС. Радионуклиды, попадающие во внешнюю среду при радиационной аварии на АЭС, образуют зоны загрязнения территории. Они имеют вид эллипса и представлены на рис. 8.2.

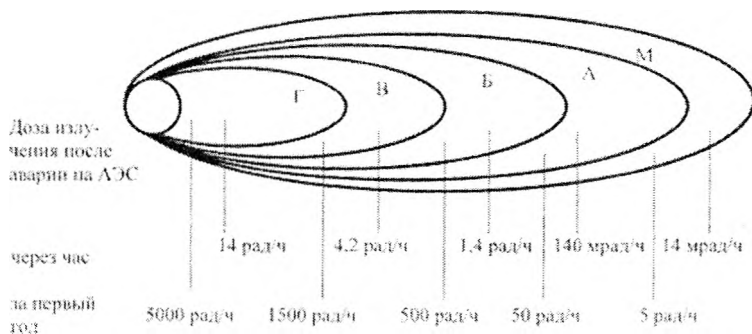


Рис. 8.2. Результаты оценки радиационной обстановки наносят на карту в виде прогнозируемых зон, а в последующем – фактических

Радионуклидный состав загрязнённых зон, образующихся после радиационных катастроф, приведен в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Радионуклиды, попадающие во внешнюю среду после радиационных катастроф и ядерных взрывов

Респираторная (Р), Гастроинтестинальная (Г), Первичная (токсичность)						
Элемент	Символ	Источник	Излучение	Абсорбция Р	Абсорбция Г	Токсичность
Америций	²⁴¹ Am	ЯО	α-	75%	Минимальная	Скелет, отложение в печени, угнетение костного мозга

Респираторная (Р), Гастроинтестинальная (Г), Первичная (токсичность)						
Элемент	Символ	Источник	Излучение	Абсорбция Р.	Абсорбция Г.	Токсичность
Цезий	¹³⁷ Cs	МИЯП	β-, γ-	Полная	Полная	Облучение всего тела
Кобальт	⁶⁰ Co	МИ-ПИ	β-, γ-	Высокая	<5%	Облучение всего тела
Йод	¹³¹ I	ЯО, ЯП	β-, γ-	Высокая	Высокая	Разрушение щитовидной железы, рак
Фосфор	³² P	МИ	β-	Высокая	Высокая	Быстро делящиеся клетки
Плутоний	²³⁸ , ²³⁹ Pu	ЯР ЯО ЯП	α-, γ-	Высокая	Минимальная	Легкие, кости, печень
Стронций	⁹⁰ Sr	ЯО ЯП	β-, γ-	Ограниченная	Умеренная	Кальций костный

Примечание: МИ - медицинские и исследовательские источники; ПИ - пищевые источники излучения; ЯО – взрыв ядерного оружия; ЯП - ядерные предприятия. ЯР - отходы ядерных реакторов.

3.3. Радиационная разведка. Организуется и проводится при радиационных катастрофах с целью:

- получения данных для оценки степени радиационного поражения людей,
- определения необходимости оказания медицинской помощи,
- определения объёма санитарной обработки людей и ветеринарных действий в отношении животных,
- дезактивации техники и имущества, продовольствия, фуража, помещений, строений, территорий.

Результаты радиационной разведки должны быть достоверными, что достигается постоянной готовностью технических средств к работе, твёрдыми навыками в работе с ними и умелым их использованием.

Нельзя исключать возможность загрязнения рабочих поверхностей, кожных покровов, одежды, местности и строений, что может привести к внешнему облучению персонала. Но это может оказать-

ся потенциальным источником внутреннего облучения. Проникновение радиоактивных веществ внутрь организма может произойти через органы дыхания вместе с пылью и радиоактивными аэрозолями, вследствие всасывания через загрязненную кожу или попадать через рот с загрязненных рук, с пищей, жидкостью, при курении.

Величину внутреннего облучения определить очень трудно, т.к. она зависит от многих факторов. Например, всасывание радиоактивных веществ через кожу зависит от состояния кожи данного индивидуума, физико-химических свойств веществ, находящихся на коже, влажности и температуры воздуха в помещении, характера выполняемой работы и др.

Сам переход радиоактивных веществ с загрязнённых поверхностей в воздух зависит от интенсивности проводимых в помещении работ, насыщенности оборудованием, материала загрязнённой поверхности, физико-химических свойств радиоактивных веществ, кратности обмена воздуха.

Допустимые уровни загрязнения поверхностей объектов устанавливаются Нормами радиационной безопасности - НРБ-2000 и Основными санитарными правилами - ОСП-2001 для наиболее благоприятных условий проникновения радиоактивных веществ. При этом учитывается коэффициент безопасности, соблюдение санитарных правил, исходя из опыта работы с радиоактивными материалами, степени герметизации процесса, эффективности моющих средств.

3.3.1. Классификация приборов радиационной разведки

Приборы радиационной разведки предназначены для определения уровней радиации на местности, а также степени загрязнения радионуклидами одежды, кожных покровов, продуктов; жидкостей, техники, местности, строений. Они подразделяются на:

1) Индикаторы радиоактивности.

а) Обнаружение радиоактивного загрязнения местности в рентген/ч. Рентгенометры ДП-ЗБ.

б) Измерение уровней радиации на загрязнённой местности. Измеряется в рентген/ч.

2) Радиометры-рентгенометры.

а) Измерение уровней радиации на ДП-5А, ДП-5Б, ДП-5В, ДП-5, ДП-22В, ДП-24 и др. загрязнённой местности, рентген/ч.

б) Измерители мощности дозы.

в) Определение степени загрязнённости ИМД-5, ИМД-1 ДП-100А поверхностей радиоактивными веществами, расп./ч·см².

Таблица 8.4

Тактико-технические характеристики дозиметров и измерителей мощности экспозиционной дозы, используемых для радиационной разведки и дозиметрического контроля на объекте

Наименование	Назначение	Диапазон измерения	Погрешность измеренной дозы, %	Диапазон рабочих температур, °С	Основные данные по комплектности
Дозиметры					
Комплект дозиметров ДП-22В, имеющий ДКП-50А	Для измерения экспозиционных доз γ -излучения	2-50Р	± 10	- 40...+50	ДКП-50А-50 шт. Зарядное устройство ЗД-5 – 1шт. Дкп-50А – 32 г. Комплект в укладочном ящике – 5кг; ЗД-5 – 1,4 кг.
Комплект дозиметров ДП-24, имеющий ДКП-50А	То же	2-50Р	± 10	- 40...+50	ДКП-50А-5 шт. Зарядное устройство ЗД-5 – 1шт. Комплект в укладочном ящике – 3,2 кг.
Комплект индивидуальных дозиметров ИД-1	Для измерения поглощенных доз γ -излучения	20-500рад	± 20	- 50...+50	ИД-1 - 10шт. Зарядное устройство ЗД-6 - 1шт. ИД-1 -40 г Комплект в футляре - 1,5кг. ЗД-6- 0,5кг

