

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Инженерная экология»

И. В. Ролевич
Г. И. Морзак
Е. В. Зеленухо

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ
ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебно-методическое пособие
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-57 01 02 «Экологический менеджмент
и аудит в промышленности»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области природопользования и лесного хозяйства*

Минск
БНТУ
2020

УДК 614.876 (075.8)

ББК 51.26я7

340

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра экологического мониторинга и менеджмента
УО МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
старший научный сотрудник ГНУ «Институт природопользования
Национальной академии наук Беларуси»,
канд. техн. наук *Т. В. Соколова*

Ролевич, И. В.

340 Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность: учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-57 01 02 «Экологический менеджмент и аудит в промышленности» / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, Е. В. Зеленухо. – Минск, 2020. – 109 с.
ISBN 978-985-583-521-0.

Учебно-методическое пособие содержит данные об ионизирующих излучениях, дозах их воздействия, радионуклидах, последствиях катастрофы на Чернобыльской АЭС. Большое внимание уделено изучению основных понятий радиоактивности и природе возникновения ионизирующих излучений. Представлены методики измерения доз излучения, радиоактивности почвы, строительных материалов, продуктов питания, даров леса и т. д. для использования студентами на учебных занятиях. Описываются различные типы дозиметров и радиометров, принципы их работы, последовательность подготовки к использованию и измерению. Учебно-методическое пособие предназначено для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность» для студентов 1-57 01 02 «Экологический менеджмент и аудит в промышленности».

Предназначено для студентов, аспирантов, педагогов.

УДК 614.876 (075.8)

ББК 51.26я7

ISBN 978-985-583-521-0

© Ролевич И. В., Морзак Г. И.,
Зеленухо Е. В., 2020

© Белорусский национальный
технический университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Решение любой проблемы нужно начинать с образования тех людей, которые к ней причастны.

Д. И. Менделеев

После аварии на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь сложилась неблагоприятная радиэкологическая обстановка, связанная с загрязнением долгоживущими 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 влечет за собой, тем лучше они будут выполнять свои функции как добросовестные граждане.

И радиоактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали задолго до возникновения Земли. С самого начала жизнь во всех ее проявлениях развилась на Земле на фоне постоянно существующей радиации. Важным является осознание того, что радиация – один из многих естественных факторов окружающей среды. Значит, есть основания полагать, что живые организмы должны хорошо переносить воздействие ионизирующего излучения в том случае, если уровень ее не велик. 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 использо-

ванием риск и по достоинству оценить те огромные блага, которые приносит человеку применение достижений ядерной физики в различных сферах.

Учебный курс «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность» является эффективным способом повышения радиозэкологических знаний специалистов с высшим образованием. Однако преподавание осложняется из-за отсутствия качественной учебно-методической литературы для проведения лабораторных и практических занятий. Учебно-методическое пособие является попыткой ликвидировать указанный недостаток в отношении лабораторных занятий.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И ДОЗЫ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ (4 часа)

1.1. Цель работы

1. Ознакомиться с основными понятиями радиационной безопасности.
2. Изучить явление радиоактивности и физические единицы измерения активности радиоактивных излучений.
3. Ознакомиться с определениями доз и мощности дозы облучения.
4. Изучить виды излучения, их свойства и природу возникновения.
5. Ознакомиться с порядком выполнения лабораторных работ (приложение, памятка).

1.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить настоящую теоретическую часть.
2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачету.

1.3. Теоретическая часть

Все живое и неживое в природе подвержено воздействию ионизирующего излучения (ИИ). ИИ называют также «радиацией» («Radiation» в переводе с английского – «излучение»). ИИ – излучения различных видов микрочастиц и физических полей, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации атомов при столкновении с ними – образованию ионов и электронов.

Причиной образования ИИ является нестабильность атомов, связанная с конкуренцией между притяжением нуклонов ядерными силами и кулоновским отталкиванием протонов и приводящая к ИИ. ИИ связаны с радиоактивностью.

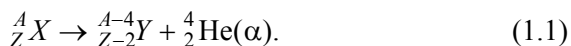
Радиоактивность – свойство некоторых нестабильных атомов к самопроизвольным превращениям (распаду), к изменению своего нуклонного состава (количество протонов и нейтронов в ядре) и (или) энергетического состояния, с образованием новых атомов (стабильных или радиоактивных) и испусканием ИИ с большей или меньшей

проникающей способностью. Термин «радиоактивность» предложен Марией Склодовской-Кюри в 1898 г.

По механизму образования ИИ различают первичное (рожденное в источнике) и вторичное ИИ (образованное в результате взаимодействия излучения другого типа с веществом), по составу – корпускулярное и фотонное, заряженное и незаряженное излучения, по природе – естественное (природное) и антропогенное.

ИИ возникают в результате альфа-, бета-, нейтронного, протонного, двухпротонного, кластерного и др. распадов атомов.

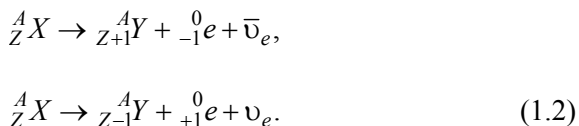
Альфа (α)-распад – вид радиоактивного распада ядра, в результате которого происходит испускание ядром атома ядра гелия – α -частицы. При этом массовое число дочернего ядра уменьшается на 4, а атомный номер – на 2 (1.1):



В образовании α -частицы в ядре принимают участие два протона и два нейтрона, объединяющиеся в единую частицу.

Бета (β)-распад – вид радиоактивного распада, обусловленный слабым взаимодействием и изменяющий заряд ядра на единицу, в соответствии с правилом радиоактивных смещений Содди и Фаянса без изменения массового числа. При этом ядро излучает β -частицу (электрон или позитрон), а также нейтральную частицу (электронное антинейтрино или электронное нейтрино).

Различают β -минус распад (β^-) – ядро испускает электрон и антинейтрино (заряд ядра увеличивается на единицу) и β -плюс распад (β^+) – ядро испускает позитрон и нейтрино (заряд ядра уменьшается на единицу)



К β -распадам относят также электронный захват (К-захват), в котором протон ядра захватывает орбитальный электрон и превращается в нейтрон, испуская электронное нейтрино. Заряд ядра при этом уменьшается на единицу.

В дозиметрии имеют дело только с излучением электромагнитной или корпускулярной природы, имеющим энергию более 10 эВ на один фотон или одну частицу, т. к. для преодоления электроном сил кулоновского притяжения оно должно обладать энергией более 10 эВ. Процесс отрыва электрона от атома (ионизация атома) может происходить либо непосредственно, либо косвенно. В первом случае кинетической энергии излучения достаточно для ионизации атомов при столкновении с ними заряженных частиц, во втором – ионизация происходит за счет вторичных заряженных частиц, возникающих при редких взаимодействиях с атомами фотонов и нейтронов.

Источники ИИ (ИИИ) имеют природное и искусственное происхождение. Природные ИИИ – спонтанный радиоактивный распад радионуклидов, термоядерные реакции, например, на Солнце, индуцированные ядерные реакции, в результате попадания в ядро высокоэнергетичных элементарных частиц или слияния ядер и космические лучи. Искусственные ИИИ: искусственные радионуклиды, ядерные реакторы, ускорители элементарных частиц и рентгеновские аппараты. Наиболее значимыми являются следующие типы ИИ: коротковолновые электромагнитные излучения – γ -излучение, рентгеновское излучение; потоки частиц – α -частиц, β -частиц (электроны и позитроны), нейтронов, протонов, мюонов и других элементарных частиц. Рассмотрим некоторые из них.

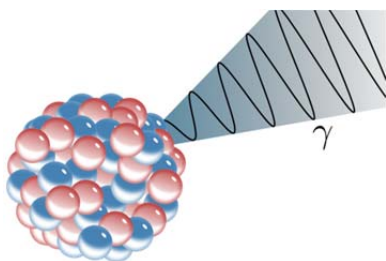


Рис. 1.1. γ -излучение

Гамма-излучение (γ -излучение) – это поток коротковолновых (длина волны = 10^{-10} – 10^{-14} м) электромагнитных волн (квантов), который излучается в процессе радиоактивного распада, при изменении энергетического состояния ядер атомов (рис. 1.1).

На шкале электромагнитных волн γ -излучение граничит с жестким рентгеновским излучением, занимая более коротковолновую область (рис. 1.2). Испускается при переходах ядра из более возбужденного энергетического состояния в менее возбужденное или в основное.

γ -излучение обладает выраженными корпускулярными свойствами и ведет себя подобно потоку частиц – γ -квантов, или фотонов,

с энергией $h\nu$. Испускается ядрами атомов при α - и β -распаде природных и искусственных радионуклидов в тех случаях, когда в дочернем ядре оказывается избыток энергии, не захваченный α - или β -частицей.

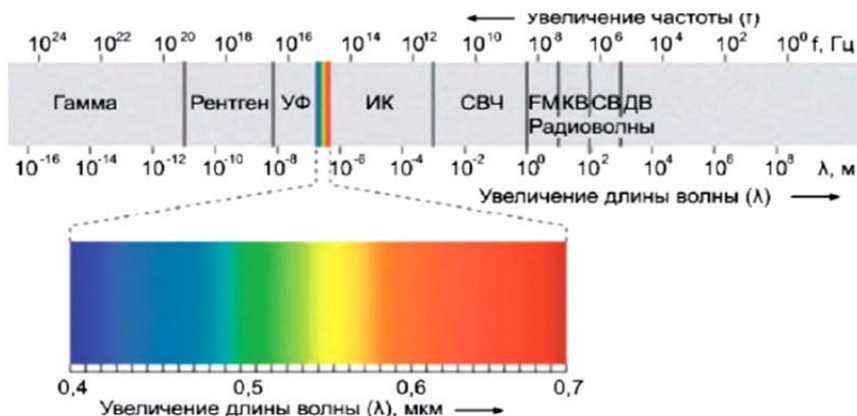


Рис. 1.2. Шкала электромагнитных волн

Этот избыток энергии выделяется в виде γ -квантов. Кроме того, γ -кванты возникают при распаде радиоактивных ядер и элементарных частиц, взаимодействии быстрых заряженных частиц с веществом, аннигиляции электронно-позитронных пар, возбуждении атомов и их ядер, торможении частиц в электрическом поле и др.

В межзвездном пространстве γ -излучение возникает в результате соударений квантов более мягкого длинноволнового электромагнитного излучения, например, света с электронами, ускоренными магнитными полями космических объектов. При этом быстрый электрон передает свою энергию электромагнитному излучению и видимый свет превращается в жесткое γ -излучение. Энергия γ -кванта равна разности энергий $\Delta\varepsilon$ состояний, между которыми происходит переход. Она колеблется от 0,1 до 3 МэВ. Редко достигает 5–6 МэВ. В состав потока γ -излучений входят кванты различных энергий. Ширина линий γ -излучений чрезвычайно мала ($\sim 10^{-2}$ эВ). Спектр γ -излучения линейчатый, т. е. состоит из ряда дискретных линий (рис. 1.3). Испускание ядром γ -кванта не сопровождается изменением атомного номера или массового числа химического элемента.

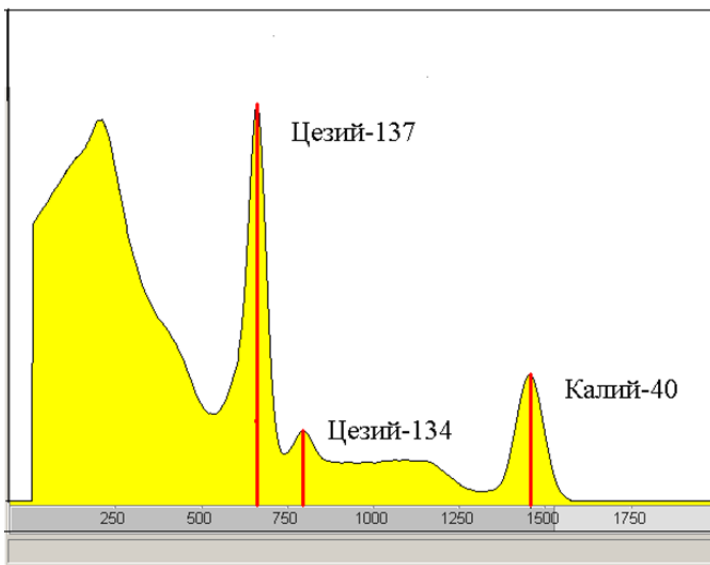


Рис. 1.3. Спектр γ -излучения $^{134,137}\text{Cs}$ и ^{40}K

Передача всей энергии γ -квантов происходит в результате **фотоэлектрического поглощения**, при котором фотон исчезает, а его энергия уходит на отрыв электрона от атома, т. е. его ионизацию.

Для фотонов с энергией свыше 1,02 МэВ возможно **образование пары электрона-позитрона**. Важно, что фотон может отдать электрону лишь часть своей энергии и двигаться дальше в другом направлении (комpton-эффект) (рис. 1.4).

Скорость распространения γ -лучей в вакууме равна скорости света – 300 000 км/с. Не имея заряда, они не отклоняются в электрическом и магнитном полях и распространяются прямо линейно и равномерно во все стороны от источника.

Благодаря малой длине волны, γ -лучи обладают высокой проникающей способностью в воздухе – до 2,5 км. Проникающая способность γ -лучей зависит от энергии квантов. Проходя через среду, ИИ ослабляется (I) по экспоненциальному закону, т. е. никогда не поглощается полностью (1.3)

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (1.3)$$

где I_0 – плотность потока γ -квантов на поверхности экрана;
 e – натуральный логарифм (2,72);
 x – толщина экрана;
 μ – полный линейный коэффициент ослабления.

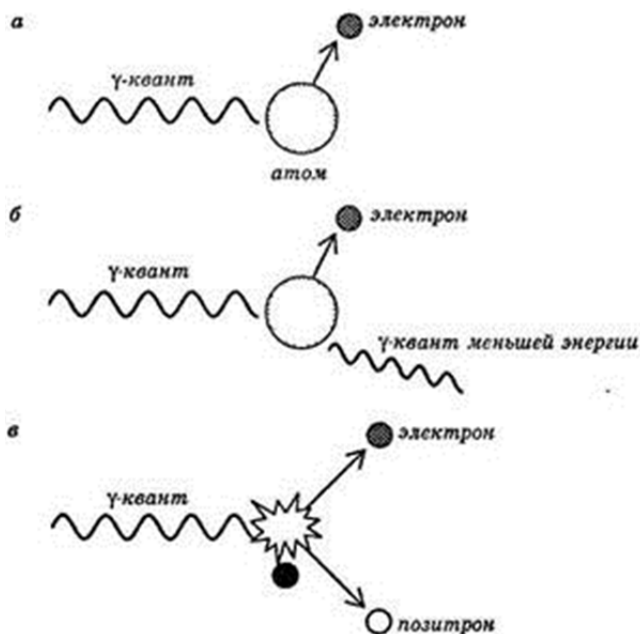


Рис. 1.4. Передача γ -квантом энергии:
 а – фотоэффект; б – комптон-эффект;
 в – образование электрон-позитронной пары

Чем больше толщина материала и его плотность, тем сильнее он ослабляет γ -излучение. Большинство γ -квантов проходит через биологическую ткань, и только незначительное их количество поглощается телом человека. Интенсивность потока может быть ослаблена в любое заданное число раз путем изменения структуры и толщины поглотителя. Ослабление γ -квантов в два раза обеспечивает слой бетона толщиной 10 см, грунта – 114 см, свинца – 2 см, а полное ослабление обеспечивает алюминий толщиной 120 см. γ -излучение тория (самое интенсивное из природных источников) ослабляется примерно в 20–30 раз слоем воды толщиной 1 м.