Наименование	Назначение	Диапазон измерения	Погрешность измеренной дозы, %	Диапазон рабочих температур, °С	Основные данные по комплектности
Измерители мощности экспозиционной дозы (радиометры-рентгенометры)					
Измеритель мощности дозы ДП-5А (Б)	Для измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучений на местности и радиоактивного загрязнения различных поверхностей по γ -излучению	0,05мР/ч - 200Р/ч	± 30	-40...+50 при влажности 65 ± 15 %	Прибор в футляре с контрольным источником бета-излучения - 1шт. Удлинительная штанга - 1шт.
Измеритель мощности дозы ДП-5В	То же	0,05мР/ч - 200Р/ч	± 30	-40...+50 при влажности 65 ± 15 %	То же
Бортовой измеритель мощности ДП-3Б	Для измерения экспозиционной дозы γ -излучений на местности	0,1-500Р/ч	± 10 (± 15 на первом поддиапазоне)	40...+50	Измерительный пульт - 1шт. Выносной блок - 1шт. ЗИП-1 комплект.

3.3.2. Прибор ИМД-1С

Предназначен для измерения в полевых условиях мощности экспозиционной дозы γ -излучения в диапазоне энергий от 0,08 до 3 МэВ и обнаружения β -излучения со средней энергией 0,6 МэВ. Диапазон измерений от 0,01 мР/ч до 999 Р/ч, который разбит на два поддиапазона:

«mR/h» с пределами измерений от 0,01 до 999 мР/ч,

«R/h» с пределами измерений от 0,01 до 999 Р/ч.

Измеритель обеспечивает срабатывание звуковой сигнализации при достижении мощности экспозиционной дозы 0,1 и 300 мР/ч на поддиапазоне «mR/h» и 0,1 и 300 Р/ч — на поддиапазоне «R/h».

Время измерения не превышает:

60 с — на поддиапазоне «mR/h» от 0,01 до 9,99 мР/ч,

6 с — на поддиапазоне «mR/h» от 10 до 999 мР/ч;

15 с — на поддиапазоне «R/h» от 0,01 до 9,99 Р/ч,

1,5 с — на поддиапазоне «R/h» от 10 до 999 Р/ч.

Время непрерывной работы измерителя от одного комплекта элементов — не менее 100 ч. При этом, дополнительная погрешность не превышает $\pm 10\%$.

Электропитание измерителя осуществляется от четырех последовательно соединенных элементов А-343 «Прима» с номинальным напряжением +6 В, от бортовой сети постоянного тока или аккумуляторов с напряжением от 10,8 до 30 В, от сети переменного тока с напряжением (220 \pm 22) В с частотой 50 или 400 Гц.

Комплектация включает в себя пульт измерительный, блок детектирования, блок питания ИМД-1-2 и ИМД-1-6, удлинительную штангу, жгут и кабель соединительный, ЗИП, эксплуатационную документацию.

Принцип действия измерителя основан на преобразовании мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в импульсы напряжения, частота следования которых пропорциональна измеряемой величине, с дальнейшей обработкой полученной информации в пульте измерительном и представлением ее на цифровое табло в единицах измерения мощности экспозиционной дозы (Р/ч, мР/ч).

3.3.2.1 Экспериментальная часть

Подготовка прибора к работе:

1. Извлечь блоки измерителя из укладочного ящика.

2. Провести внешний осмотр измерителя.
3. Подключить питание измерителя в следующей последовательности.

При работе от комплекта элементов:

- 1) отвернуть шесть винтов и снять крышку батарейного отсека;
- 2) установить элементы А-343 «Прима» в батарейный отсек с соблюдением полярности;
- 3) установить крышку батарейного отсека на место и завернуть винты.

При работе от сети постоянного тока:

- 1) отсоединить батарейный отсек, отвернув два крепежных винта;
- 2) пристыковать к пульту измерительному блок питания ИМД-1-2, завернув два винта;
- 3) подсоединить жгут ЖШ6.644.569 к блоку питания и подключить к сети постоянного тока с напряжением не менее +10,8 В и не более +30 В;
- 4) включить тумблер на блоке питания. Световой индикатор, расположенный на блоке питания, должен сигнализировать о его включении.

Проверка работоспособности проводится в следующей последовательности:

- 1) подключить питание;
- 2) установить переключатель на пульте измерительном положение ВЫКЛ;
- 3) подключить к пульту измерительному блок детектирования ИМД-1-1 с помощью жгута;
- 4) убедиться, что через время не более 120 с на цифровом табло установятся показания, отличные от нуля. При нулевых показаниях по истечении 120 с — выключить измеритель;
- 5) подключить головные телефоны к разъему Х2 измерительного пульта и убедиться в наличии щелчков в телефоне с интенсивностью, соответствующей фоновому излучению.

Проведение измерений.

Для измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения в диапазоне от 0,01 до 999 Р/ч необходимо выполнить следующее:

- 1) установить переключатель на пульте измерительном положение «R/h»;
- 2) через 1 мин нажать кнопку ОТСЧЕТ и зафиксировать показания цифрового табло.

Для измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения в диапазоне от 0,01 до 999 мР/ч, необходимо:

- 1) подключить блок детектирования к разъему XI пульта измерительного с помощью жгута;
- 2) зафиксировать поворотный экран на корпусе блока детектирования в положении «у»;
- 3) установить переключатель на пульте измерительном в положение «mR/h»;
- 4) через 2 мин нажать кнопку ОТСЧЕТ и зафиксировать показания цифрового табло.

Для определения загрязнения поверхности радиоактивными веществами, необходимо:

- 1) подключить блок детектирования к разъему XI пульта измерительного с помощью жгута;
- 2) зафиксировать поворотный экран на корпусе блока детектирования в положении «у»;
- 3) установить блок детектирования на загрязненную поверхность с помощью специальных выступов на корпусе блока;
- 4) установить переключатель на пульте измерительном в положение «mR/h»;
- 5) через 2 мин нажать кнопку ОТСЧЕТ и зафиксировать показания цифрового табло.

Для обнаружения β -излучения, необходимо:

- 1) зафиксировать поворотный экран на корпусе блока детектирования в положении « $\beta+\gamma$ »;
- 2) установить блок детектирования на загрязненную поверхность с помощью специальных выступов на корпусе блока;
- 3) через 1 мин нажать кнопку ОТСЧЕТ и зафиксировать Показания цифрового табло. Увеличение показаний по сравнению с показаниями, полученными при измерении, указывает о наличии β -излучения.