γ -излучение ионизирует атомы и молекулы тел и разрушает живые клетки. Ионизирующая способность (косвенная) примерно в 100 раз ниже ионизации β -частицами – всего несколько пар ионов на 1 см пути в воздухе. γ -излучение применяют в дефектоскопии, при диагностике технологических процессов, для выявления внутренней структуры атомов, в медицинской терапии и диагностике в медицине, для каротажа в геологии, в γ -лазерах, военном деле и т. п.

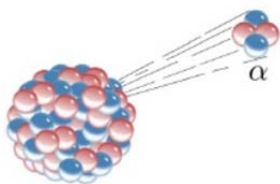


Рис. 1.5. Альфа-излучение

Альфа-излучение (α-лучи) – поток быстро движущихся (до 20 тыс. км/с) и обладающих значительной энергией, положительно заряженных α-частиц (ядер атомов гелия – ${}^4_2\text{He}$, рис. 1.5). Основными источниками α-излучения служат α-излучатели – радиоактивные изотопы, испускающие α-частицы в процессе α-распада.

Масса α-частиц – 4,0015 атомных единиц. Магнитный момент и спин равны нулю, а заряд частиц равен удвоенному элементарному заряду. Энергия их колеблется от 2 до 11 МэВ. Энергия α-излучателей (например, плутония-239) чернобыльского выброса составляет около 5,16 МэВ. Особенностью α-излучений является их малая проникающая способность. Пробег α-частиц в веществе короткий – до 5 микрон в биологических средах и 2,5–8 см – в воздухе. Они задерживаются листом бумаги, тканью одежды, практически не проникают через наружный слой кожи и поглощаются роговым слоем кожи. α-частицы массивные и обладают относительно большой энергией, поэтому путь их в веществе **прямолинейный** и они вызывают выраженный эффект ионизации (рис. 1.6). Потеря атомом своего электрона и превращение его в ион происходит за счет большей массы α-частиц, которые больше электрона практически в семь тысяч раз.

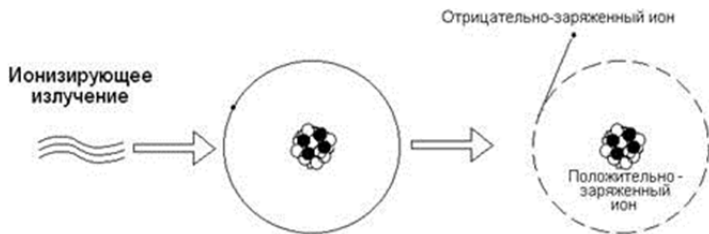


Рис. 1.6. Ионизация атома под влиянием ИИ

При прохождении через атом и его ионизацию, α -частицы теряют свою энергию и скорость. Способность ионизировать материю теряется, когда вся энергия потрачена и α -частица преобразуется в атом гелия. Так создается большая линейная плотность ионизации. Удельная ионизация α -частицы – от 25 тыс. до 60 тыс. пар ионов на одном см пути α -частицы в воздухе. Полная ионизация от 120 тыс. до 250 тыс. пар ионов на всем пути в среде. В биологической ткани на пути в 1–2 микрона создается до 40 тыс. пар ионов.

Вся энергия α -частицы передается клеткам организма, нанося ему вред. Это обеспечивает выраженную биологическую опасность α -излучения (весовой тканевый множитель), в 20 раз большую, чем при воздействии γ - и β -излучения. При внешнем облучении тела α -частицы вызывают сильные поверхностные ожоги кожи. При попадании α -излучателей в организм человека с пищей через желудочно-кишечный тракт они разносятся по телу током крови и депонируются в тканевых клетках, вызывая внутреннее облучение организма. В медицине α -излучатели применяют для лечения некоторых заболеваний.

Бета-излучение (β -излучение) – поток электронов (отрицательно заряженных частиц) или позитронов (положительно заряженных частиц), испускаемых при β -распаде атомов. Радиоактивные изотопы, распад которых сопровождается β -излучением, называют β -излучателями. Если такому распаду не сопутствует одновременное γ -излучение, говорят о чистом β -излучателе (рис. 1.7).

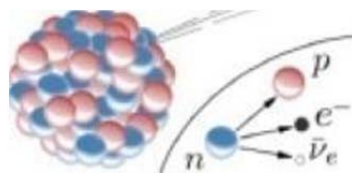


Рис. 1.7. β -излучение

Масса β -частиц равна $9,1 \cdot 10^{-28}$ г. Они несут один элементарный электрический заряд и распространяются в среде со скоростью от 100 тыс. км/с до 300 тыс. км/с (т. е. до скорости света) в зависимости от энергии излучения.

Энергия β -частиц колеблется в значительных пределах. Это объясняется тем, что при каждом β -распаде радиоактивных ядер образующаяся энергия распределяется между дочерним ядром, β -частицами и нейтрино в разных соотношениях. Причем энергия β -частиц колеблется от нуля до максимального значения – от 0,015–0,05 МэВ (мягкое излучение) до 3–13,5 МэВ (жесткое излучение). Энергия

β -частиц радионуклидов чернобыльского выброса находится в пределах 0,514-0,662 МэВ.

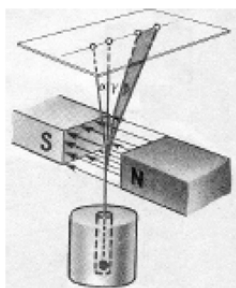


Рис. 1.8. Отклонения от прямолинейного движения α - и β -частиц в магнитном поле

β -частицы, имеющие заряд, отклоняются от прямолинейного направления движения под действием электрического и магнитного полей (рис. 1.8). Обладая малой массой, β -частицы при столкновении с атомами и молекулами легко отклоняются от своего первоначального направления (т. е. происходит их рассеивание). При прохождении через вещество β -излучение взаимодействует с электронами и ядрами его атомов, расходуя на это свою энергию и замедляя движение вплоть до полной остановки. Путь, проходимый β -частицей в веществе, называется ее *пробегом*. Пробег β -частиц выражают в единицах длины (м, см, мкм) или длины, умноженной на плотность вещества, в котором находится частица ($\text{г}/\text{см}^2$). Длина пробега β -частиц в воздухе для некоторых частиц может достигать 20 м. В биологических тканях пробег частиц составляет 1 см. Для радионуклидов чернобыльской зоны пробег β -частицы в воздухе равен 1,5 м, в биоткани – 2 см, в твердых телах – несколько мм. Пробег зависит от факторов Кулоновского взаимодействия – зарядов взаимодействующих частиц, плотности вещества-поглотителя и энергии заряженной частицы. Пробег увеличивается с ростом энергии излучения, он пропорционален массе частицы и обратно пропорционален квадрату ее заряда.

Ионизирующая способность β -частиц примерно в 100 раз ниже, чем α -частиц. Степень ионизации их зависит от скорости пробега: меньше скорость – больше ионизация. Удельная ионизация β -частиц колеблется от 40 до 150 пар ионов на 1 см пути пробега в среде. Полная ионизация достигает 1200–25 000 пар ионов на всем пути в среде.

В ткани организма β -излучение проникает на глубину от десятых долей миллиметра до 1–2 см, одеждой задерживается только частично. В результате рассеивания в поглотителе путь β -частиц не является прямолинейным, как у α -частиц, и истинная длина пути в поглотителе может в 1,5–4 раза превосходить их пробег. β -частицы больших энергий, пролетая мимо ядра слишком быстро, не успевают вызвать такой же ионизирующий эффект, как медленные

β -частицы. При потере энергии электрон захватывается либо положительным ионом, с образованием нейтрального атома, либо атомом, с образованием отрицательного иона.

Благодаря таким свойствам для защиты от β -излучения достаточно иметь соответствующей толщины экран из органического стекла. Излучение опасно для здоровья человека как при внешнем, так и при внутреннем облучении.

Воздействие ИИ на конструкционные материалы. Длительное воздействие корпускулярных или фотонных излучений сверхвысоких энергий существенно изменяет свойства конструкционных материалов. Оно вызывает разрушение кристаллической решетки вследствие выбивания атомов из узлов; ионизацию диэлектриков; изменение химического состава веществ вследствие ядерных реакций.

Воздействие ИИ на полупроводники. Современные полупроводниковые технологии чувствительны к ИИ. Они вызывают розовые и необратимые отказы полупроводников.

Химическое действие ИИ. ИИ может вызывать различные химические превращения вещества.

Биологическое действие ИИ. Разные типы ионизирующих излучений обладают разным разрушительным эффектом и разным способом воздействия на биологические ткани. Поэтому для описания воздействия излучения на живые организмы вводят взвешивающий радиационный коэффициент, который для рентгеновского, γ - и β -излучений равен единице, для α -излучения – 20. Для заряженных частиц он напрямую связан с линейной передачей энергии частицами – средней потерей энергии частицей на единицу длины ее пробега в ткани.

Механизмы биологического воздействия ИИ. Различают 5 стадий воздействия ИИ на ткани и органы человека: образования заряженных частиц, электрического взаимодействия, физико-химических изменений, химических изменений и биологических эффектов. Первые две стадии можно объединить в группу физических изменений.

Указанное действие ИИ оказывает непосредственно и косвенно. ***Прямое действие ИИ*** – это прямое попадание частиц в биологические молекулярные структуры клеток организма.

Косвенное или непрямое действие – опосредуется действием свободных радикалов, возникающих в результате ионизации, создаваемых излучением в жидких средах организма и клеток. Свобод-

ные радикалы вызывают разрушения целостности цепочек макромолекул (белков и нуклеиновых кислот), что может привести как к массовой гибели клеток, так и канцерогенезу и мутагенезу. Воздействию ИИ наиболее подвержены активно делящиеся эпителиальные, стволовые и эмбриональные клетки. Под действием излучения в организме могут возникнуть в зависимости от дозы детерминированные и стохастические радиобиологические эффекты.

Детерминированные эффекты излучения – вредные эффекты, у которых существует порог, ниже которого они отсутствуют, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы облучения. Например, порог появления острой лучевой болезни у человека составляет 1 Гр облучения ИИ всего тела. С увеличением дозы облучения степень ее тяжести возрастает с первой до четвертой. Детерминированные эффекты излучения бывают:

1) ближайшие – первичная реакция и поражение организма наступают в течение нескольких недель после острого облучения (острая и хроническая лучевая болезнь, местные лучевые поражения и др.);

2) отдаленные – проявляются через годы после облучения. Включают 21 заболевание, в том числе *нарушения склеротических процессов, лучевую катаракту* и др.

Стохастические эффекты не имеют четкого дозового порога проявления. С увеличением дозы облучения возрастает лишь частота проявления этих эффектов. Проявляются они как спустя много лет после облучения (злокачественные новообразования), так и в последующих поколениях (мутации). Некоторые радиоактивные элементы встраиваются в процесс обмена веществ живого организма, замещая неактивные элементы. Это приводит к удержанию и накоплению радиоактивного вещества непосредственно в живых тканях, что существенно увеличивает опасность контакта. Для характеристики этого явления используется понятие *период полувыведения* изотопа из организма.

Гигиеническое нормирование ИИ осуществляется по санитарным правилам и нормативам (СанПиН) «Требования к радиационной безопасности», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Дополнения в указанный документ внес новый СанПиН «Требования к радиационной безопасности персонала и населения при деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего

излучения», утвержденный Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31 декабря 2013 г. № 137.

Согласно этим СанПиНам установлены основные пределы доз облучения, допустимые уровни воздействия ИИ и другие требования по ограничению облучения населения в соответствии с Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения». Требования СанПиНа № 213 применяются к трем категориям облучения: профессиональное облучение, облучение населения, медицинское облучение в ситуациях планируемого, аварийного и существующего облучения. Эффективная доза при профессиональном облучении не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв, а для населения (за всю жизнь) – 70 мЗв.

В соответствии с требованиями СанПиНа № 137 установлены дополнительные требования к:

- радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и ИИИ;
- радиационной безопасности персонала и населения при обращении с радиоактивными отходами;
- радиационной безопасности персонала и осуществлении иных видов практической деятельности.

Знак радиационной опасности. Международный условный знак радиационной опасности («трилистник», «вентилятор») имеет форму трех секторов шириной 60° , расставленных на 120° друг относительно друга, с небольшим кругом в центре. Выполняется черным цветом на желтом фоне.



Рис. 1.9. Старый и новый знаки радиационной опасности

радиационная опасность смерти и необходимо покинуть опасную зону ИИ. Новый знак призван стать более понятным для тех, кто не знаком со значением традиционного «трилистника».

19 февраля 2007 года МАГАТЭ и Международная организация по стандартизации анонсировали новый символ ионизирующей радиации. В нем «трилистник» дополнен знаками «смертельно» («череп с костью») и «уходи!» (силуэт бегущего человека и указывающая стрелка). Это означает, что человеку грозит

ДОЗИМЕТРИЯ ИИ – совокупность методов измерения и (или) расчета дозы ИИ, основанных на количественном определении изменений, произведенных в веществе излучением (радиационных эффектов). Она измеряет и изучает поля ИИ (фотонные и корпускулярные), изучает эффекты их взаимодействия с веществом, а также создаваемые в результате этого дозового поля в веществе. Средства дозиметрии ИИ применяют при разработке и использовании ИИИ в экономике, науке и медицине. ИИ не обладают запахом, вкусом или какими-либо другими свойствами, позволяющими человеку регистрировать их. Для этого используются различные детекторы.

Детектором ИИИ называют устройства, предназначенные для обнаружения излучений и частиц, определения состава излучения и измерения его энергетического спектра. Работа детекторов основана на методах регистрации эффектов взаимодействия излучения с веществом.

Различают *прямой (абсолютный) калориметрический метод дозиметрии*, основанный на непосредственном измерении поглощенной веществом энергии излучения в виде тепла, выделенного в рабочее тело калориметра, и *косвенный (относительный) метод*, при котором измеряют радиационные эффекты, пропорциональные поглощенной дозе. К косвенным относят фотографический, химический, сцинтилляционный, ионизационный, метод следов повреждения и другие методы дозиметрии ИИ. Рассмотрим подробнее косвенные методы дозиметрии.

Фотографический метод был первым способом обнаружения ядерных излучений, основан на почернении фотоэмульсии. Под воздействием ИИ молекулы бромистого или хлористого серебра (AgBr или AgCl), содержащиеся в фотоэмульсии, восстанавливаются в металлическое серебро, которое после проявления выявляется в виде почернения. Степень почернения фотоэмульсии у фотопластинки или пленки пропорциональна дозе излучения. Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу излучения (экспозиционную или поглощенную), полученную пленкой.

Химический метод. Некоторые химические вещества под воздействием ИИ 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).

Сцинтилляционный (люминесцентный) метод. Метод основан на способности некоторых веществ (сернистый цинк, йодистый натрий, вольфрамат кальция и др.) выделять фотоны света при воздействии на них ИИ. Объясняется это возбуждением атомов под действием излучений. Возвращаясь в основное состояние, они испускают фотоны видимого света различной яркости (вызывают сцинтилляцию – вспышки). Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) регистрирует каждую вспышку, усиливает электронный сигнал и преобразует его в электрический ток, который регистрируется электрическим прибором.

По описанному принципу работает сцинтилляционный счетчик (детектор). Он представляет собой совокупность сцинтилляционной пластинки с ФЭУ. Вместо пластинки используют также кристаллы $NaI (Te)$ (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Схема и принцип работы сцинтилляционного счетчика:
 1-4, 15 – диоды ФЭУ; А – анод; ФК – фотокаатод;
 ФД – фокусирующая диафрагма

Под действием излучения в сцинтилляторе возникают вспышки света, которые попадают на чувствительный слой фотокаатода (ФК) ФЭУ и выбивают из него фотоэлектроны.

С помощью фокусирующего электрода фотоэлектроны попадают на первый динод ФЭУ, из которого они выбивают при вторичной эмиссии дополнительные электроны. Фотоэлектроны и дополнительные электроны поступают на следующий динод, увеличивая поток электронов, и т. д. ФЭУ имеет до 15 динодов, коэффициент усиления которых достигает 10^6 . С последнего динода электроны попадают на анод, связанный с радиотехническим устройством для усиления и регистрации тока. Так вспышки света, возникающие в сцинтилляторе под действием излучения, преобразуются в электрический ток. Следовательно, в ФЭУ происходит усиление электронного потока и преобразование его в электрический ток, который регистрируется гальванометром.