При проведении измерений с использованием блока детектирования для увеличения расстояния от оператора до измеряемого объекта необходимо использовать раздвижную штангу.

При проведении измерений с использованием блока детектирования для удаления пульта измерительного от измеряемого объекта на расстояние до 20 м блок детектирования к пульта необходимо

подключать с помощью жгута, входящего в комплект поставки измерителя ИМД-1С.

В случае срабатывания в процессе измерений световой индикации разряда элементов СМЕНИТЬ БАТАРЕИ, необходимо выключить измеритель и сменить комплект элементов.

При проведении измерений в условиях прямого солнечного света, необходимо пользоваться тубусом, входящим комплект поставки измерителя.

По окончании работы с измерителем необходимо выполнить следующее:

1. Переключатель на пульте измерительном установить в положение ВЫКЛ.
2. Отсоединить жгуты от разъемов Х1 и Х2 пульта и прикрутить на разъемы заглушки.
3. Отключить источник питания.
4. Поместить измеритель в укладочный ящик

3.3.2.2 Порядок выполнения работы

Занять рабочее место, проверить наличие и работоспособность источников электропитания, обеспечить отсутствие на рабочем месте посторонних предметов, строго выполнять меры безопасности.

Выполнить работы, указанные в разделе "Экспериментальная часть" (при выполнении замеров радиоактивной загрязненности объектов и величины β -излучения установку стрелки преподаватель задаёт в положении переключателя РЕЖИМ).

По окончании работы с прибором изъять из отсека питания элементы АЗ36, проверить комплектность и сдать рабочее место преподавателю или лаборанту.

В отчёте по выполненной работе отразить, к какой группе относится исследуемый прибор; указать его назначение, название, принцип работы; привести результаты замеров и дать их анализ.

4. Выводы по выполненной работе

5. Вопросы к зачёту

- 1) Как классифицируются дозиметрические приборы?
- 2) Меры безопасности при работе с источниками излучений.

3) Принцип действия ядерного оружия.

4) Какая мощности доз γ -излучения на местности в районе эпицентра воздушного ядерного взрыва и ближнего следа радиоактивных выпадений?

5) Предельно допустимые уровни и степени радиоактивного заражения объектов.

6) Какие события можно отнести к радиационным катастрофам ?

7) Организация и проведение радиационной разведки.

8) Какие радионуклиды выпадают на землю после катастрофы и взрыва ядерного боеприпаса?

9) Какие меры проводятся после взрыва ядерной бомбы?

ГЛОССАРИЙ

Авария - нарушение эксплуатации ядерной установки (например, атомной станции), при котором происходит выход радиоактивных материалов и/или ионизирующих излучений в количествах, приводящих к значительному облучению персонала, населения и окружающей среды.

Активность – мера радиоактивности. Определяет количество атомных ядер, распадающихся за одну секунду, или число актов распада в секунду (скорость радиоактивного распада). Измеряется в Беккерелях (Бк) - система СИ, либо Кюри (Ки) - внесистемная единица.

Активность радиоактивного вещества объемная - отношение активности радиоактивного вещества к объему этого вещества. Единицей объемной активности радиоактивного вещества является Бк/м³.

Активность радиоактивного вещества удельная - отношение активности радиоактивного вещества к массе этого вещества. Единицей удельной активности радиоактивного вещества является Бк/кг.

Альфа распад (α -распад) - самопроизвольный распад атомных ядер некоторых элементов, сопровождающихся испусканием α -частиц (${}^4_2\text{He}$).

Альфа-частицы (α -частицы) - частицы, выделяемые из ядра атома. Они состоят из 2 протонов и 2 нейтронов и идентичны ядру атома гелия. Положительно заряжены, относительно тяжелые, плохо проникают в ткани. Мало вредоносны при наружном воздействии, но очень опасны при поступлении внутрь организма.

Ампер на килограмм - единица мощности экспозиционной дозы излучения; мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, при которой за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза излучения 1 Кл/кг.

Аннигиляция - взаимодействие элементарной частицы и античастицы, в результате которого они исчезают, а их энергия превращается в электромагнитное излучение.

Античастица - элементарная частица, идентичная по массе, времени жизни и другим внутренним характеристикам ее частице - "двойнику" (нормальной частице), но отличающаяся от нее знаком электрического заряда, магнитного момента и некоторыми другими

характеристиками. Все элементарные частицы имеют свои античастицы. Например, электрон-позитрон, протон-антипротон и т.д. При столкновении частицы и античастицы происходит их аннигиляция.

Атом - наименьшая частица химического элемента, сохраняющая его свойств. Состоит из атомного ядра и электронной оболочки, в которой на определенных энергетических уровнях располагаются электроны. Общее число электронов равно порядковому номеру в периодической системе Д.И. Менделеева.

Атомная масса - масса атома химического элемента, выраженная в атомных единицах массы (а.е.м.). За 1 а.е.м. принята $1/12$ часть массы изотопа углерода с атомной массой 12. $1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Атомная масса складывается из масс всех протонов и нейтронов в данном атоме.

Атомная единица энергии - энергия, соответствующая одной атомной единице массы. $1 \text{ а.е.м.} = 931.5016 \text{ МэВ}$.

Атомное ядро - положительно заряженная центральная часть атома, вокруг которой вращаются электроны и в которой сосредоточена практически вся масса атома. Состоит из протонов и нейтронов. Заряд ядра определяется суммарным зарядом протонов в ядре и соответствует атомному номеру химического элемента в периодической системе элементов.

АЭС - атомная электростанция, предназначенная для производства электрической энергии.

Беккерель (Бк) - 1 распад в секунду. $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад в секунду}$.

Бета - распад (β-распад) - самопроизвольные превращения атомных ядер некоторых элементов, сопровождающиеся испусканием электрона и антинейтрона (или позитрона и нейтрона).

Бета - частицы (β-частицы) - частицы с высокой скоростью распространения, идентичные электрону и позитрону, испускаемые ядром атома.

Биологический эквивалент рада (бэр) - внесистемная единица эквивалентной дозы излучения. $1 \text{ бэр} = \text{доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и поглощённая доза в } 1 \text{ рад}$. $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зиверт}$.

Биологическое действие излучения - биологические, физиологические, генетические и другие изменения в живых клетках и организмах в результате действия ионизирующего излучения. В основе биологического действия излучения лежат:

- процессы ионизации и возбуждения молекул;
- радиационно-химические реакции;
- изменение функции ДНК.

При значительных дозах облучения возникают неблагоприятные последствия, вплоть до гибели клеток и организмов.

Взаимодействия элементарных частиц - взаимные влияния элементарных частиц, определяющие:

- силу связи между ними;
- изменения их состояний;
- взаимопревращения.

В физике известны четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

Взвешивающий коэффициент – 1) множитель поглощённой дозы, учитывающий относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов (фотоны, электроны и мюоны – 1; нейтроны – 5-20; протоны – 5; α -частицы – 20); 2) множитель эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые для учёта различной чувствительности органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации (колеблется от 0,20 - для гонад до 0,01 – для кожи и костных клеток).

Внешнее облучение – воздействие на организм ионизирующего излучения от внешних по отношению к нему источников излучения.

Внутреннее облучение – воздействие на организм ионизирующего излучения радиоактивных веществ, находящихся внутри (попавших внутрь) организма.

Гамма лучи - форма ионизирующей радиации, которая не имеет массы. Как и видимый свет, гамма-лучи состоят из фотонов. γ -лучи имеют высокую проникающую способность и оказывают наиболее серьёзный повреждающий эффект после радиационного воздействия.

Гамма распад - электромагнитное излучение, испускаемое возбужденным ядром с очень малой длинной волны и очень высокой частотой (γ -излучение), при этом энергия ядра уменьшается, массовое число и заряд ядра остаются неизменными.

Генетические последствия излучения - нежелательные радиационные последствия воздействия ионизирующих излучений на живой организм, связанные с изменением его наследственных свойств и проявляющиеся у потомства облученного организма.

Группы критических органов - критические органы, отнесенные к I, II или III группам в порядке убывания радиочувствительности

сти, и для которых устанавливают разные значения основного дозового предела. В группу I критических органов включены все тело, гонады, красный костный мозг, во группу II - мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаз и другие органы, не относящиеся к группам I и III, в III группу - кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Грэй (Гр) - единица поглощения дозы излучения. 1 Гр = поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж.
 $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$.

Грэй в секунду (Гр/с) - единица мощности поглощенной дозы излучения. 1 грэй в секунду = мощность поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Гр.

Джоуль - единица работы, энергии, количества теплоты. Равен работе силы N , перемещающей тело на расстоянии 1 м в направлении действия силы, обозначение (Дж).

Дезактивация - действия по удалению радиоактивных материалов, выполняемые, для того чтобы сделать какой-либо объект или территорию безопасными для пребывания там незащищенных от воздействия радиации людей.

Дейтрон - ядро атома дейтерия, состоит из одного протона и одного нейтрона.

Детектор ионизирующего излучения - чувствительный элемент средства измерений, предназначенный для регистрации ионизирующего излучения. Его действие основано на явлениях, возникающих при прохождении излучения через вещество.

Детерминистские эффекты - вредные радиационные эффекты (лучевая болезнь, локальные повреждения, катаракта, склеротические процессы и др.), у которых существует порог, ниже которого эффект отсутствует, а выше - тяжесть эффекта зависит от дозы облучения.

Доза радиации (облучения) в широком смысле - мера действия ионизирующего излучения; средняя энергия, переданная излучением единице массы вещества. Различают экспозиционную, поглощенную, эквивалентную и эффективную эквивалентную дозы.

Дозиметр - прибор для измерения и регистрации дозы ионизирующего излучения (экспозиционной, поглощенной, эквивалентной) и мощности дозы.

Естественный радиационный фон - фактор внешней среды; уровень радиации, создаваемый космическим излучением и ионизирующим излучением естественно распределенных природных радионуклидов (изотопами земной коры на поверхности Земли, в воздухе, продуктах питания, воде, организме человека и др.).

Загрязнитель - природный и антропогенный физический агент, химическое вещество и биологический вид, попадающий в среду жизни или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки обычного своего наличия - предельных естественных колебаний или среднего фона в рассматриваемый период.

Закон обратных квадратов - название зависимости одной величины от другой, когда одна из них изменяется обратно пропорционально квадрату другой. В применении к радиации означает, что интенсивность излучения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

Закон радиоактивного распада - экспоненциальная зависимость, выражающая долю распавшихся радиоактивных изотопов с течением времени.

Для каждого радиоактивного вещества, заданного периодом полураспада, закон радиоактивного распада связывает:

- период наблюдения;
- число радиоактивных атомов в начальный момент наблюдения;
- число радиоактивных атомов в конечный момент наблюдения.

Зиверт (Зв) - единица эквивалентной дозы излучения. 1 Зв = эквивалентная доза излучения, при которой: поглощенная доза излучения равна 1 грёю и коэффициент качества излучений равен 1. 1 Зв = 1 Дж/кг.

Зиверт в секунду (Зв/с) - единица мощности эквивалентной дозы излучения. 1 Зв/с – мощность эквивалентной дозы излучения, при которой за время 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв.

Изотопы - разновидности одного химического элемента, различающиеся по массе ядер. У них одинаковый заряд ядер (атомный номер), но различаются числом нейтронов. Имеют одинаковое строение электронных оболочек, т.е. имеют одинаковые химические свойства, и занимают одно и то же место в периодической системе химических элементов.

Излучение (радиация) - испускание и распространение энергии в виде волн и частиц.

Ион - заряженная частица, образующаяся при потере или присоединении электронов атомами, молекулами и т.д. Ионы соответственно могут быть положительными (при потере электронов) и отрицательными (при присоединении электронов), заряд иона кратен заряду электрона.

Ионизация - образование положительных и отрицательных ионов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Ионизирующее излучение - излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующим излучением является γ -излучение, рентгеновское излучение, пучки электронов и позитронов, протонов, нейтронов, α -частиц. Энергию частиц ионизирующего излучения измеряют во внесистемных единицах - электрон-вольтах (эВ).

Ионизирующая радиация (радиационный фон) - естественные излучения, которые приводят к ионизации электрически нейтральных атомов и молекул. Ионизирующая радиация действует разрушительным образом на живое вещество и является источником широкого спектра изменений живых организмов.

Канцероген - вещество или физический агент (ионизирующее излучение), способные вызвать развитие злокачественных новообразований или способствующий их возникновению. Большинство канцерогенов имеют антропогенное происхождение.

Коллективная эффективная эквивалентная доза (Зв) – эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации.

Космические лучи - потоки частиц высокой энергии, приходящие на Землю из мирового пространства. Различают:

- первичные космические лучи: протоны, нейтроны, альфа-частицы, ядра легких атомов;

- вторичные космические лучи, порожденные первичными лучами при взаимодействии с атомными ядрами атмосферы.

Критическая масса - наименьшая масса ядерного горючего, при которой происходит ядерная цепная реакция.

Кулон на килограмм (Кл/кг) – единица экспозиционной дозы излучения, при которой в результате полного использования ионизирующей способности в 1 кг воздуха при нормальных условиях образуются ионы общим зарядом 1 Кл каждого знака. $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$.

Кумулятивная доза - сумма поглощенных доз излучения, полученных рассматриваемым объектом, независимо от того, было ли облучение однократным или многократным.