Ионизационный метод обнаружения и измерения ИИ. Получил широкое распространение в современных дозиметрических приборах. Сущность его заключается в том, что под воздействием ИИ 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 эту среду поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами возникает направленное движение ионов, т. е. возникает ионизационный ток. Измеряя его, можно судить об интенсивности ИИ.

Ионизационный метод измерений используют в газоразрядных счетчиках. Представителями этого метода являются газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера.

Газоразрядный счетчик Гейгера (Гейгера-Мюллера) представляет собой цилиндрический катод, вдоль оси которого натянута проволока – анод. Цилиндр заполнен газовой смесью. При прохождении через детектор, заряженная частица ионизирует газ. Образующиеся электроны, двигаясь к положительному электроду нити, попадают в область сильного электрического поля, ускоряются и ионизируют новые молекулы газа, что приводит к образованию коронного разряда.

Амплитуда сигнала достигает нескольких вольт и регистрируется. Счетчик Гейгера регистрирует факт прохождения частицы через счетчик (рис. 1.11).

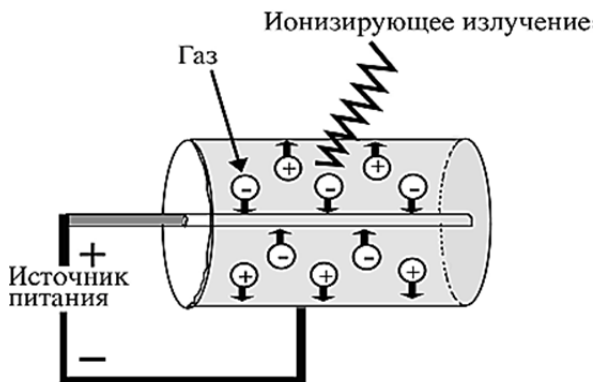


Рис. 1.11. Газоразрядный счетчик Гейгера

Биологические методы дозиметрии. Основаны на изучении реакций, возникающих в организме человека или животных, при применении определенных доз ИИ.

– Определение **эритемной дозы** – минимального количества рентгеновских лучей (примерно 5–8 Гр), которое, при условии минимального местного облучения, вызывает на участке кожи эритему (интенсивное покраснение) с последующим выпадением волос спустя 10–14 дней после облучения.

– **Гематологический способ** – регистрация изменений в состоянии гемопоэтической системы, которая высокочувствительна к излучению.

– **Цитогенетические способы** – подсчет хромосомных aberrаций, количества дицентриков, использование флуоресцентных красителей и анализ упаковки хроматина.

Расчетные методы – определение дозы излучения путем математических вычислений, например, определения дозы от инкорпорированных в организм радионуклидов.

Приборы для измерения ионизирующих излучений. Состоят из детектора, измерительной схемы (регистратор или анализатор) и вспомогательных элементов (рис. 1.12).

Приборы для измерения ионизирующих излучений служат для оценки радиационной обстановки на местности и загрязненности радионуклидами различных предметов, воды и продуктов питания.

Детектор преобразует информацию о параметрах излучений в энергию электрического сигнала.

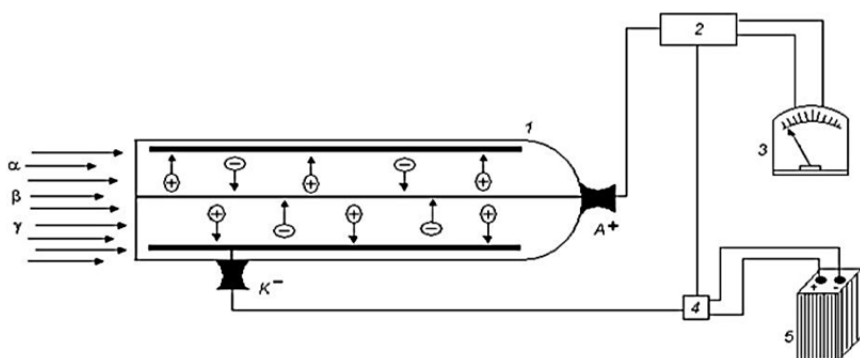


Рис. 1.12 Схема устройства дозиметрических приборов:
 1 – регистрирующее устройство; 2 – усилитель ионизационного тока;
 3 – измерительный прибор; 4 – преобразователь напряжения;
 5 – источник питания

Измерительная схема выделяет, преобразует, накапливает, хранит и выдает информацию в виде электрических сигналов, удобных для наблюдения, записи, вычисления или управления другими приборами. Вспомогательные элементы обеспечивают заданные режимы работы детектора и измерительной схемы. К ним относятся источники питания, блоки программирования режима работы, контроля исправности и градуировки, регистрирующие устройства. По назначению приборы делят на:

1. Приборы для измерения мощности дозы:
 - а) индикаторы-сигнализаторы радиоактивности;
 - б) рентгенометры-радиометры.
2. Приборы для измерения полученных доз облучения (дозиметры):
 - а) контрольные (прямо показывающие);
 - б) накопители доз.
3. Приборы радиационного контроля классифицируют по виду радиационного контроля, функциональному назначению прибора, типу измеряемой физической величины, виду ИИ и типу конструктивного исполнения.

4. Приборы для определения степени радиоактивного загрязнения объектов, в том числе бытовые дозиметрические приборы. Они дают возможность населению ориентироваться в создавшейся обстановке.

5. Спектрометры (α -, β -, γ - и комбинированные спектрометры). В детекторе происходит взаимодействие ИИ с веществом и преобразование его энергии в электрический импульс, величина которого прямо пропорциональна энергии частиц и фотонов.

Для оценки степени воздействия ИИ на любые вещества, живые организмы и их ткани используют базовые, нормируемые и операционные дозовые величины.

Базовые дозовые величины описывают меру физического воздействия ИИ на вещество, характеризуют излучение и радиационные поля, возникающие при прохождении излучения через вещество. К основным базовым величинам относят:

а) активность (А) – мера радиоактивности радионуклида, находящегося в данный момент времени в определенном энергетическом состоянии, определяется числом элементарных радиоактивных распадов в единицу времени, единицей измерения является Бк (Беккерель) и Ки (Кюри). 1 Бк составляет $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки [табл. 1П, 2П].

1 Ки – большая величина, она равна $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Значение 1 Ки изначально было определено как активность эманации радия (т. е. радона-222), находящейся в радиоактивном равновесии с 1 г ^{226}Ra .

Удельная активность – активность твердых веществ, относящихся на единицу массы вещества источника (Бк/кг).

Объемная активность – активность газов и жидкостей, выражаемая в Бк на единицу объема источника (Бк/м³).

Поверхностная активность – активность, приходящаяся на единицу площади поверхности источника (Бк/м²).

б) флюенс и плотность потока частиц или квантов излучения (ФН) – отношение числа частиц dN или квантов, пересекших перпендикулярную пучку элементарную площадку dS за данный промежуток времени, к площади этой площадки; единица измерения 1 м⁻² – такая величина флюенса, при которой в объем сферы с площадью поперечного сечения 1 м² попадает одна частица.

в) электронвольт (эВ) – единица измерения энергии ИИ, энергия, необходимая для переноса элементарного заряда в электростатическом поле между точками с разницей потенциалов в 1 В.

г) линейная передача энергии (ЛПЭ) – физическая характеристика качества ИИ, отношение полной энергии $d\varepsilon$, переданной веществу частицей вследствие столкновений на пути dl , к длине этого пути: $L = d\varepsilon/dl$.

Базовой дозовой величиной, определяющей преобразование энергии в веществе, является также и **экспозиционная доза (X)**. Исторически она является первой величиной для оценки ИИ от рентгена и радия. Предмет, который изучает характеристики поля излучения, включая активность источников, называют радиометрией.

Радиометрия – совокупность методов измерений активности ИИИ. Базируется на различных физических эффектах, возникающих при воздействии излучения на вещество – люминесценции, ионизации, образовании видимых следов и т. д.

Экспозиционная доза характеризует поле фотонного излучения в воздухе – 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, т. е. это отношение (1.4):

$$X = dQ/dm, \text{ Кл}\cdot\text{кг}^{-1}, \quad (1.4)$$

где dQ – абсолютное значение полного заряда ионов одного знака, образованного в воздухе при условии, что все электроны и позитроны, образованные в объеме воздуха с массой dm , полностью тормозятся в воздухе.

В системе СИ единицей измерения экспозиционной дозы является кулон на килограмм (Кл/кг). Внесистемная единица – рентген (Р). Один рентген – *это такая доза фотонного излучения, под действием которой в 1 см³ сухого воздуха при нормальных условиях (0 °С и 760 мм рт. ст.) образуются 2,083·10⁹ пар ионов или 1,61·10¹² пар ионов в 1 г воздуха, несущих одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака* (1.5).

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}\cdot\text{кг}^{-1}, \quad 1 \text{ Кл}\cdot\text{кг}^{-1} = 3876 \text{ Р}. \quad (1.5)$$

Соотношение между единицами измерения экспозиционной и поглощенной дозами составляет: 1 сГр равен в среднем 1,445 Р.

Мощность экспозиционной дозы (\bar{X}) – это отношение dX к dt , где dX – приращение экспозиционной дозы за время dt (1.6):

$$\bar{X} = dX/dt, \text{ Кл}\cdot\text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1} \text{ или } \text{А}\cdot\text{кг}^{-1}. \quad (1.6)$$

Внесистемная единица мощности экспозиционной дозы – рентген в секунду ($\text{Р}\cdot\text{с}^{-1}$). $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$.

Влияние многофакторности на результат измерения дозы излучения сократилось после принятия за меру количества излучения и его воздействия на организм *поглощенной энергии ИИ* на единицу массы объекта, т. е. поглощенной дозы (D). Так возникла дозиметрия ИИ.

Дозиметрия ИИ (греч. «dosis» доза, порция + «metreo» измерять) – раздел радиационной физики и измерительной техники, занимающийся измерением и изучением полей ионизирующих излучений (фотонных и корпускулярных), изучением эффектов их взаимодействия с веществом, а также создаваемых в результате этого дозовых полей в веществе.

• *Поглощенная доза излучения* (D) – базовая дозовая величина, которая определяется средней энергией излучения, поглощенной в единице массы облучаемого вещества (1.7):

$$D = d\varepsilon/dm, \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1} (\text{Гр}), \quad (1.7)$$

где $d\varepsilon$ – средняя энергия, переданная ИИ массе dm .

В качестве единицы поглощенной дозы излучения в системе СИ используют Грей (Гр). 1 Грей – такая единица поглощенной дозы, при которой 1 кг вещества поглощает энергию в 1 джоуль (Дж). Внесистемная единица поглощенной дозы – рад. $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$.

Мощность поглощенной дозы – отношение dD к dt , где dD – приращение поглощенной дозы за время dt (1.8):

$$\bar{D} = dD/dt, \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1} (\text{Гр} \cdot \text{с}^{-1}). \quad (1.8)$$

Нормируемые величины. Поглощенная доза легла в основу расчета нормируемых величин – эквивалентной и эффективной доз облучения.

С этой целью были введены дополнительные величины: взвешивающие радиационные коэффициенты – для определения эквивалентной дозы и тканевой весовой множитель – для определения эффективной дозы облучения.

• *Эквивалентная доза облучения* органа или ткани (H) рассчитывается путем умножения поглощенной дозы на взвешивающий радиационный коэффициент W_R (табл. 1.1) (1.9):

$$H = W_R \cdot D, \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}, \quad (1.9)$$

где D – поглощенная доза;

W_R – взвешивающий радиационный коэффициент для отдельных видов излучения, учитывает относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Таблица 1.1

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

Вид и энергия излучения	Радиационный коэффициент W_R
Фотоны (γ - и рентгеновское излучения)	1
Электроны (Р-излучение) и мюоны	1
Протоны и заряженные пионы	2
α -частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20
Нейтроны	Непрерывная функция энергии

Единицей измерения эквивалентной дозы в СИ является Зиверт (Зв) – эквивалентная доза излучения, поглощенная в 1 кг биологической ткани и создающая такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр фотонного излучения. внесистемной единицей измерения эквивалентной дозы является бэр – биологический эквивалент рада. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

• *Эффективная доза* (E). Сумма произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие тканевые весовые множители, W_T (табл. 1.2):

$$E = \sum W_T \cdot H_T, \quad (1.10)$$

где H_T – эквивалентная доза в ткани;

W_T – тканевой весовой множитель, который отражает неодинаковую чувствительность разных органов и тканей к возникновению стохастических эффектов радиации, сумма взвешивающих коэффициентов для тканей и органов всего организма составляет единицу.

Таблица 1.2

Тканевые весовые множители для тканей и органов (W_T) при расчете эффективной дозы

Органы, ткани	Коэффициент	($\sum W_T$)
Красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, молочная железа, остальные ткани	0,12	(0,72)
Гонады (половые железы)	0,08	(0,08)
Мочевой пузырь, пищевод, печень, щитовидная железа	0,04	(0,16)
Костная поверхность, кожа, головной мозг, слюнные железы	0,01	(0,04)

Единицами измерения эффективной дозы являются Зиверт (Зв) – в СИ и бэр – внесистемная единица.

Мощность эквивалентной и эффективной дозы – приращение соответствующей дозы под воздействием данного излучения за единицу времени. Имеет размерность соответствующей дозы, деленную на единицу времени. Допускается использование различных специальных единиц (например, Зв/час, бэр/мин, Зв/год и др.).

Операционные величины определяются в измерениях и предназначены для оценки нормируемых величин при радиационном контроле. К этим дозовым величинам относят:

а) **Амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$** – это доза, которую получил бы человек, если бы он находился на месте, где проводится измерение. Единица амбиентного эквивалента дозы – Зиверт (Зв). *Мощность амбиентного эквивалента дозы, $H^*(d)$* – поглощенная доза в точке, умноженная на средний коэффициент качества для излучения, воздействующего на ткань в данной точке.

Характеризует уровень облучения в рабочих помещениях и на рабочих местах при групповом дозиметрическом контроле персонала. Единица мощности амбиентного эквивалента дозы – мкЗв/ч.

б) **Эквивалент индивидуальной дозы, $H_p(d)$** – эквивалент дозы в мягкой биологической ткани, определяемый на глубине d (мм) под рассматриваемой точкой на поверхности плоского фантома или на теле взрослого человека. Характеризует внешнее облучение при индивидуальном дозиметрическом контроле. Рекомендуемая единица измерения – мЗв.