Кюри (Ки) - мера радиоактивности. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду (Бк); $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Мезон - нестабильная элементарная частица, масса которой имеет промежуточное значение между массами протона и электрона. Мезоны имеют очень малое время жизни.

Мощность поглощенной дозы излучения - отношение поглощенной веществом дозы излучения к времени, за которое эта доза излучения поглощена. Мощность поглощенной дозы излучения измеряется в Гр/с.

Мощность эквивалентной дозы излучения - отношение эквивалентной дозы излучения к времени, за которое эта доза поглощена веществом. Мощность эквивалентной дозы излучения измеряется в Зв/с.

Мощность экспозиционной дозы излучения - отношение экспозиционной дозы излучения к времени, за которое эта доза излучения передана сухому атмосферному воздуху. Мощность экспозиционной дозы излучения измеряется в А/кг.

Нейтрон - элементарная частица, одна из двух частиц, из которых построено атомное ядро. Входящая в состав ядерных ядер электрически нейтральная элементарная частица:

- с массой покоя, равной 1838 массам электрона;
- распадающаяся в свободном состоянии на протон, электрон и антинейтрино;
- с периодом полураспада 750 с;
- имеющая античастицу (антинейтрон).

Не обладает электрическим зарядом. Мощный, но редкий тип излучения, испускаемый после ядерного взрыва. Нейтроны высоко деструктивны, продуцируют в 10 раз более мощное повреждение тканей, чем γ -лучи.

Нуклид - общее название атомных ядер, отличающихся числом нейтронов и протонов (нуклонов). Нуклиды с одинаковыми атомами номерами и разными массовыми числами называются изотопами.

Нуклон - протон или нейтрон. Протоны и нейтроны могут рассматриваться как два различных зарядовых состояния нуклона.

Облучение - воздействие радиоактивного излучения или процесс, в котором что - либо подвергается такому воздействию.

Опухоль - избыточное патологическое разрастание тканей, образующее качественно изменившимися, недифференцированными клетками. Различают доброкачественные и злокачественные опухоли.

Острая лучевая болезнь - лучевая болезнь, развивающаяся после острого облучения.

Острое облучение - однократное кратковременное облучение биологического объекта, сопровождающееся получением им дозы излучения, вызывающей неблагоприятные изменения его состояния.

Период полураспада изотопа – время, за которое распадается в среднем половина всех радионуклидов данного типа в любом радиоактивном источнике.

Периодическая система элементов - классификация химических элементов, графическое выражение периодического закона Д.И. Менделеева, устанавливающего периодическое изменение свойств химических элементов при увеличении зарядов ядер их атомов.

Поглощенная доза излучения (Гр) - характеристика радиационной опасности; отношение поглощенной энергии ионизирующего излучения к массе облученного вещества, т.е. энергия, депонированная любым типом радиации в любом типе ткани или материала. Единицами измерения поглощенной дозы излучения являются Грэй и рад. 1 рад = 0.01 Гр.

Позитрон - элементарная частица, несущая положительный элементарный заряд, античастица электрона с массой, равной массе электрона, но положительным электрическим зарядом.

Полная коллективная эффективная эквивалентная доза – коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получат поколения людей от какого-либо источника за все время его существования (человеко-зиверт, чел.-Зв).

Протон - одна из частиц, составляющих ядро атома. Протон несет единственный положительный электрический заряд; стабильная положительно заряженная элементарная частица с зарядом $1,61 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. Протон образует ядро "легкого" изотопа атома водорода (протия). Число протонов в ядре любого элемента определяет заряд ядра и атомный номер этого элемента.

Рад (от англ. Radiation Absorbed Dose - доза поглощенного излучения) - внесистемная единица дозы излучения, поглощенной веществом. 1 рад = доза радиации на 1 кг массы тела, эквивалентная энергии в 0.01 джоуля. 1 рад = 0,01 Гр.

Радиационная активность образца – число распадов в секунду в данном радиоактивном образце; единица измерения – беккерель (Бк).

Радиационная защита - способы и средства снижения вредного воздействия ионизирующих излучений на организм. Физической радиационной защитой служит материал, поглощающий излучение: свинец, бетон и др. Химическая радиационная защита достигается вводом в организм перед облучением специальных химических соединений (радиопротекторов).

Радиационный фон - радиоактивное излучение низкого уровня, источником которого являются космические лучи и радиоактивные вещества, которые в естественных условиях содержатся в атмосфере и почве в незначительных количествах.

Радиация - эмиссия (испускание) и распространение энергии в пространстве или в среде в виде ионизирующих частиц или электромагнитных волн. По общепринятой классификации в зависимости от длины электромагнитных волн различают радиоволны, инфракрасные лучи, видимый свет, рентгеновское и γ -излучение.

Радикал - одноядерная или многоядерная электронейтральная частица, имеющая неспаренные электроны. Радикалы обладают высокой реакционной способностью и имеют короткое время жизни в свободном состоянии.

Радиоактивное загрязнение – превышение природного (естественного) радиоактивного фона на определенной территории, основной причиной которого могут быть: авария на атомной электростанции или др. объекте атомной энергетики, ненадежное захоронение радиоактивных отходов, проведение испытаний ядерного оружия и др.

Радиоактивное излучение - ионизирующее излучение, испускаемое при распаде радионуклидов. Воздействие радиоактивного излучения на человеческий организм может иметь смертельные последствия.

Радиоактивность - способность некоторых атомных ядер (радионуклидов) самопроизвольно превращаться (распадаться) в другие ядра с испусканием ионизирующих излучений (α -распад, β -распад, испускание нейтронов, деление тяжелых ядер и т.п.). Описанные изменения приводят к изменению атомного номера или массового числа.

Радиоактивные вещества - не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение.

Радиоактивные осадки - твердые или жидкие частицы, осаждающиеся на поверхность земли из атмосферы, содержащей радионуклиды. Как правило, они выпадают в результате аварий, сопровождающихся взрывами, на предприятиях и устройствах, использующих ядерное топливо, а также при испытании ядерного оружия. Локальные радиоактивные осадки могут быть результатом переноса изотопов, например, ^{226}Ra , содержащегося в продуктах сжигания каменного угля, ^{137}Cs и ^{90}Sr - выпавших с радиоактивными осадками после аварии на ЧАЭС.

Радиоактивный распад – процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида.

Радиометр - прибор или установка для измерений:

- активности радионуклидов в источнике или образце;
- плотности потока, потока и флюенса ионизирующих частиц.

Радионуклид – нестабильный нуклид, обладающий радиоактивностью и способный к самопроизвольному распаду.

Радиопротекторы - вещества, снижающие генетические и физиологические эффекты радиации.

Радон - радиоактивный газ, выделяющийся при радиоактивном распаде урана и тория, содержащихся в земной коре в естественном состоянии. Радон вносит наибольший вклад (примерно половину) в естественный радиационный фон на Земле.

Рак - любая злокачественная опухоль эпителиального происхождения. Иногда в обиходе неправильно используется для обозначения различных форм злокачественных новообразований.

Рентген - внесистемная единица экспозиционной дозы излучения (Р). 1 Р – доза экспозиционная доза излучения, при которой в результате полного ионизационного поглощения в 1 см³ воздуха при нормальных условиях образуются ионы с общим зарядом 0,000'000'000'3 Кл каждого знака. 1 Р в СИ = 0,000'258 Кл/кг.

Рентгеновское излучение (рентгеновские лучи) - коротковолновое электромагнитное излучение. Образуется при торможении в веществе быстрых электронов (например, при бомбардировке металлического электрода в рентгеновской трубке пучком ускоренных электронов). Обладает большой проникающей способностью, действует на фотографическую эмульсию.

Репарация - восстановление тканей тела и состава популяций организмов, поврежденных или изреженных ионизирующим излучением

или ультрафиолетовыми лучами. Репарация происходит посредством размножения клеток и организмов, уцелевших после облучения.

Риск - вероятность того, что событие или определенный исход наступит, обычно измеряемая в процентах. Риск применяется по отношению к развитию стохастических эффектов.

Стохастический эффект излучения - радиационный эффект, обычно проявляющийся без определенного порогового значения дозы облучения, вероятность его (риск) пропорциональна дозе, а тяжесть его проявления не зависит от дозы облучения. Примеры стохастических эффектов: солидные опухоли, лейкемия, генетические нарушения.

Счётчик Гейгера - устройство, используемое для обнаружения и изменения радиоактивности; названо в честь немецкого физика Г. Гейгера (1882-1945).

Тератогены - химические вещества или физические факторы (ионизирующая радиация), вызывающие при воздействии на организм (развивающийся эмбрион) возникновение уродств, умственной отсталости и других аномалий развития.

Удельная активность - отношение активности радионуклида в веществе к его массе.

Эквивалентная доза излучения - произведение поглощенной дозы излучения на коэффициент качества излучения, отражающий способность данного вида излучения в малых дозах повреждать ткани организма. Единицей эквивалентной дозы излучения является Зиверт.

Экспозиционная доза излучения - отношение суммарного заряда одного знака, созданного в воздухе при полном использовании ионизирующей способности излучения, к массе ионизированного воздуха. Экспозиционная доза излучения представляет собой энергетическую характеристику излучения, оцениваемую по эффекту ионизации сухого атмосферного воздуха.

Электрон - стабильная элементарная частица, несущая отрицательный заряд и движущаяся в электрическом поле ядра по электронным орбитам. Электроны входят в состав всех атомов и могут также существовать в свободном состоянии. При переходе электрона на орбиту более близкую к ядру, электрон выделяет энергию.

Элементарные частицы - простейшие структурные элементы

материи, которые на современном уровне развития физики нельзя считать соединением других частиц. Различаются:

- по массам покоя - на лептоны, мезоны и барионы;
- по наличию электрического заряда - на положительные, отрицательные и нейтральные;
- по времени жизни - на стабильные и нестабильные.

Между элементарными частицами осуществляются сильные и слабые электромагнитные взаимодействия.

Эпицентр - точка на поверхности земли или воды, находящаяся непосредственно под или над центром ядерного взрыва.

Эффективная эквивалентная доза – эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бак, З., Александер, П.А. Основы радиобиологии. / Пер. с англ. – М., 1963. – 450 с.
2. Голубев, Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: 2 изд. – М., 1971. – 250 с.
3. ГОСТ 12631-67. Коэффициент качества ионизирующих излучений. – М., 1967.
4. ГОСТ 8848—63. Единицы радиоактивности и ионизирующих излучений. – М., 1964.
5. Гродзенский, Д.Э. Радиобиология. – М., 1966. – 630 с.
6. Громов, В.В., Спицын, В.И. Искусственные радионуклиды в морской среде. – М., 1975. – 267 с.
7. Гудков, И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. – Киев, 1991. – 328 с.
8. Дзикович, И.Б., Ролевич, И.В., Шевчук, В.Е. Радиационная медицина матери и ребёнка. – Мн., 1999. – 145 с.
9. Дорожко, С.В., Пустовит, В.Т., Морзак, Г.И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Часть 1. Чрезвычайные ситуации и их предупреждение. — Мн.: "Технопринт", 2005. – 214 с.
10. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Часть 2. Система выживания населения и защита территорий в чрезвычайных ситуациях. / С.В. Дорожко [и др.]. — Мн.: "Технопринт", 2002. – 262 с.
11. Дорожко, С.В., Бубнов, В.П., Пустовит, В.Т. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Часть 3. Радиационная безопасность. — Мн.: "Технопринт", 2003. – 210 с.
12. Иванов, В.И. Курс дозиметрии, 2 изд. – М., 1970. – 185 с.
13. Ильенко, А.И. Концентрирование животными радионуклидов и их влияние на популяцию. – М., 1974. – 210 с.
14. Калашникова, В.И., Козодаев, М.С. Детекторы элементарных частиц. – М., 1966. – 178 с.
15. Козлов, В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 180 с.
16. Корогодин, В.И. Проблемы пострадиационного восстановления. – М., 1966. – 120 с.

17. Кудряшов, Ю.Б., Беренфельд, Б.С. Радиационная биофизика. – М., 1979. – 240 с.
18. Кузин, А.М. Радиационная биохимия. – М., 1962. – 190 с.
19. Ли, Д.Е. Действие радиации на живые клетки. – М., 1963. – 288 с.
20. Ливанов, М.Н. Некоторые проблемы действия ионизирующей радиации на нервную систему. – М., 1962. – 230 с.
21. Люцко, А.М., Ролевич, И.В., Тернов, В.И. Чернобыль: шанс выжить. – Мн.: Польша, 1996. – 181 с.
22. Маргулис, У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 195 с.
23. Моисеев, А.А., Иванов, В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 260 с.
24. Нормы радиационной безопасности. НРБ-2000. – Мн., 2000. – 109 с.
25. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. ОСП-2002. – Мн., 2003. – 98 с.
26. Основы радиационной биологии. – М., 1964. – 340 с.
27. Павлоцкая, Ф.И., Тюрюканова, Э.Б., Баранов, В.И. Глобальное распределение радиоактивного стронция по земной поверхности. – М., 1970. – 310 с.
28. Первичные процессы лучевого поражения. Сб. ст. – М., 1957. – 280 с.
29. Принципы и методы регистрации элементарных частиц. / Под ред. Л. К. Юан и Цзянь-сюн Ву, пер. с англ. – М., 1963. – 175 с.
30. Радиационная медицина. – М., 1968. – 310 с.
31. Современные проблемы радиобиологии. /Под общ. ред. А.М. Кузина, т. 2. – М., 1971. – 190 с.
32. Тимофеев-Ресовский, Н.В. О принципах попадания и мишеней в радиобиологии // Первичные и начальные процессы биологического действия радиации. – М.: Наука, 1972. – С.26-29.
33. Тимофеев-Ресовский, Н.В., Иванов, В.И., Корогодин, В.И. Применение принципа попадания в радиобиологии. – М., 1968. – 228 с.
34. Тимофеев-Ресовский, Н.В., Савич, А.В., Шальнов, М.И. Введение в молекулярную радиобиологию. – М., 1981. – 319 с.
35. Чещевик, А.Б., Ролевич, И.В. и др. Факторы риска последствий чернобыльской катастрофы. – Мн., 2001. – 320 с.