1.4. Практическая часть

Ответить на следующие вопросы к зачету:

1. Что такое радиоактивность и активность радиоактивного препарата? Дайте определение удельной, объемной и поверхностной активности и единицам их измерения.
2. Классификация ионизирующих излучений.
3. Какие существуют источники ионизирующих излучений?
4. Охарактеризуйте α - и β -распады.
5. Какова природа возникновения и основные свойства α -, β - и γ -излучений?
6. В какой последовательности по степени уменьшения проникающей и ионизирующей способности располагаются γ -, α -, β -излучения?
7. Как передают энергию атомам вещества α -, β - и γ -излучения при проникновении их в вещество?
8. В чем отличительная особенность γ -излучения от α - и β -излучения?
9. Что такое дозиметрия и радиометрия?
10. Какие существуют приборы для измерения ионизирующих излучений?
11. Как работают сцинтилляционный и газоразрядный счетчики?
12. Что входит в состав базовых дозиметрических величин?
13. В чем отличие эквивалентной дозы от экспозиционной? Какое соотношение единиц измерений их мощности?
14. Эквивалентная и эффективная дозы облучения (определение, сходства и различия).
15. О чем свидетельствуют взвешивающий радиационный коэффициент и тканевой весовой множитель для тканей и органов?
16. Что характеризуют стохастические и детерминированные эффекты, какие существуют различия между ними?
17. Каковы механизмы биологического действия ИИ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. БЫТОВЫЕ ДОЗИМЕТРЫ И РАДИОМЕТРЫ (2 часа)

2.1. Цель работы

1. Ознакомиться с естественным радиационным фоном.
2. Ознакомиться с радоном и его свойствами.
3. Ознакомиться с определением мощности дозы γ -излучения естественного фона бытовыми дозиметрами.
4. Ознакомиться с оценкой удельной активности радионуклидов в пробах пищевых продуктов.
5. Ознакомиться с определением радиоактивного загрязнения предметов.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на контрольные вопросы.
2. Перечертить в тетрадь табл. 2.2–2.4 – в первом варианте и 2.5–2.6 – во втором варианте работы, заполнить их во время работы с прибором, в зависимости от того, какие бытовые дозиметры имеются в лаборатории.
3. Переписать формулы для расчета активности измеренных проб, рассчитать экспозиционную дозу в помещении, β -загрязненность продуктов питания и их удельную активность, сделать вывод о возможности использования измеренных проб.

2.3. Теоретическая часть

Радиационный фон – ИИ природных источников космического и земного происхождения, а также искусственных радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека.

Естественный радиационный фон (ЕРФ) – это ИИ от природных источников внеземного (космического) и земного происхождения, действующее на человека на поверхности Земли.

ЕРФ создается *вторичным космическим излучением*, состоящим из мезонов (70 %), электронов и позитронов (26 %), небольшого числа первичных протонов (0,05 %), γ -излучения и быстрых нейтронов (3,95 %). Энергия первичного космического излучения очень велика (в среднем, 10^4 МэВ), поэтому оно губительно для всего живого. Оно состоит на 92 % из быстрых протонов, на 7 % – из ядер гелия и на 1 % – из ядер других элементов. Атмосфера служит своеобразным щитом, предохраняющим биологические объекты от воздействия первичных космических частиц. Космический фон зависит лишь от высоты местности и практически постоянен на всей территории нашей республики. Поток космических лучей у поверхности Земли равен примерно 1 частица/см² в одну секунду. Они облучают человека в дозе 300 мкЗв в год.

Из 20 известных космогенных радионуклидов наиболее значимыми являются углерод-14 (¹⁴C – $T_{1/2}$ 5730 лет) и тритий (³H – $T_{1/2}$ 12,35 лет).

Земное излучение создается радионуклидами, находящимися в грунте (граниты, глиноземы, песчаники, известняки), воздухе, воде, продовольствии и теле человека или животного. Этими радионуклидами являются: долгоживущие изотопы семейства урана-238 ($T_{1/2}$ – $4,47 \cdot 10^9$ 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 изотопы радия и радона с $T_{1/2}$ 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) (рис. 2.1).

Эти радионуклиды являются одними из главных источников природного облучения человека, от которого нет способа избавиться.

ЕРФ на поверхности Земли не является постоянной величиной. Его изменения связаны как с глобальными, так и с локальными аномалиями. У поверхности земли он изменяется в зависимости от высоты над уровнем моря: чем выше расположена территория, тем меньше слой экранирующей атмосферы и выше мощность вторичного космического излучения. На каждые 100 м над уровнем моря она увеличивается на 0,03 мЗв. Это явление называется *барометрическим эффектом*. Изменение космического излучения происходит и при удалении от экватора, так как уменьшается толщина тропосферы и ее экранирующее действие. Это явление носит название *широтного эффекта*.

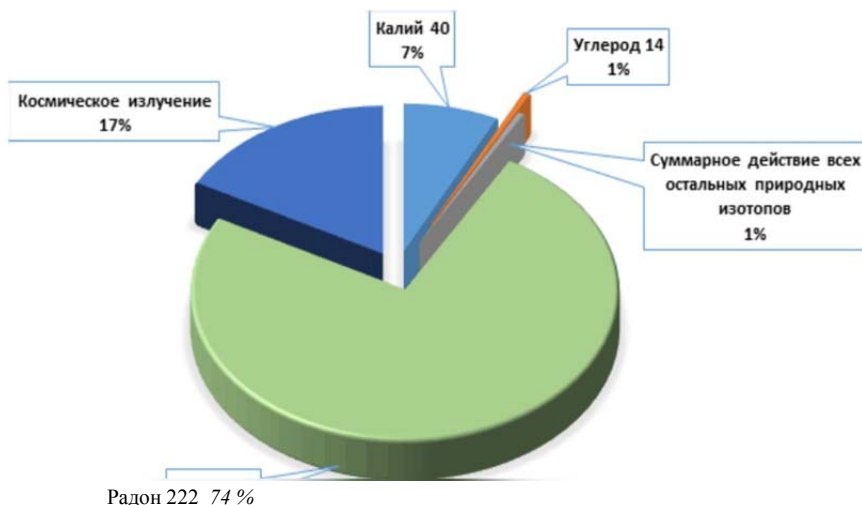


Рис. 2.1. Природные радионуклиды (вклад в дозу, %)

Радиационный фон измеряют при помощи радиометра и выражают в мкЗв/ч (раньше – в мкР/ч). Значения естественного радиационного фона в Беларуси не превышает 0,10–0,11 мкЗв/ч. В Минске среднегодовой уровень мощности дозы γ -излучения находится в пределах от 0,10 до 0,12 мкЗв/ч. Чернобыльское загрязнение повысило эти данные, особенно в городах Брагине (0,60 мкЗв/ч) и Славгороде (0,22 мкЗв/ч).

Техногенно измененный радиационный фон (ТИРФ) – это ИИИ созданные или рассеянные в биосфере в результате деятельности человека. К ним относят извлеченные из недр полезные ископаемые, главным образом, минеральные удобрения, содержащие радионуклиды, поступающие в среду продуктов сгорания органического топлива, используемые стройматериалы с высоким содержанием радионуклидов, авиация, повышающая воздействие на человека внеземных ИИИ, используемые бытовые предметы, содержащие естественные радионуклиды. ТИРФ формируют также ИИИ, используемые в медицине, и глобальные выпадения радионуклидов (рис. 2.2).

К ТИРФ относится и радиоактивный фон в помещениях. В них помимо естественного радиационного фона на человека влияет излучения радионуклидов, которые содержатся в строительных материалах, и радон, который накапливается в помещении.

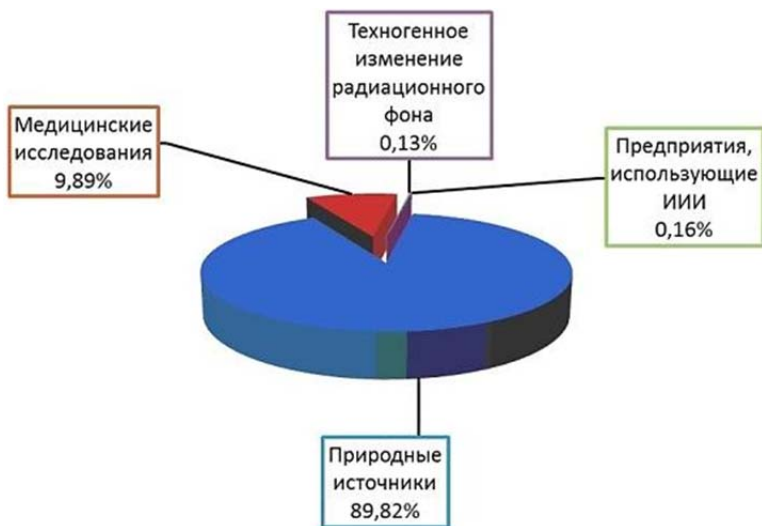


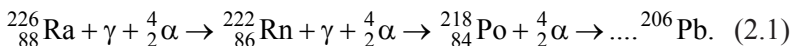
Рис. 2.2. Техногенно измененный естественный радиационный фон

В деревянных домах мощность экспозиционной дозы меньше, чем в кирпичных или бетонных. А в домах, построенных из шлакоблоков или бетона, мощность экспозиционной дозы больше, чем в кирпичных.

Основные составляющие радиационного фона помещений в значительной степени зависят от деятельности человека. Это вызвано, прежде всего, такими факторами, как выбор площадки для строительства, радиационных характеристик строительных материалов, конструктивных решений зданий и применяемых в них систем вентиляции. Измерения не всегда подтверждают сложившийся вывод о том, что в подвальных помещениях и на нижних этажах зданий радон скапливается в больших концентрациях, чем на верхних.

Безопасной средней **плотностью потока радона** по площади здания считается менее 80 мБк/м²·с для жилых зданий и 40 мБк/м²·с для малоэтажных коттеджей.

Радон и дочерние продукты его распада (ДПР) представляют собой природные радиоактивные газы. Радон (²²²Rn, T_{1/2} = 3,8 дней) образуется при α-распаде ²²⁶Ra (2.1) в естественном радиоактивном ряду ²³⁸U и распадается с образованием цепочки α- и β-излучающих ДПР, завершается стабильным изотопом ²⁰⁶Pb (2.1).



Торон (${}^{220}\text{Rn}$, $T_{1/2} = 55,6$ с) возникает при α -распаде ${}^{224}\text{Ra}$ в ряду ${}^{232}\text{Th}$. Третий радионуклид радона – актинон (${}^{219}\text{Rn}$, $T_{1/2} = 3,9$ с), продукт распада в цепочке ${}^{235}\text{U}$, мало распространен в природе и его обычно не учитывают. Наибольшую значимость имеют торон и радон. Однако торона в атмосфере в 10–100 раз меньше радона.

Радон – бесцветный инертный газ, не имеет ни вкуса, ни запаха, в 7,6 раза тяжелее воздуха. Радон и ДПР накапливаются внутри помещений вследствие их выделения из стен, потолков, полов. Он поступает из почвы, на которой построен дом, из подвалов и подпольного пространства, из строительных материалов, природного газа и воды, используемых в здании (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Источники поступления радона в помещение

Из строительных материалов более радиоактивными материалами являются фосфогипс, газобетон с квасцовым глинистым сланцем и отвалы урановых рудников. Материалы с низкой активностью: дерево, природный гипс, песок и гравий.

Содержание радона в почвенном воздухе зон активных разломов возрастает до 15,0–20,0 кБк/м³ (норма – 1,0 кБк/м³). С геологической точки зрения, более 40 % территории Республики Беларусь является потенциально радоноопасной. В г. Минске зоны активных разломов создают серьезную опасность радонового загрязнения воздуха жилых и производственных помещений. Обычная концентрация радона в домах – 30 Бк/м³. В отдельных случаях она достигает 400 Бк/м³ (например, в Дзержинском районе Минской области).

Если содержание радона в помещении превышает 400 Бк/м^3 , то жильцы должны быть переселены. При содержании радона в жилом доме 100 Бк/м^3 , его жильцы получают среднегодовую эффективную дозу облучения, равную $0,61 \cdot 10^{-2} \text{ Зв/год}$.

Радон и ДПР попадают в организм человека при дыхании и вызывают развитие различных легочных заболеваний, а также рака легких. Распад ядер радона и его ДПР в легочной ткани вызывает микроожог, поскольку вся энергия α -частиц поглощается в точке распада. Особенно опасно сочетание воздействия радона и курения. Индивидуальные дозы облучения легких при этом могут достигать $20\text{--}30 \text{ мЗв/год}$.

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 радиоактивным загрязнением. Допускается использовать материалы только при условии низкого уровня содержания в них радионуклидов – с удельной β -активностью до $0,3 \text{ кБк/кг}$.

Критерием для принятия решения о возможном применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий, содержащих радионуклиды, является создание ими ожидаемой индивидуальной годовой эффективной дозы облучения не выше 10 мкЗв . При этом годовая коллективная эффективная доза не должна быть более $1 \text{ человеко-Зиверта}$.

Различают *поверхностное и структурное загрязнения* пищевых продуктов радионуклидами. Источниками радиоактивного загрязнения пищевых продуктов являются компоненты пищевых цепей: атмосфера \rightarrow ветер \rightarrow дождь \rightarrow почва \rightarrow растения \rightarrow животные \rightarrow человек. Такими компонентами пищевых цепей являются *радионуклиды естественного происхождения* (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th). Они постоянно присутствуют во всех объектах неживой и живой природы, начиная с момента образования нашей планеты.

В результате производственной деятельности человека, связанной с добычей полезных ископаемых, сжиганием органического топлива, созданием минеральных удобрений и т. п., произошло обогащение атмосферы естественными радионуклидами. Среди радионуклидов *искусственного происхождения* выделяют 21 наиболее распространенный, 8 из которых составляют основную дозу внутреннего облучения населения: ^{14}C , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^{131}I , ^{95}Zr .

Загрязнение продуктов питания β -излучающими изотопами измеряют как поток радиационного излучения β -част./(см^2) (2.2):

$$1 \beta\text{-част. / (см}^2) = 1 \text{ расп. / (см}^2) = 1 \text{ Бк/м}^2. \quad (2.2)$$

Загрязнение продуктов питания ^{137}Cs и ^{90}Sr нормируется Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, а загрязненность остальными радионуклидами не нормируется.

Бытовые дозиметры – особый класс приборов, предназначенных для оценки радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях и других местах. Ими можно оценивать загрязнение продуктов питания и воды. Оценку радиоактивного загрязнения (удельной или объемной активности) продуктов питания и воды проводят методом прямого измерения.

2.4. Практическая часть

2.4.1 Вариант первый. Дозиметрия ИИ бытовым дозиметром «Белла» и радиометром «Сосна»



Рис. 2.4. Бытовой дозиметрический прибор «Белла»

Устройство и работа бытового дозиметра «Белла» – индикатора внешнего γ -излучения (рис. 2.4). Определяет уровень мощности эквивалентной дозы γ -излучения и оценивает экпозиционную дозу в бытовых условиях с пересчетом мкЗв/ч в мкР/ч ($1 \text{ Зв} = 114,5 \text{ Р}$). Основная погрешность измерения – 30 %, а 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». В режиме «ИЗМЕРЕНИЯ» мощности эквивалентной дозы прибор считает импульсы от счетчика прибора. По окончании счета, время которого определяется внутрен-

ним таймером, на цифровом табло индуцируется число, соответствующее мощности эквивалентной дозы γ -излучения в мкЗв/ч.

Устройство и работа бытового β - γ -радиометра «Сосна». Радиометр предназначен для индивидуального контроля радиационной обстановки – измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения. Он позволяет также осуществлять в бытовых условиях измерение плотности потока β -излучения с загрязненных продуктов и определять удельную активность радионуклидов в продуктах.

Диапазоны измерений: мощности экспозиционной дозы – 0,01–9,99 мР/ч; измерения плотности потока β -излучения – 10–5000 част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$); измерения объемной активности растворов (по изотопу ^{137}Cs) = 10^{-7} – 10^{-6} Ки/л. Время измерения – 20 ± 5 с.



Рис. 2.5. Бытовой радиометр «Сосна»: *а* – батарейный отсек приоткрыт. Показывает 16 микро-рентген/час; *б* – блок детекторов прибора «Сосна». Видны 4 счетчика Гейгера СБМ-20 и часть корректора спектра чувствительности (свинцовая фольга справа)

В верхней части на лицевой панели прибора 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 счет 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.

Процесс измерения мощности дозы. Перед включением ознакомьтесь с устройством прибора, руководством по его эксплуатации, с порядком подготовки к работе.

Корпус прибора состоит из 2-х частей, соединенных между собой винтами (рис. 2.5).

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 точка, 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. **Включить прибор «Сосна».** 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. 2.1.

Таблица 2.1

Измеренная мощность эквивалентной и экспозиционной дозы

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

Рассчитать среднее значение. Перевести среднее значение в мкР/ч. Перевести полученное значение мкЗв/ч на приборе «Белла» в мкР/ч. Для этого следует вспомнить, что для γ -излучения $1 \text{ Зв} = 114,5 \text{ Р}$.

Сравнить величину техногенно измененного естественного фона, полученного на приборах «Белла» и «Сосна» с данными о том, что в Минске среднегодовой уровень мощности дозы γ -излучения находится в пределах от 0,10 до 0,12 мкЗв/ч. Это данные естественного фона, измеряемые на улице. В помещении они будут выше (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Мощность экспозиционной дозы в помещении в зависимости от использованного при строительстве материала

Строительный материал	мР/ч	Строительный материал	мР/ч
Гранит	28–45	Известняк	5
Вулканический туф	24	Гипс	4
Кирпич	16–33	Дерево	< 0,4
Бетон	15–21		

Измерение β -загрязненности поверхности материалов (древесины, торфа, лекарственного сырья, зеленой массы для корма скоту):

1. Перевести переключатель режима работы в положение «МД».
2. Положить прибор плоскостью, закрытой задней крышкой, на исследуемую пробу.
3. Закрыть заднюю крышку прибора и нажать кнопку «Пуск».
4. Показания прибора занести в строку N_γ табл. 2.3. Данные записывают в виде целых чисел без нулей. Например, если показания на табло 0,040, то в таблицу необходимо подставить значение 40. Измерения провести не менее трех раз. Осторожно открыть заднюю крышку прибора.
5. Аналогичные измерения с п. 4 выполнить с открытой задней крышкой и показания прибора занести в строку $N_{\gamma+\beta}$ в табл. 2.3 в виде целых чисел без нулей. Измерения провести не менее трех раз.
6. Выключить прибор и закрыть заднюю крышку прибора.

7. Рассчитать средние значения для N_γ и $N_{\gamma+\beta}$. Данные занести в табл. 2.3.

8. Вычислить величину плотности потока β -излучения с поверхности проб по формуле (2.3):

$$q = K_s \cdot (N_{\gamma+\beta_{cp}} - N_{\gamma_{cp}}), \text{ част./}(\text{см}^2 \cdot \text{мин}) \quad (2.3)$$

где $N_{\gamma+\beta_{cp}}$ и $N_{\gamma_{cp}}$ – 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./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$).

Таблица 2.3

Измерение β -загрязненности поверхности материалов

Исследуемая проба	Показание «Сосны» (имп.)				Среднее значение измерений	Плотность β -потока исследуемой пробы (q)
	N_γ					
	N_γ					
	$N_{\gamma+\beta}$					
	N_γ					
	$N_{\gamma+\beta}$					
	N_γ					
	$N_{\gamma+\beta}$					

В выводах записать наименование пробы, в которой плотность β -потока превышает 3 част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$), как непригодную к использованию.

Оценка удельной активности радионуклидов в пробах прибором «Сосна»:

1. Установить переключатель режима работы в положение «Т».
2. Открыть заднюю крышку прибора.
3. Включить прибор и подготовить часы или секундомер для фиксации времени измерения.

4. Установить прибор на пустую кювету и выполнить измерение исследуемого вещества. Время измерения $t = 10$ мин. Показания прибора N_{ϕ} занести в табл. 2.4 без учета запятой, например, показания 0,525 записывают в таблице как 525.

5. Установить прибор на кювету с исследуемым веществом.

6. Нажать кнопку «ПУСК». Провести исследования аналогично пункту 4. Через $t = 10$ мин нажать кнопку «СТОП». Показания прибора ($N_{\phi+пр}$) занести в табл. 2.4.

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

8. Произвести оценку величины активности радионуклидов в пробе по формуле (2.4):

$$A = K_{\Pi} (N_{\phi+пр} / t_2 - N_{\phi} / t_1), \text{ Бк/кг}, \quad (2.4)$$

где K_{Π} – коэффициент прибора, равен 300. $t_1 = t_2 = 10$ мин = 600 сек.

Все расчеты следует производить с точностью до второго знака после запятой.

Таблица 2.4

Оценка удельной активности радионуклидов в пробах

Исследуемая проба	Длительность измерения с пустой кюветой t_1 , мин	Показание прибора с пустой кюветой N_{ϕ}	Длительность измерения пробы t_2 , мин	Показание прибора с пробой $N_{\phi+пр}$	Удельная активность пробы А, Бк/кг	Данные РДУ

9. Полученное значение активности пищевого продукта сравнить с данными, приведенными в РДУ (табл. 2.5), а древесины, торфа, брикета, лекарственного сырья и зеленой массы для корма скоту – с данными из табл. 2.6. Сделать вывод о пригодности к использованию исследуемых образцов.

Таблица 2.5

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

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

Таблица 2.6

Допустимые уровни содержания ^{137}Cs в пробах

Наименование проб	Бк/кг
Древесина	740
Торф, брикеты	1220
Лекарственное сырье	370
Зеленая масса для корма скоту	165

2.4.2. Вариант второй. Дозиметрия ИИ бытовыми дозиметрами-радиометрами МКС-АТ6130 и МКС-АТ6130С

Дозиметр-радиометр «МКС-АТ6130» (рис. 2.6) предназначен для:

- измерения мощности амбиентного эквивалента дозы Н*/ч (мощность дозы) и амбиентного эквивалента дозы Н* (доза) рентгеновского и γ -излучения;
- измерения плотности потока β -частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхностями;
- оперативного поиска ИИИ и радиоактивных материалов.


Прибор имеет корпус, на передней панели которого находятся ЖКИ, светодиодный индикатор и кнопки управления.

На задней стенке корпуса расположена откидывающаяся крышка-фильтр с магнитным фиксатором и меткой центра детектора, а также этикетка. Крышка-фильтр закрывает специальное окно детектора, защищенное металлической сеткой и полимерной металлизированной пленкой.

На верхней торцевой крышке находится разъем для подключения головного телефона в отверстие звукового излучателя. На нижней торцевой крышке находятся входное отверстие батарейного отсека и этикетка со схемой установки элементов питания. Внутри приборов за задней стенкой корпуса расположен газоразрядный счетчик.

Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130С – предназначен для таких же исследований, как и МКС-АТ6130, за исключением невозможности на нем измерять плотность потока β -частиц (рис. 2.7).

Подготовка приборов к работе:

1. Включение и выключение: прибор включается нажатием кнопки , а выключается быстрым трехкратным ее нажатием.

2. При включении прибора появляется надпись «АТОМТЕХ», дата создания программы, и через 3–5 с (в случае успешного завершения самоконтроля) прибор переходит в режим индикации измерения мощности дозы. Перейти к измерению можно и через *режим меню*.



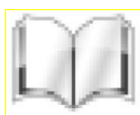
Рис. 2.6. Бытовой дозиметр-радиометр МКС-АТ6130



Рис. 2.7. Бытовой дозиметр-радиометр МКС-АТ6130С

Измерение мощности дозы облучения дозиметрами-радиометрами МКС-АТ6130 и МКС-АТ6130С:

1. Включить прибор. Прибор находится в режиме постоянного измерения мощности дозы и дозы. В этот же режим можно войти и через меню. Для этого надо соблюсти следующую последовательность:




→ РЕЖИМ → МОЩН. ДОЗЫ

В режиме индикации мощности дозы на табло выводится текущее среднее значение мощности дозы (pSv/h, mSv/h) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%).

2. Параметр статистической погрешности (от 200 % до 1 %) зависит от времени измерения мощности дозы. Чем больше накоплено результатов измерений для расчета мощности дозы, тем лучше статистический показатель.

3. Измерив первый раз, прибор автоматически начинает новый цикл измерений мощности дозы (при этом накопленная доза не сбрасывается). Момент начала нового цикла измерений сопровождается короткой звуковой сигнализацией и световой индикацией.

3. При завершении операции через 1–2 с прибор выключается, при выключении прибор индицирует «ОТКЛ». Выключение прибора возможно только в режиме индикации измерений!

4. Прибор имеет функцию контроля заряда элементов питания и на табло соответствующий индикатор «».

5. При полном разряде элементов питания прибор индицирует «*Батарея разряжена!!!*» и выключается.


6. Если в процессе работы на табло появляется сообщение «*Егг xx*», где *xx* – код ошибки, то это свидетельствует о неисправности. Дальнейшая работа с прибором невозможна.

Происходит скачкообразное увеличение значения статистической погрешности, а затем его постепенное уменьшение по мере накопления результатов. Надо зафиксировать 5 таких измерений и записать их в табл. 2.7 для каждого прибора отдельно.

Таблица 2.7

Измеренная мощность дозы и дозы облучения

Прибор	Вид измерения	Данные измерений					Среднее значение замеренной величины в мкЗв/ч и мкЗв
		1	2	3	4	5	
Дозиметр-радиометр «МКС-АТ6130»	Мощность дозы						
	Доза						
Дозиметр-радиометр «МКС-АТ6130С»	Мощность дозы						
	Доза						

1. Можно сбросить и перезапустить заново измерение мощности дозы, нажав кнопку , что не повлияет на измерение дозы.

2. В случае превышения порога по мощности дозы появляется звуковая сигнализация (пять коротких звуков и длинная пауза) и мигающая индикация «4». Если одновременно превышен порог и по мощности, и по дозе, то оба звуковых сигнала будут чередоваться.

3. Если при измерении мощности дозы появляется индикация «OL mSv/h», сопровождающаяся непрерывной звуковой сигнализацией и световой индикацией, это означает, что превышен предел измерений мощности дозы:

а) мощность дозы рентгеновского и γ -излучения в диапазоне от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч;

б) доза рентгеновского и γ -излучения в диапазоне от 0,1 мкЗв до 100 мЗв;

в) плотность потока β -частиц в диапазоне от 10 до $10^4 \text{ мин}^{-1} \text{ см}^{-2}$.


Измерение дозы облучения дозиметрами-радиометрами «МКС-АТ6130» и «МКС-АТ6130С»:

1. Приборы находятся в режиме постоянного измерения дозы и мощности дозы. Через меню прибора переключают функцию измерения для режима индикации дозы облучения:



→ РЕЖИМ → ДОЗА

2. В режиме индикации дозы на табло выводится текущее значение накопленной дозы (nSv, nSv, mSv и Sv).

3. Сбросить и перезапустить заново измерение дозы можно, нажав кнопку . Так надо сделать 3 раза и результаты измерения записать в табл. 2.7.

4. Если при измерении дозы появляется индикация «OL mSv», сопровождающаяся непрерывной звуковой сигнализацией и световой индикацией, это означает, что превышен предел измерений дозы.

5. В случае появления сообщения «OL мощн. дозы», погрешность измерения дозы не нормируется, так как был превышен предел измерений мощности дозы.

По результатам измерений сделать заключение об уровне мощности дозы и дозы облучения в данной аудитории.

Измерение плотности потока β -частиц производят прибором МКС-АТ6130 при открытой крышке фильтра.

ВНИМАНИЕ: необходимо оберегать от повреждений защитную металлизированную пленку в окне детектора!

1. Режим индикации плотности потока включается автоматически при открытии крышки-фильтра, а также через меню прибора (при открытой крышке-фильтре):



→ РЕЖИМ → ПЛ. ПОТОКА

2. В режиме индикации плотности потока на табло выводится текущее значение плотности потока ($l/(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$, $10/(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%). Измерение плотности потока выполняется с автоматическим вычитанием фона!

3. Измерение плотности потока β -частиц: установить прибор с открытой крышкой-фильтром на кювету с измеряемой пробой так, чтобы плоскость задней стенки корпуса прибора находилась на расстоянии 15 ± 3 мм от исследуемой поверхности.


4. Произвести 5 измерений, сбрасывая и перезапуская заново измерение плотности потока, нажав кнопку . Прибор автоматически начинает новый цикл измерений плотности потока, сопровождаемый короткой звуковой и световой сигнализацией. Результаты измерения записать в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Измерение плотности потока β -частиц поверхностной радиоактивной загрязненности

Измеренная проба	Данные измерений					Среднее значение измеренной величины в $l/(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$
	1	2	3	4	5	

5. В случае превышения порога по плотности потока появляется звуковая сигнализация (пять коротких звуков и длинная пауза) и мигающая индикация «4».

2.5. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы о соответствии измеренных величин исследуемых проб допустимым значениям.

2.6. Вопросы к зачету

1. Какие виды излучения присутствуют в естественном радиационном фоне и почему?
2. Какие радионуклиды создают земное излучение?
3. Чем опасен радон для человека? Дать его краткую характеристику.
4. Чем отличается естественный радиационный фон от техногенно измененного естественного радиационного фона?
5. Чем отличается первичное космическое излучение от вторичного?
6. Какие антропогенные источники радиационного излучения существуют?

7. Что называется радиоактивным загрязнением, чем оно создается и как измеряется?

8. Какие дозы измеряет дозиметр «Белла» и какие – радиометр «Сосна»? Единица их измерения?

9. Для чего используют радиометры и дозиметры?

10. Чем отличаются по своим возможностям измерения бытовой дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 от бытового дозиметра-радиометра МКС-АТ6130С?

11. Как устроены бытовые дозиметры и особенности их работы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБ ПОЧВЫ ПОСЛЕ АВАРИИ НА АЭС (2 часа)

3.1. Цель работы

1. Ознакомиться с загрязненностью почвы Беларуси чернобыльскими радионуклидами.

2. Ознакомиться с составом выброса из разрушенного во время катастрофы IV энергоблока Чернобыльской АЭС.

3. Ознакомиться с динамикой изменения радиационной обстановки на территории Беларуси.

4. Ознакомиться с устройством и работой β -радиометра РУБ-01П при определении удельной активности радионуклидов в пробах почвы.

5. Ознакомиться с измерением удельной активности радионуклидов в почве из районов, пострадавших от аварии на ЧАЭС, а также и других районов Беларуси.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить представленные методические материалы.

2. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачету.

3. Перечертить в тетрадь табл. 3.3 и заполнить ее во время работы с прибором.

4. Рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

3.3. Теоретическая часть

Естественные радионуклиды. В почвах Беларуси содержание урана-238 в верхнем горизонте колеблется в пределах 1,0–12,8 Бк/кг, составляя в среднем $5,98 \pm 0,36$ Бк/кг. Отмечается выраженное уменьшение его с севера на юго-запад республики. Наиболее высокое содержание урана характерно для дерново-подзолистых почв. В среднем они содержат 7,45 Бк/кг урана-238. Среднее содержание тория-232 в почвах республики составляет $6,91 \pm 0,75$ Бк/кг при более широком варьировании (3,0–26,2 Бк/кг), чем для урана-238. Содержание радия-226 в почвах выше содержания урана и тория (10,8–83,0 Бк/кг). В среднем, содержание его в исследуемых почвах равно $45,9 \pm 2,9$ Бк/кг. Причем наблюдается ясно выраженное снижение количества радия-226 с севера на юго-запад Беларуси.

В 1986 г. к естественным радионуклидам в почвы Беларуси добавились **искусственные радионуклиды**. Они получили такое название потому, что образуются в процессе ядерного деления, ядерного синтеза и нейтронной активации в реакторах АЭС, и попали в нашу почву после ядерной катастрофы. Они отсутствуют в природе. Среди искусственных радионуклидов основное экологическое значение имеют изотопы цезия, стронция, рутения, церия, йода и плутония, поскольку они обладают высоким выходом в ядерных реакциях.