36. Эйдус, Л.Х. Физико-химические основы радиобиологических процессов и защиты от излучений. – М., 1972. – 240 с.

37. Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси. / Под ред. Конопля Е.Ф. и Ролевича И.В. – Мн.: Белсэнс, 1996. – 280 с.

38. Estimates of ionizing radiation doses in the United States 1960—2000, Wash., 1972. – 80 p.

39. Jarrett, DG. Medical Management of Radiological Casualties. Bethesda, MD: Armed Forces Radiobiology Research Institute; 1999. – 150 p.

40. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Health Effects of Exposures to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR V. Washington, D.C. National Academy Press, 1990, P. 27-30.

41. Radioactivity in the marine environment, Wash., 1971. – 130 p.

42. Recommendations of the International Committee on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP, 1990 vol.21, No.1-3. Oxford, New York: Pergamon Press, 1991. – P. 15.

43. Radioactive contamination of the marine environment. Proceedings of a symposium IAEA, Vienna, 1973; The sea, v. 5, N. Y., 1974. – 95 p.

44. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. New York: United Nations, 1993. – P. 16-17.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Список сокращений

км – километр	км ² – квадратный километр	Дж – джоуль
м – метр	м ² – квадратный метр	T _{1/2} – период полураспада
дм – дециметр	мм ² – квадратный миллиметр	эВ – электрон-вольт
см – сантиметр	кал – калория	МэВ – миллион электрон-вольт
мм – миллиметр	ккал – килокалория	СИ – система интернациональная
мкм – микрометр	% – процент	ЛПЭ – линейная передача энергии
кг – килограмм	°С – градус Цельсия	ln – логорифм
г – грамм	мм. рт. ст. – миллиметр ртутного столба	см. смотри
мг – миллиграмм	Бк – Беккерель	млн. – миллион
мкг – микрограмм	Гр – Грей	тыс. – тысяча
л – литр	Зв – Зиверт	с.- страница
мл – миллилитр	Ки – Кюри	
г. – год	Р – рентген	
ч. – час	А – ампер	
мин. – минута	Кл – кулон	
с – секунда	Вт – ватт	

**Приставки для образования десятичных кратных
и дольных единиц**

Название приставки		Обозначение приставки		Коэффициент умножения, соответствующий приставке	Примеры
		русское	международное		
Кратные	пета-	П	P	10^{15}	петаюри
	тера-	Т	T	10^{12}	терабеккерель
	гига-	Г	G	10^9	гигаюри
	мега-	М	M	10^6	мегагрей
	кило-	к	k	10^3	килобеккерель
	гекто-	г	h	10^2	гектоватт
	дека-	да	da	10^1	декаюри
Дольные	деци-	д	d	10^{-1}	дециметр
	санти-	с	c	10^{-2}	сантиметр
	милли-	м	m	10^{-3}	миллиметр
	микро-	мк	μ	10^{-6}	микроампер
	нано-	н	n	10^{-9}	нанокюри
	пико-	п	p	10^{-12}	пикогрей
<p>Пример образования кратных и дольных от единиц с составным наименованием: 1 кДж (килоджоуль)/кг = 10^3 Дж/кг, 1 мЗв (миллизиверт) = 10^{-3} Зв, 1 мкЗв (микрозиверт) = 10^{-6} Зв и т.д.</p>					

Греческий алфавит

α - альфа	ε - эпсилон	ι - йота	ν - ню	ρ - ро	φ - фи
β - бета	ζ - дзета	κ - каппа	ξ - кси	σ - сигма	χ - хи
γ - гамма	η - эта	λ - ламбда	ο - омикрон	τ - тау	ψ - пси
δ - дельта	θ - тэта	μ - ми	π - пи	υ - ипси-лон	ω - омега

I										PERИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА																		VII	VIII		IX		X		XI		XII																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	II										III										IV										V										VI										17	18		19		20		21		22		23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

Универсальные постоянные

Наименование	Величина	English version	Примечание
атомная единица массы (а.е.м.)	$amu = 1,66053 \cdot 10^{-27}$ кг	atomic mass unit	
электрон - заряд	$e = 1,60219 \cdot 10^{-19}$ К	Electron charge	
электрон - удельный заряд	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ C/kg	Electron specific charge	
электрон - масса	$m = 9,10956 \cdot 10^{-31}$ кг	Electron mass	$mc^2 = 511$ кэВ
электрон - молярная масса	$1 \cdot 10^{-6}$ кг/моль	Electron molar mass	
электрон - магнитный момент	$me = 9,28477 \cdot 10^{-24}$ J/T	Electron magnetic moment	
протон- комптоновская длина волны	$1,32141 \cdot 10^{-15}$ м	Proton Compton wavelength	
протон - удельный заряд	$e/Mp = 0,595 \cdot 10^8$ C/kg	Proton specific charge	
протон - масса	$mp = 1,67252 \cdot 10^{-27}$ кг	Proton mass	$E_p = 938,2796$ МэВ
протон - молярная масса	0,001007 кг/моль	Proton molar mass	
протон - магнитный момент	$mp = 1,4106203 \cdot 10^{-26}$ J/T	Proton magnetic moment	
нейтрон-комптоновская длина волны	$1,31959 \cdot 10^{-15}$ м	Neutron Compton wavelength	
нейтрон - масса	$Mn = 1,6749575 \cdot 10^{-27}$ кг	Neutron mass	$E_n = 939,5731$ МэВ
нейтрон - молярная масса	0,001009 кг/моль	Neutron molar mass	
нейтрон - магнитный момент	$9,66237 \cdot 10^{-27}$ J/T	Neutron magnetic moment	
мюон - масса	$Mm = 1,883566 \cdot 10^{-28}$ кг	Muon mass	
мюон - молярная масса	0,000113 кг/моль	Muon molar mass	
мюон - магнитный момент	$4,49045 \cdot 10^{-26}$ J/T	Muon magnetic moment	
мюон - аномаль. магнитный момент	0,001166	Muon anomalous magnetic moment	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	3
Памятка для учащихся по подготовке к лабораторной работе её выполнению и оформлению.	5
ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И ДОЗЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ.	6
1. Цель работы.	6
2. Порядок выполнения работы.	6
3. Основные понятия радиационной безопасности.	6
3.1. Явление радиоактивности.	6
3.2. Ионизирующее излучение.	11
3.3. Единицы измерения радиоактивности.	17
4. Вопросы к зачёту.	32
ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. БЫТОВЫЕ ДОЗИМЕТРЫ И РАДИОМЕТРЫ.	33
1. Цель работы.	33
2. Порядок выполнения работы.	33
3. Методы обнаружения и измерения радиоактивности.	33
3.1. Детекторы ядерных излучений.	34
3.2. Приборы дозиметрического контроля.	39
3.3. Радиационный фон.	43
3.4. Загрязнение радиоактивное.	50
3.5. Устройство бытовых дозиметров.	53
3.5.1. Проверка работоспособности приборов.	54
3.5.2. Подготовка приборов к работе.	55
3.5.3. Измерение плотности потока β -излучения с загрязнённых поверхностей.	57
3.5.4. Оценка удельной активности радионуклидов в пробах.	57
4 Выводы по выполненной работе.	59
5. Вопросы к зачёту.	59
ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБ ПОЧВЫ.	60
1. Цель работы.	60
2. Порядок выполнения работы.	60
3. Загрязнение радионуклидами почвы.	60
3.1. Изменчивость радиационная обстановки.	61
3.2. Миграция радионуклидов.	67
3.2.1. Распространение радионуклидов в воздухе, воде, почве.	68