В результате взрыва на IV энергоблоке ЧАЭС в атмосферу было выброшено до 192 т радиоактивных веществ, содержащих искусственные радионуклиды. Спектр выпавших после катастрофы на ЧАЭС на почву радионуклидов представлен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Спектр выпавших на почву радионуклидов после катастрофы на ЧАЭС

Выброс	Радионуклиды	Количество выброшенных радионуклидов
1	2	3
Суммарный	23 вида	$14 \text{ ЭБк} = 14 \text{ Бк} \cdot 10^{18}$
Благородные газы	Ксенон, криптон	5,3 ЭБк

Окончание табл. 3.1

1	2	3
Элементы с атомной массой ~ 130	Йод, теллур, цезий, барий, церий	1,8 ЭБк йода-131 0,270 ЭБк цезия-137
Элементы с атомной массой ~ 90	Стронций, ниобий, молибден, цирконий	0,01 ЭБк стронция-90
Уран и трансураниевые элементы	Плутоний, нептуний, кюрий	0,003 ЭБк изотопов плутония
Долгоживущие изотопы	Йод-129 ($T_{1/2}$ 15,7 млн лет), тритий ($T_{1/2}$ 12,3 г), углерода ($T_{1/2}$ 5,73 тыс. лет)	0,01 ЭБк

Из выброшенных после катастрофы в атмосферу радиоизотопов на месте АЭС осело 0,3–0,5 %, а в пределах 20 км – около 1,5–2,0 %. В ближней зоне в течение 5 первых дней на земную поверхность осели топливные частицы, дисперсность которых превышала 10 мкм.

В аварийном выбросе радионуклидов после катастрофы на ЧАЭС можно выделить 4 основные стадии:

1-я стадия – выброс радионуклидов, обусловленный взрывом;

2-я стадия – выброс радионуклидов, связанный с горением графитовой кладки реактора;

3-я стадия – выброс радионуклидов за счет процессов, идущих при повышении температуры топлива и содержащей топливо – массы;

4-я стадия – резкое уменьшение выброса радионуклидов в результате стабилизации и последующего постепенного снижения температуры.

Выпадение радионуклидов из атмосферы сопровождалось сухим осадением или гравитационным оседанием; отложением аэрозолей и адсорбцией паров на предметах по направлению распространения ветра; влажным оседанием, когда пары или аэрозоли проникают в капли дождя или в снежинки и далее выпадают в виде осадков; возможно и выпадение паров и аэрозолей в слоях ниже дождевых облаков и т. д.; радиоактивным распадом исходных радионуклидов и накоплением дочерних продуктов распада. В результате произошло пятнистое и крупномасштабное загрязнение территории Беларуси радионуклидами. В настоящее время 70–90 % цезия-137, 40–60 % стронция-90 и до 95 % запаса трансураниевых эле-

ментов продолжают оставаться в верхнем корнеобитаемом слое почв, откуда они поступают в пищевые цепочки. Эти же радионуклиды определяют и радиоэкологическую обстановку в пострадавших от катастрофы районах.

Цезий-137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$). Доаварийное загрязнение территории Беларуси цезием-137 за счет глобальных выпадений составляло примерно от 1,5 до 4 кБк/м². После чернобыльской аварии 66 % территории оказалось загрязненной цезием-137 выше 10 кБк/м², а более 37 кБк/м² – около 47 тыс. км² или 23 % территории республики.

Около 35 % чернобыльских выпадений этого радионуклида находится на территории Беларуси (рис. 3.1).

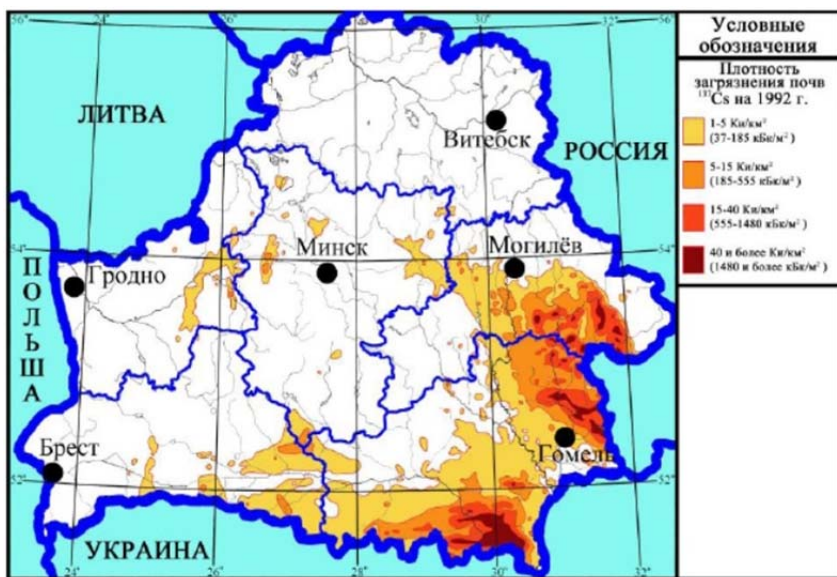
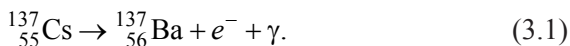


Рис. 3.1. Загрязнение территории Беларуси цезием-137

Цезий-137 является β - и γ -излучателем с $T_{1/2}$ 30,2 года. Цезий имеет 20 радиоактивных и 1 стабильный изотоп. При β -распаде ^{137}Cs выделяется электрон с энергией 514 кэВ и γ -квант с энергией 661 кэВ, что способствует превращению его в стабильный изотоп бария (3.1):



В настоящее время цезий-137 поступает в организм человека через желудочно-кишечный тракт. Накапливается он в крови и мышцах и обуславливает общее хроническое внутреннее облучение ИИ внутренних органов человека в течение всей его жизни.

Стронций-90 (${}^{90}_{38}\text{Sr}$). Загрязнение территории Республики Беларусь стронцием-90 выше 5,5 кБк/м² было обнаружено на площади 21 тыс. км² в Гомельской и Могилевской областях, что составило 10 % от территории Беларуси.

Максимальные уровни стронция-90 достигали величины 1800 кБк/м² в пределах 30-километровой зоны. Наиболее высокая активность стронция-90 в «дальней зоне» была обнаружена на расстоянии 140–250 км и доходила до 140 кБк/м².

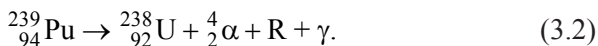
Известно 12 радиоактивных изотопов стронция с $M = 81\text{--}83, 85, 89\text{--}96$. При распаде стронций-90 испускает электрон с энергией 546 кэВ и превращается в иттрий-90 (${}^{90}_{39}\text{Y}$). Последний теряет электрон с максимальной энергией 2,27 МэВ и превращается в цирконий-90 (${}^{90}_{40}\text{Zr}$): ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + e^{-} \rightarrow {}^{90}_{40}\text{Zr} + e^{-}$.

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

Изотопы стронция накапливаются в костях скелета человека, 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.

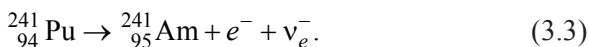
Плутоний-238, 239 и 240 (${}^{238,239,240}_{94}\text{Pu}$). Загрязнение почвы изотопами плутония с плотностью более 0,37 кБк/м² охватывает около 4,0 тыс. км², или почти 2 % площади республики. Эти территории преимущественно находятся на юге нашей республики. Наиболее высокие уровни плутония-238 наблюдаются в 30-километровой зоне ЧАЭС – более 110 кБк/м².

${}^{239}_{94}\text{Pu}$ при распаде излучает α -частицы (энергия около 5 МэВ), мягкое рентгеновское излучение с энергией 10–22 кэВ, γ -кванты – 380 кэВ и превращается в уран-238 (3.2):



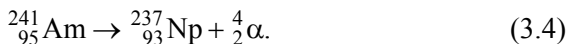
У ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ $T_{1/2} = 24,38$ тыс. лет, у ${}_{92}^{238}\text{U}$ $T_{1/2} = 713$ млн лет.

Америций-241 (${}_{95}^{241}\text{Am}$). Плутоний-241 испускает β -частицы с энергией 122 и 524 кэВ и превращается в америций-241 (3.3).



Экологическая опасность загрязнения почвы америцием-241 обусловлена возрастанием его концентрации со временем. В связи с этим происходит увеличение с каждым годом соотношения активностей ${}^{241}\text{Am}/{}^{241}\text{Pu}$. Если сразу же после катастрофы на ЧАЭС в 1986 г. оно составляло $0,13 \pm 0,03$, то за последующие 70 лет этот показатель увеличится в 20 раз за счет распада ${}^{241}\text{Pu}$ и накопления ${}^{241}\text{Am}$. Учитывая большой период его полураспада (432,6 года, у плутония-241 он 14,4 г.), эта проблема будет актуальной еще много лет. Америций концентрируется преимущественно в верхних слоях почвы, что в сочетании с более высокой, чем у плутония-241 (4–15 %), подвижностью ${}^{241}\text{Am}$ (~30 %), увеличивает опасность его попадания в живые организмы и его токсичность.

При распаде америций-241 испускает α -частицы, а дочернее ядро нептуния-237 – каскад γ -квантов и/или конверсионных электронов (3.4).



И плутоний-241, и америций-241 накапливаются в костях, печени, легких человека и вызывают развитие хронической анемии, остеопороза, рака костей, легких и др.

Оседание радионуклидов на почву и растения вызывает загрязнение их снаружи (рис. 3.2). Радионуклиды оседают на листья и всасываются внутрь растения. Из почвы они всасываются корневой системой растений, растения поедаются сельскохозяйственными животными, попадают в молоко и мясо домашних животных и с ними – в организм человека.

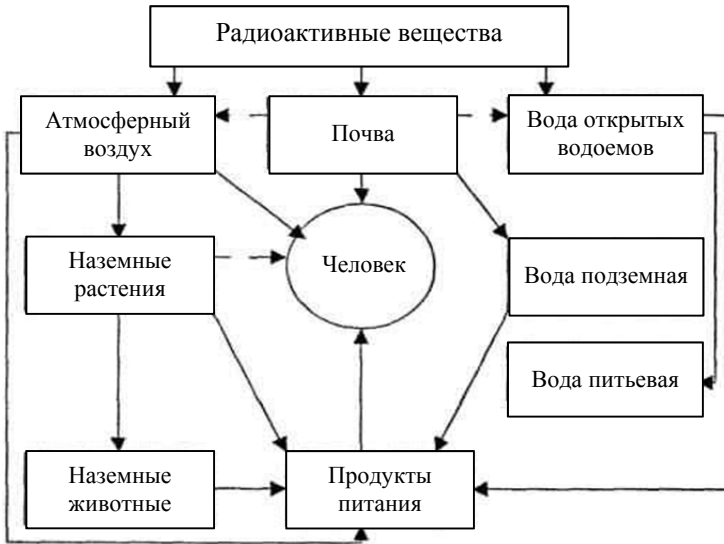


Рис. 3.2. Миграция радионуклидов в окружающей среде

Постепенное снижение уровня радиоактивности почвенного покрова происходит благодаря нескольким основным факторам:

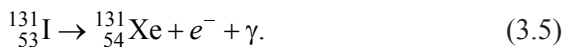
1. Естественному распаду выпавших радионуклидов. В первые месяцы после аварии распались короткоживущие радионуклиды. Это *изотопы йода, теллура, бария, лантана* и др. (^{131}I , ^{127}Te , ^{132}Te , ^{132}Te , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{99}Mo). Динамика распада радионуклидов после аварии на ЧАЭС представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Динамика распада радионуклидов в почве после аварии на ЧАЭС

Период	Тип радионуклидов	Распадающиеся радионуклиды
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}Ru , ^{106}Ru , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{89}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{241}Pu
III Лето 1987 г. – по настоящее время	Долгоживущие	^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am

Представитель короткоживущих радионуклидов – ^{131}I – при распаде превращается в ксенон-131 с выделением электрона (энергия – 203 кэВ) и γ -кванта с энергией 637 кэВ:



В организм йод-131 поступает через легкие и желудочно-кишечный тракт и избирательно накапливается в щитовидной железе, создает локальное облучение высокой мощности дозы (более 200 сЗв/с). Изменения в генетическом аппарате клеток щитовидной железы являются причиной развития в ней ракового заболевания.

Затем распадаются среднеживущие радионуклиды ($^{103, 106}\text{Ru}$, $^{141, 144}\text{Ce}$, ^{89}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{241}Pu) и долгоживущие радионуклиды (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$, ^{241}Am). Только за счет распада ^{137}Cs к настоящему времени радиоактивность почвы снизилась более чем на 30 %.

2. Горизонтальной миграции радионуклидов – разнесу радионуклидов ветром, водой, во время лесных пожаров и пожаров торфяников, дикими животными, птицами и др.

3. Вертикальной миграции радионуклидов – конвективному переносу (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.

Отбор проб почвы для анализа проводят методом конверта, с таким расчетом, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для слоя данного поля. 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 с автоматическим учетом в измеряемой пробе радионуклида калия-40 и сведения к минимуму его влияния на точность измерения.

3.4. Практическая часть



Рис. 3.3. Радиометр РКГ-01 «АЛИОТ»

Устройство и технические данные радиометра РКГ-01 «АЛИОТ». Радиометр (рис. 3.3) предназначен для массового контроля γ -излучения в различных пробах. Он регистрирует фотонное ИИ с энергией 0,5–3 МэВ. Для измерения используют блок детектирования на базе сцинтилляционного кристалла размером 40 × 40 мм; диапазон измерения удельной активности 18,5–37 000 (Бк/кг), $5 \cdot 10^{-10}$ – $1 \cdot 10^{-6}$ (Ки/кг).

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.

Радиометр состоит из электронного блока, блока детектирования, помещенного в защитное устройство и соединенного с электронным блоком кабелем. В основе работы блока детектирования лежит преобразование 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.

Назначение индикаторов и переключателей электронного блока. Передняя панель:

- цифровой 12-разрядный индикатор;
- ПУСК – разрешение начала измерений;
- СТОП – прекращение текущего измерения;
- ОБЪЕМ – ввод в радиометр сведений о геометрии измеряемой пробы;
- ЕДИН. ИЗМ. – ввод в радиометр требований оператора о единицах измерения, в которых необходимо получить 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».

Включение прибора. Включить радиометр тумблером «СЕТЬ» на задней панели прибора и выдержать радиометр во включенном состоянии 10 минут. Обратите внимание на контрольный индикатор «РЕЖИМ», он должен мигать.

Измерение фона γ -излучения и удельной активности пробы следует начинать после установления рабочего режима радиометра.

После окончания измерения фона раздается звуковой сигнал и на табло появляются значения величин фона в цезиевом и калиевом окнах и статистическая погрешность определения фона. Измерение фона заканчивается либо при достижении заданной точности, либо при нажатии клавиши «СТОП». Эти значения запоминаются устройством и учитываются при последующих измерениях.

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 0,1 л).

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

4. Начинают измерение, нажав клавишу «ПУСК», а на индикаторе слева появляются изменяющиеся значения активности радионуклидов цезия в пробе в единицах Бк/кг, а справа – абсолютное значение статической погрешности.

5. Полученные результаты записать в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты собственных измерений

№ п/п	Наименование материала	Измеренная удельная активность Бк/кг ^{137}Cs	Измеренная удельная активность Бк/кг ^{40}K
	Фон		
	Проба № 1		
	Проба № 2		

Обработка результатов измерения. Удельную эффективную активность $A_{m \text{ эфф}}$ радионуклидов в почве рассчитывают по формуле (3.6):

$$A_{m \text{ эфф}} = A_{\text{Ra}226} + 1,31A_{\text{Th} 232} + 0,085A_{\text{K}40} + 0,22A_{\text{Cs}137}, \quad (3.6)$$

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

$A_{\text{K}40}$ – удельная активность ^{40}K ;

$A_{\text{Cs}137}$ – удельная активность ^{137}Cs (Бк/кг).

Рассчитать по приведенной формуле удельную эффективную активность $A_{m \text{ эфф}}$ исследуемых образцов почвы, используя данные табл. 3.4 и результаты измерений удельной активности для радионуклидов ^{40}K и ^{137}Cs .

Таблица 3.4

Содержание радия-226 и тория-232 в почве Беларуси (Бк/кг)

Вид материала	Радий-226	Торий-232
Почва	45,9	6,91

Для того чтобы по карте определить, откуда взята проба, надо пересчитать данные удельной эффективной активности $A_{m \text{ эфф}}$ исследуемых образцов почвы в поверхностную их активность по формуле

$$A_s = \frac{A_{m \text{ эфф}} \cdot 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot 10^6}{5 \cdot 10^{-3}} \text{ Ки/км}^2. \quad (3.7)$$

Все расчеты проводить с точностью до второго знака после запятой.

По карте загрязнения Беларуси ^{137}Cs находим, откуда бралась проба почвы. Если рассчитанная $A_s > 1 \text{ Ки/км}^2$, то проба взята с загрязненной ^{137}Cs территории, если $A_s < 1 \text{ Ки/км}^2$, то с чистой.

3.5. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы о соответствии рассчитанной поверхностной активности проб допустимым значениям.

3.6. Вопросы к зачету

1. Какие радионуклиды попали в окружающую среду после катастрофы на Чернобыльской АЭС?
2. Какие природные радионуклиды находятся в почвах Беларуси?
3. Какие радионуклиды обуславливают радиационную обстановку Беларуси в настоящее время?
4. Что Вы знаете о динамике распада радионуклидов в почве после аварии на ЧАЭС?
5. Какие стадии можно выделить при аварийном выбросе после катастрофы на ЧАЭС?
6. Какие известны механизмы осаждения радионуклидов из атмосферы на почву и растения?
7. Что Вам известно о цезии-137, о стронции-90, о плутонии-238, -239 и -240, америции-241?
8. Какие факторы влияют на снижение уровня радиоактивности почвенного покрова?
9. Как устроен и какие технические данные радиометра РКГ-01 «АЛИОТ» известны Вам?
10. Расскажите об этапах измерения загрязненности проб почвы при помощи прибора РКГ-01 «АЛИОТ».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ β -РАДИОМЕТРОМ РУБ-01П1 (2 часа)

4.1. Цель работы

1. Ознакомиться с загрязнением продуктов питания в нашей республике.
2. Ознакомиться с оценкой путей поступления радионуклидов в организм человека.
3. Ознакомиться с коэффициентами перехода радионуклидов в продукты питания.
4. Ознакомиться с устройством и принципами работы β -радиометра РУБ-01П.
5. Ознакомиться с работой прибора и определением удельной активности β -излучающих радионуклидов в продуктах питания.

4.2. Порядок выполнения работы

1. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачету.
2. Перечертить в тетрадь таблицу и переписать формулу для расчета активности, заполнить таблицу во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

4.3. Теоретическая часть

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 по корневой системе. Помимо поступления радионуклидов в растения через корни существует поступление их через листья, стебли и плоды. По скорости листового всасывания радионуклиды можно расположить в ряд: цезий – барий – стронций. По степени возрастания поступления в растения из почвы по корне-

вой системе радионуклиды можно расположить в следующий ряд: стронций-89 – стронций-90 – йод-131 – барий-140 – цезий-137. Интенсивность этого процесса обусловлена типом почвы.

Радионуклиды мигрируют к человеку по следующим основным пищевым **цепочкам**:

- водоемы – фитопланктон (водоросли и т. п.) – зоопланктон – моллюски – рыба – человек;
- сточные воды – почва – растения – человек;
- атмосфера (ветер, дождь) – почва – растения (злаки, овощи, ягоды, грибы) – человек;
- атмосфера – вода – человек;
- почва – растения – коровы – молоко – человек;
- почва – растения – домашние и дикие животные – мясо – человек (рис. 4.1).

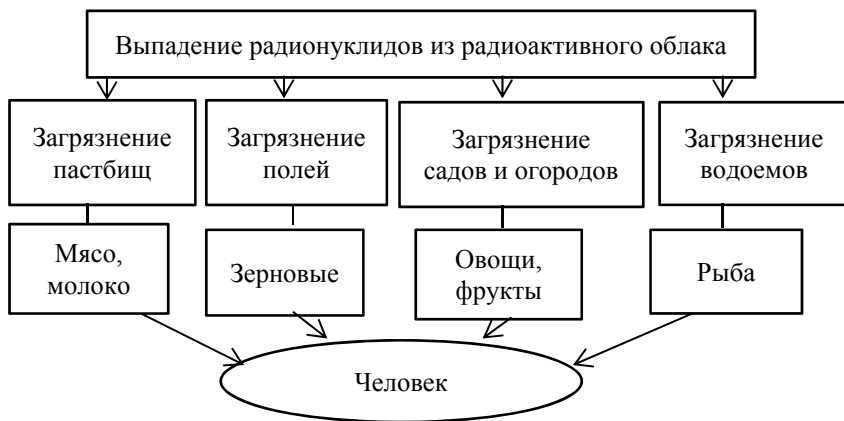


Рис. 4.1. Пищевые цепочки радионуклидов черномыльского происхождения

Пищевая цепочка радионуклида – путь, который проходит радионуклид из почвы к человеку через промежуточные продукты питания. Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения используют коэффициенты перехода через корневую систему, а также коэффициенты накопления или коэффициенты концентрации (K_n).

Коэффициент перехода через корневую систему – это отношение содержания радионуклида в почве к количеству его в корнях.

Коэффициент накопления – отношение содержания радионуклида в растительной массе к содержанию радионуклида в почве. Коэффициент накопления различными культурами ^{90}Sr изменяется от 0,02 до 12, ^{137}Cs – от 0,02 до 1,1.

В результате хлебобулочные изделия и мясо, например, имеют большую радиоактивность, чем молоко, сметана, масло, кефир.

Величина накопления радионуклидов зависит от:

- 1) свойств радионуклидов и форм нахождения их в почве;
- 2) физико-химических параметров почвы;
- 3) биологических особенностей растений;
- 4) агротехники возделывания;
- 5) погодно-климатических условий.

По убывающей способности накапливать цезий-137 растения 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.

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

В настоящее время большинство радионуклидов поступает человеку с продуктами растениеводства и животноводства через желудочно-кишечный тракт. Существует несколько основных типов распределения радионуклидов в организме человека: равномерный (^3H , ^7Li , ^{22}Na , ^{40}K , ^{85}Rb , ^{137}Cs), скелетный (^{45}Ca , ^{90}Sr , ^{140}Ba , ^{226}Ra), печеночный (^{238}U , ^{125}Sb , ^{76}As , ^{75}Se) и тиреотропный (^{131}I , ^{211}At) (рис. 4.2). На поступление радиоактивных элементов внутрь человека влияет набор продуктов, которыми он питается.

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 1999 г. и продленные в 2001 г.



Рис. 4.2. Накопление радионуклидов в организме человека

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

4.4. Практическая часть



Рис. 4.3. β-радиометр РУБ-01П1

β-радиометр РУБ-01П1 предназначен для измерения удельной и объемной активности β-излучающих радионуклидов в пробах пищевых продуктов и др. β-радиометр имеет 2 блока детектирования (рис. 4.3). В одном из них блок детектирования состоит из 10 сцинтилляционных пластинок, в другом – сцинтиллирующий слой нанесен на оргстекло и закрыт пленкой с отражательным светозащитным покрытием.

Работа β -радиометра основана на преобразовании световых вспышек в чувствительном объеме детектора в ток (см. рис. 1.10 на стр. 18). Диапазон измерения β -радиометра с блоком детектирования по ^{137}Cs составляет $1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$ Бк/кг, Бк/л, чувствительность – $2,6 \cdot 10^{-6}$ Бк/кг, погрешность – $\pm 50\%$.

Назначение кнопок управления прибором:

1. Кнопка «ВКЛ» 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 микро-ЭВМ 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.

Подготовка прибора к работе:

1. Нажатием кнопки «ВКЛ», включить радиометр (должны загореться светодиоды «1» и цифры индикатора).

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

3. Кнопкой «ЭКСПОЗ» добиться индикации « ∞ » и выдержать радиометр во включенном состоянии 15 мин.

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

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», начнется счет импульсов. Через время индикации t , указываемое светящимся диодом, прибор издает звуко-

вой сигнал, а на цифровом табло фиксируется число импульсов. После 3–5 с происходит автоматический сброс результата и начинается новое измерение. Измерить пять раз. Записать показания индикатора с учетом времени счета в табл. 4.1 в графу измерения фона $N_{\text{ф}}$.

3. Вставить кювету с пробой в блок детектирования. Нажать кнопку «ПУСК». В конце измерения после звукового сигнала записать показания индикатора в табл. 4.1 в графу измерения $N_{\text{ф+пр}}$.

4. Повторить действия по пункту 2 пять раз с новой пробой и записать показания индикатора в табл. 4.1 в графу измерения $N_{\text{ф+пр}}$.

5. Выключить β -радиометр, переведя кнопку «ВКЛ» в положение «ОТКЛЮЧЕНО».

6. Рассчитать средние значения для $N_{\text{ф}}$ и $N_{\text{ф+пр}}$. Данные занести в табл. 4.1 графы $N_{\text{ф ср}}$ и $N_{\text{ф+пр ср}}$.

Таблица 4.1

Результаты собственных исследований

Название исследуемой пробы	№ измерения	Измерение фона $N_{\text{ф}}$	Измерение пробы $N_{\text{ф+пр}}$	Удельная активность пробы (A_m), 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					

7. Вычислить величину удельной активности проб по формуле

$$A = \frac{N_{(\text{ф+пр})\text{ср}} - N_{(\text{ф})\text{ср}}}{P \cdot t}, \text{ Бк/кг}, \quad (4.1)$$

где P – коэффициент чувствительности, равный $2,6 \cdot 10^{-4}$ (для ^{137}Cs).
Средние значения: $N_{\text{ф+пр}}$ – показание измерения пробы (число импульсов); $N_{\text{ф}}$ – показание измерения фона (число импульсов); t – время в секундах.

Все расчеты проводить с точностью до второго знака после запятой.

4.4. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы о соответствии замеренной активности проб допустимым значениям. Допустимые значения представлены в табл. 2.5 (с. 40).

4.5. Вопросы к зачету

1. Устройство и принцип работы сцинтилляционного детектора.
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. Как распределяются радионуклиды в организме человека?
6. Какую цель преследуют, вводя РДУ-2001?
7. От чего зависит величина накопления радионуклидов в организме человека?
8. Как устроен β -радиометр РУБ-01П1 и для чего он предназначен?
9. По какой формуле вычисляют величину удельной активности проб?
10. Какие из исследованных Вами пищевых продуктов превышают допустимые уровни?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ВЫРОСШИХ В ЛЕСУ(2 часа)

5.1. Цель работы

1. Ознакомиться с причинами загрязнения радионуклидами леса и его даров, различиями накопления их в грибах.
2. Ознакомиться с измерением удельной β -активности проб даров леса с помощью радиометра КРВП-ЗБ.

5.2. Порядок выполнения работы

1. Законспектировать в рабочую тетрадь ответы на вопросы к зачету.
2. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

5.3. Теоретическая часть

Лесные массивы в зонах загрязнения радионуклидами после аварии на ЧАЭС аккумулировали значительное количество радиоактивных выбросов. Лес служил 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 неодинаковым накоплением радионуклидов отдельными их представителями.

Грибы-аккумуляторы – польский гриб, моховик желто-бурый, рыжик, масленок осенний, козляк, горькуша, колпак кольчатый.

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

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

Грибы, средне накапливающие – опенок осенний, белый гриб, подосиновик, подзеленка, сыроежка обыкновенная. Заготовку можно проводить в лесах с плотностью загрязнения до 1 Ки/км².

Грибы, слабо накапливающие радионуклиды – строчок обыкновенный, рядовка фиолетовая, шампиньон, дождевик шиповатый, сыроежка цельная и буреющая, зонтик пестрый, опенок зимний, вешенка. Они выращиваются на чистых почвах.

Накопление радионуклидов в грибах различается не только в зависимости от их видовой принадлежности. У грибов с хорошо развитой ножкой (белый, подберезовик, подосиновик, польский гриб), содержание радионуклидов в шляпках в 1,5–2 раза выше, чем в ножках. Различий по содержанию цезия-137 в молодых и старых грибах нет. Однако рекомендуется собирать молодые грибы, поскольку в старых могут накапливаться еще и ядовитые вещества.

Надо помнить основное правило – собирать грибы надо только на чистых территориях (до 1 Ки/км²).

При посещении лесных массивов следует обращать внимание на *указатели радиационной опасности*, которые выставляются на въездах в потенциально опасные кварталы леса, где уровень загрязнения превышает 15 Ки/км².

Следует помнить, что сбор грибов, ягод, заготовку лекарственного сырья производят с обязательным контролем в Центре гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья. **На загрязненных радионуклидами территориях собирать грибы, ягоды и заготавливать лекарственное сырье нельзя.**

Особенно следует опасаться употреблять в пищу рыбу из местных водоемов и мясо диких животных. Широкомасштабная миграция крупных животных в зону ЧАЭС была зафиксирована уже через несколько месяцев после аварии. С прилегающих территорий сюда пришли 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 десяти-

летий. Все они содержат в себе большое количество радионуклидов и активно мигрируют на чистые территории. Они остаются жить в лесах и питаться загрязненным кормом.

Следует также помнить, что количество радионуклидов в пищевой цепочке, как правило, постепенно увеличивается от одного звена пищевой цепочки к последующему. Например, концентрация ^{137}Cs возрастает в цепи лишайники – мышцы оленей – мышцы волков: 30, 85 и 181 нКи/г сухой массы, соответственно, а концентрация ^{90}Sr в этой же цепи уменьшается: 7,2, 0,1 и 0,04 нКи/г сухой массы.

Если вы не уверены в качестве собранных овощей, фруктов, ягод и грибов, их надо дезактивировать и подготовить к употреблению. Для этого:

- Овощи и фрукты рекомендуется полностью очищать от земли, пыли, тщательно мыть. Очищать от кожуры.
- Широко использовать засолку и маринование. Квашение, маринование, соление приводит к снижению содержания радиоактивных веществ в продуктах на 15–20 %.
- Ограничивать потребление местных продуктов, (если нет возможности провести радиационный контроль), являющихся концентратами, к которым относятся грибы, бобовые.
 - Тушение овощей снижает содержание цезия на 30–50 %.
 - Отваривание, например, очищенного картофеля, позволяет уменьшить в нем содержание цезия на 60–80 %.
 - Грибы перед приготовлением обязательно надо вымочить в солевом растворе, а затем промыть и прокипятить. Первый отвар не использовать – в этот раствор переходит до 40 % радионуклидов. При кипячении в подсоленную воду желательно добавить немного столового уксуса или лимонной кислоты. В шапках грибов концентрация радионуклидов в 1,5–2 раза выше, чем в ножке.

5.4. Практическая часть

Для измерения удельной β -активности пищевых продуктов (даров леса) в лабораторных условиях используют β -радиометр КРВП-ЗБ. Он представляет собой установку счета 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 γ -излучения. Устройство и принцип работы газоразрядного счетчика см. на стр. 19.

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 %.

На лицевой панели прибора расположены (рис. 5.1):

- выключатель питающей сети («Выкл» – сеть отключена, «Сеть» – сеть включена);
- тумблер рода работ («ПРОВЕРКА» – проверка исправности радиометра, положение «РАБОТА» – работа с блоком детектирования);
- часы с кнопкой «ПУСК» и ручкой «ЗАВОД» – пуск секундомера часов осуществляют после поворота кнопки «ПУСК» влево с последующим нажатием;
- панель с декадронами для подсчета количества зарегистрированных импульсов («10000», «1000», «100», «10», «1») – дает возможность отсчитывать количество импульсов при остановке счета.

Подготовка радиометра КРВП-ЗБ к работе и проверка его работоспособности:

1. Открутить защитную крышку рукоятки завода часов, завести часы, вращая рукоятку «Завод» против часовой стрелки. Не прилагайте для этого 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.



Рис. 5.1. Лицевая панель прибора

Измерение радиоактивного фона и активности даров леса:

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 либо пустая (для измерения фона), либо кюветы с исследуемыми дарами леса.