3.2.2. Оседание радионуклидов на почву и растения. . .	68
3.2.3. Оседание радионуклидов на землю, здания, воду	68
3.2.4. Лесные массивы.	68
3.2.5. Вдыхаются и проглатываются.	69
3.3. Отбор проб почвы на полях и др.	69
4. Устройство и технические данные радиометра РКГ-01 «АЛИОТ».	69
4.1. Технические данные радиометра.	69
4.2. Устройство радиометра.	70
4.3. Назначение индикаторов и переключателей электронного блока.	70
4.4. Подготовка к работе и порядок работы.	71
4.4.1. Включение прибора.	71
4.4.2. Выбор типа кюветы.	71
4.4.3. Измерение фона γ -излучения.	71
4.4.4. Определение удельной активности пробы.	72
4.5. Обработка результатов измерения.	73
5. Выводы по выполненной работе.	74
6. Вопросы к зачету.	74
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β-АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ β-РАДИОМЕТРОМ РУБ-01П1. . .	75
1. Цель работы.	75
2. Порядок выполнения работы.	75
3. Загрязнение радионуклидами продуктов питания.	75
4. β -радиометр РУБ-01П1.	80
4.1. Назначение кнопок органов управления.	81
4.2. Подготовка прибора к работе.	81
4.3. Измерение удельной активности радионуклидов в пробах.	82
5. Выводы по выполненной работе.	83
6. Вопросы к зачёту.	83
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β-АКТИВНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ВЫРОСШИХ В ЛЕСУ.	85
1. Цель работы.	85
2. Порядок выполнения работы.	85
3. Радиоактивное загрязнение леса и его даров.	85
4. Измерение β -активности пищевых продуктов, произрастающих в лесу.	88
4.1. Подготовка радиометра КРВП-ЗБ к работ и проверка его работоспособности.	89

4.2. Измерение радиоактивного фона.	90
4.3. Измерение активности пробы пищевого продукта.	90
5. Выводы по выполненной работе.	91
6. Вопросы к зачёту.	92
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ ЦЕЗИЯ И КАЛИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛАХ γ-РАДИОМЕТРОМ РУГ-91 "АДАНИ".	
1. Цель работы.	93
2. Порядок выполнения работы.	93
3. Загрязнённость изотопами цезия и калия строительных и других материалов.	93
4. Назначение и технические характеристики γ – радио метра РУГ-91.	95
4.1. Гамма-радиометр РУГ-91 «АДАНИ».	95
4.2. Технические данные гамма-радиометра.	95
5. Устройство γ -радиометра РУГ-91.	96
5.1. Принцип действия гамма-радиометра.	96
5.2. Упрощенная функциональная схема.	96
5.3. Назначение органов управления.	97
6. Подготовка прибора к работе.	97
6.1. Подсоединить сетевой шнур.	97
6.2. Звуковой сигнал и индикация «О».	97
7. Порядок работы на приборе.	97
7.1. Измерение фона.	97
7.2. Измерение активности пробы.	98
8. Расчёты удельной активности.	100
9. Определение удельной эффективной активности строительных материалов.	100
10. Выводы по выполненной работе.	101
11. Вопросы к зачёту.	101
МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.	
1. Цель работы.	102
2. Порядок выполнения работы.	102
3. Воздействие ионизирующей радиации на человека.	102
3.1. Облучение человека.	103
3.2. Основные меры защиты населения.	108
3.2.1. Физическая защита.	108

3.2.2. Химическая защита.	111
4. Методика проведения работы.	114
4.1. Провести измерение изменения интенсивности потока гамма излучения в зависимости от расстояния между источником излучения и детектором.	115
4.2. Провести измерения изменения интенсивности поглощения потока гамма излучения различными материалами.	116
4.3. Расчёты результатов выполненных измерений.	117
5. Выводы по выполненной работе.	117
6. Вопросы к зачёту.	117
РАДИАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА.	119
1. Цель работы.	119
2. Порядок выполнения работы.	119
3. Теоретическая часть.	119
3.1. Ядерное оружие.	120
3.2. Радиационные катастрофы.	122
3.3. Радиационная разведка.	124
3.3.1. Классификация приборов радиационной разведки.	125
3.3.2. Прибор ИМД-1С.	128
3.3.2.1. Экспериментальная часть.	128
3.3.2.2. Порядок выполнения работы.	131
4. Выводы по выполненной работе.	131
5. Вопросы к зачёту.	131
ГЛОССАРИЙ.	133
ЛИТЕРАТУРА.	145
ПРИЛОЖЕНИЕ.	148
СОДЕРЖАНИЕ.	152

Учебное издание

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ
И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лабораторные работы
для студентов всех специальностей

С о с т а в и т е л ь
ДОРОЖКО Сергей Владимирович

Технический редактор М.И. Гриневич
Компьютерная верстка Е.А. Занкевич

Подписано в печать 22.12.2005.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 9,1. Уч.-изд. л. 7,1. Тираж 500. Заказ 1164.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.