3. Легким нажатием кнопки «Пуск» включить счетчик импульсов и секундомер. Допускается пользоваться секундомером наручных часов. Время измерения фона и проб – каждый сеанс три раза по одной минуте. Повторным нажатием кнопки «Пуск» остановить счетчик импульсов и секундомер через одну минуту. На декартонах высвечивается количество зарегистрированных импульсов фона и проб.

4. Определить активность фона и проб $N_{\text{ф(пр)}}$ по формуле

$$N_{\text{ф(пр)}} = \frac{K_{\text{ф(пр)}}}{t_{\text{ф(пр)}}}, \quad (5.1)$$

где $K_{\text{ф(пр)}}$ – средняя арифметическая из трех измерений фона (пробы);

$t_{\text{ф(пр)}}$ – время измерения фона (пробы), 60 с;

$N_{\text{ф(пр)}}$ – активность фона (пробы), 1/с.

5. Рассчитать удельную активность пробы $A_{\text{уд}}$ даров леса по формуле

$$A_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{пр}} - N_{\text{ф}}}{P} \text{ Бк/кг}, \quad (5.2)$$

где $N_{\text{пр}}$ – активность проб, 1/с;

$N_{\text{ф}}$ – активность фона, 1/с;

P – коэффициент чувствительности радиометра (табл. 5.1).

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

7. 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.

Таблица 5.1

Чувствительность «Р» радиометра КРВП-ЗБ ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$)

Вид пробы	Коэффициент (Р) чувствительности радиометра КРВП-ЗБ
Фрукты, ягоды, овощи, растительность, пищевая зелень, крупяные продукты сухие лекарственные травы, сено, комбикорма, грибы, чай, зерно	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Пробы, содержащие калий-40 (^{40}K)	$11,0 \cdot 10^{-4}$

Таблица 5.2

Результаты собственных измерений

№ п/п	Проба даров леса	Данные измерения на приборе	Коэффициент чувствительности прибора Р	Удельная активность пробы $A_{уд}$	
				факт.	норма
1	Фон				
2	Грибы				
3	Клюква				

8. После выполнения работы достать кювету из свинцового домика, выключить радиометр тумблером «Сеть».

Сдать выполненную работу преподавателю, привести рабочее место в порядок, выполнить расчеты, оформить отчет.

5.5. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы о соответствии замеренной активности проб допустимым значениям.

5.6. Вопросы к зачету

1. Какой тип детектора применяется для регистрации β -излучения в данном приборе? Устройство и принцип его работы.

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 загрязненных радионуклидами территориях?

4. Можно ли собирать дары леса на загрязненных радионуклидами территориях?

5. Почему мясо диких животных представляет опасность для человека?

6. Где можно проверить на загрязненность радионуклидами дары леса и мясо диких животных?

7. Как измерить удельную β -активность даров леса с помощью радиометра КРВП-ЗБ? Отличаются ли измеренные пробы от допустимых уровней и во сколько раз?

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ ЦЕЗИЯ-137
И КАЛИЯ-40 В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ
γ-РАДИОМЕТРАМИ РУГ-91 «АДАНИ», РКГ-АТ 1320С
И РКГ-АТ (2 часа)**

6.1. Цель работы

1. Ознакомиться с загрязненностью изотопами цезия-137 и калия-40 строительных материалов.
2. Ознакомиться с измерением объемной активности γ -излучающих нуклидов калия-40 и цезия-137 в пробах природной среды.
3. Ознакомиться с определением удельной эффективной активности строительных материалов и допустимостью их использования.

6.2. Порядок выполнения работы

1. Законспектировать в тетрадь ответы на вопросы к зачету.
2. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

Теоретическая часть

Любое минеральное сырье, используемое в строительстве, содержит природные радиоактивные вещества. Они присутствуют как в сырье (щебень, песок, цемент и пр.), так и в готовой продукции (кирпич, керамическая плитка, железобетонные конструкции, товарный бетон и растворы, искусственные камни, облицовочные плиты и др.).

Наиболее опасными в этом отношении могут быть строительные материалы из природного камня. Для одного и того же вида материала показатели радиоактивности могут отличаться. Они зависят от расположения месторождения и обуславливают разброс данных от средних фоновых значений. Радиационную активность строительных материалов можно прогнозировать по их химическому составу и содержанию в них радия-226, тория-232 и калия-40. Кроме указанных радионуклидов, в строительных материалах находятся

до 40 радиоактивных изотопов трех радиоактивных семейств: урана (^{238}U), тория (^{232}Th) и актиния (^{235}U).

В соответствии с ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов», естественные радионуклиды (ЕРН) – основные радионуклиды природного происхождения, содержащиеся в строительных материалах: радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), калий (^{40}K). По удельной эффективной активности ЕРН строительные материалы разделили на 5 классов (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Критерии для принятия решения об использовании строительных материалов (A_m зфф, Бк/кг)

Удельная эффективная активность	Класс материала	Область применения
< 370	I	Все виды строительства, в том числе строительство жилья и общественных зданий
От 370 до 740	II	Дорожное строительство в пределах населенного пункта, строительство производственных сооружений, внутри помещений жилых и общественных зданий, для наружной облицовки жилых и промышленных зданий
От 740 до 1350	III	Дорожное строительство вне населенных пунктов
От 1350 до 3700	IV	Используют в строительстве основания дорог, плотин вне населенных пунктов
> 3700	V	Не должны использоваться для строительства, захоранивают

Стандарт устанавливает удельную эффективную активность ЕРН в строительных материалах и изделиях. Лабораторный метод устанавливает класс строительного материала (изделия). Класс строительных материалов определяют после проведения измерения проб строительных материалов. Удельная эффективная активность ЕРН (A_m зфф) – суммарная удельная активность ЕРН и ^{137}Cs чернобыльского происхождения в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека.

К наиболее вредным строительным материалам, с радиологической точки зрения, причисляют гранит, кварцевый диорит, графит, туф, пемзу. Гранитный щебень также является ИИИ. Радиоактивными могут быть стекловолокно, фосфогипс, силикатный кирпич. Уровень излучения у гранита составляет в среднем 25–30 мкР/ч. В качестве заполнителя бетонной смеси применяют гранитный щебень. Поэтому бетон тоже может оказаться радиоактивным. Значительный вклад в суммарный радиационный фон вносит кирпич – как силикатный, так и обычный.

В бетонных и кирпичных домах радона накапливается больше, чем в деревянных, поскольку дерево «дышит» и концентрация газа в помещении уменьшается. К внутреннему облучению человека за счет радона присоединяется и внешнее облучение – за счет радионуклидов строительных материалов. А здесь наибольшей активностью обладают гранит, кирпич и бетон.

Поэтому в бетонных и кирпичных зданиях мощность дозы выше, чем в деревянных. Мощность поглощенной дозы в домах изменяется от $4 \cdot 10^{-8}$ до $12 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч и зависит от концентрации изотопов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в строительных материалах, из которых построено здание.

Вторым противоположно действующим фактором, влияющим на мощность дозы в домах, является экранирование внешнего излучения зданием. Наибольшей экранирующей способностью обладает бетон, за ним следует кирпич и затем дерево, обладающее наименьшей плотностью.

6.4. Практическая часть

6.4.1. Вариант первый

Определение активности изотопов цезия и калия в строительных материалах γ -радиометром РУГ-91 «АДАНИ».

γ -радиометр РУГ-91 «АДАНИ» предназначен для измерения объемной активности γ -излучающих изотопов цезия-137 и калия-40 в строительных материалах (рис. 6.1). В приборе используется сцинтилляционный де-



Рис. 6.1. γ -радиометр РУГ-91

тектор – кристалл NaI (Te) размером 40 × 40 мм. Предел допустимой основной погрешности измерения объемной активности радионуклидов составляет 50 %. Время установления рабочего режима – не более 30 мин. Время непрерывной работы – не менее 24 ч.

Работа с γ -радиометром. Кювету с пробой устанавливают внутри свинцового защитного экрана, уменьшающего влияние внешнего фонового излучения. Сверху экран закрывают 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 ИИ. 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.

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

Кнопками «2 МИН» и «20 МИН» устанавливается время измерения. 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 цезия-137.

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.

Измерение фона. Для измерения фона внутри свинцового защитного экрана следует нажать кнопку «ФОН» и кнопку «2 МИН». По окончании измерения фона надо нажать кнопку «КАЛИЙ-40» либо

«ЦЕЗИЙ-137». На табло индуцируется значение фона для калия-40 либо цезия-137, число зарегистрированных импульсов фона за заданное время измерения. Фон измеряется прибором 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.

Напомним, что внешнее γ -излучение создается космическим излучением и естественными радионуклидами, содержащимися в объектах окружающей среды, предметах быта. Желательно определять значение фона перед каждой серией измерений.

Измерение активности пробы. Установить кювету с исследуемой пробой внутрь свинцового экрана. Закрывать крышку. Нажать кнопку «ПРОБА». Нажать кнопку времени «2 МИН». Произвести пять измерений каждой пробы.

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. По окончании измерения нажатием кнопки «КАЛИЙ-40» или «ЦЕЗИЙ-137» зафиксировать значения показаний радиометра и записать в табл. 6.2 результаты измерений.

Повторить пять раз измерения для каждой пробы. Определить среднее значение объемной активности (A_v).

Определение удельной эффективной активности строительных материалов. Расчеты проводят в несколько этапов:

1. Рассчитывают среднюю арифметическую величину из выполненных пяти измерений объемной активности калия-40 и цезия-137.

2. Переводят среднее значение объемной активности измеренных проб калия-40 и цезия-137 в удельную их активность (Бк/кг) по формуле

$$A_m = \frac{A_v V_{\text{л}}}{m_{\text{кг}}} 1000, \quad (6.1)$$

где A_m – удельная активность пробы;

A_v – среднее значение измеренной объемной активности пробы;

$V_{\text{л}}$ – объем измеренной пробы в литрах;

$m_{\text{кг}}$ – масса измеренной пробы в кг;
 1000 – коэффициент пересчета кБк в Бк.

Таблица 6.2

Результаты собственных измерений

Объект исследования	Показания прибора A_v , кБк/л		Удельная активность (рассчитанная по средним значениям), A_m , Бк/кг		A_m эфф, Бк/кг
	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40	
Фон					
Глина					
Песок					

Всего 13 строк, из них 10 – для измеренных значений, 2 – для средних значений, 1 – для измерения фона.

Рассчитанные таким образом значения удельной активности калия-40 и цезия-137 подставляют в формулу удельной эффективной активности A_m эфф природных радионуклидов в строительных материалах (см. формулу (3.6) на стр. 56). Значения $A_{\text{Ra}226}$ и $A_{\text{Th}232}$ берут из табл. 6.3 соответственно для глины и песка.

Таблица 6.3

Удельная активность природных радионуклидов
 в строительных материалах (Бк/кг)

Вид материала	Радий-226	Торий-232
Глина	20,4	33,7
Песок	7,8	12,3

Полученные значения A_m эфф для глины и песка записать в табл. 6.2.

Полученные значения удельной эффективной активности для исследуемых материалов сравнить со значениями, приведенными в табл. 6.1, и сделать вывод о возможной области их применения.

При $A_{т\text{эфф}} > 3700 \text{ Бк/кг}^{-1}$ использование материалов для строительных целей ЗАПРЕЩАЕТСЯ.



Рис. 6.2. γ -радиометр
PKG-AT1320C

6.4.2. Вариант второй

Определение удельной эффективной активности в строительных материалах γ -радиометром PKG-AT1320C.

Общая характеристика прибора. γ -радиометр PKG-AT1320C (рис. 6.2) представляет собой стационарную конструкцию и построен по блочно-модульному принципу (рис. 6.2). Состоит из блока детектирования БДКГ-11С, размещаемого в блоке защиты; адаптера USB-БД; ПК. Относится к стационарным средствам измерений спектрометрического типа.

В качестве детектора γ -излучения в радиометре используется сцинтилляционный блок детектирования с кристаллом NaI (Тl) размером 63×63 мм. Радиометр предназначен для измерения объемной (ОА) и удельной (УА) активности γ -излучающих радионуклидов. В процессе измерения пробы осуществляется автоматический анализ радионуклидного состава измеряемого образца и активность радионуклидов.

Накопленная информация о спектре γ -излучения пробы выводится на монитор персонального компьютера (ПК) и обрабатывается средствами программы «АТМА».

Устройство и принцип работы γ -радиометра РУГ-АТ1320С. Принцип работы радиометра основан на накоплении и хранении амплитудных спектров импульсов в блоке детектирования БДКГ-11С. Управление работой радиометра и обработка спектров осуществляется программой «АТМА».

Включение прибора. Включить ПК и запустить программу «АТМА». Для этого следует дважды нажать левой кнопкой мыши по иконке программы, расположенной на рабочем столе ПК. На экране появится окно контроля работоспособности радиометра. После инициализации соединения на экране появится окно «Подготовка-прогрев».

В процессе прогрева необходимо установить контрольную пробу и закрыть блок защиты (БЗ). Набор спектра и контроль параметров

завершается через 180 секунд. Нажать кнопку «Начать». На экране отображаются заданные и рассчитанные значения скорости счета в имп./с в заданном энергетическом окне. В верхней части окна появится сообщение «Параметры в норме». Нажать кнопку «Далее».

Извлечь контрольную пробу из БЗ и, в появившемся окне «Проверка-контроль фона», нажать кнопку «Начать». Через 150 с в окне появляется сообщения «Фон в норме». При появлении сообщения «Фон не в норме» следует устранить источник ионизирующего излучения (выполнить дезактивацию или убрать источник) и повторить контроль фона.

Выбрать на ПК в главном меню команду «Задачи → Измерение». В появившемся окне установить требуемое время измерения (600 с), ввести номер пробы, массу пробы в граммах, выбрать геометрию и радионуклидный состав, ввести комментарий. Поместить сосуд с пробой в БЗ, закрыть крышку БЗ и нажать кнопку «ОК». В правой части главного окна программы «АТМА» отобразится состав контролируемых радионуклидов. Записать результаты измерения в тетрадь и по формуле, приведенной в первом варианте, рассчитать удельную активность радионуклидов в пробах (см. на табл. 6.1 стр. 73).

6.4.3. Вариант третий

Определение удельной эффективной активности в строительных материалах γ -радиометром РКГ-АТ-1320.

Устройство γ -радиометра РКГ-АТ-1320 (рис. 6.3) аналогичное с γ -радиометром РКГ-АТ-1320С. Отличие заключается в том, что нет ПК, а вместо него имеется блок обработки информации.



Рис 6.3. γ -радиометр РКГ-АТ-1320

Порядок выполнения работы. Нажмите кнопку «ВКЛ.». На экране появляется надпись «АТОМТЕХ», а затем сообщение:

Прогрев прибора	
Осталось	9:28
Установить контрольную пробу	
Меню - прервать	

Установите контрольную пробу в блок защиты и закройте крышку. Прогрев и проверка работоспособности радиометра продолжается 10 минут.

Появляется сообщение: «ПРОВЕРКА ЗАВЕРШЕНА».

Проверка Скорость счета имп/с	
27±2,7	28
Центр пика, канал	
236±4,6	235,3
Меню - прервать	

Извлечь контрольную пробу из блока защиты (БЗ) и поместить в него пустой измерительный сосуд. Войти в меню нажатием «меню» в режиме «изм.» (измерение), выбрать функцию «кон. ф.» (контроль фона) и нажать кнопку «ввод». Через 150 с прозвучит сигнал и появится информация о скорости счета фона (20,37 имп./с) и сообщение «фон в норме».

Для измерения удельной активности пробы необходимо нажать кнопку «меню» в режиме «изм.» (измерение), выбрать функцию «набор». Нажать кнопку «ввод» и ввести массу пробы в граммах, время измерения 600 с (300 с), геометрию (объем) сосуда. Загрузить пробу, закрыть крышку блока защиты и нажать кнопку «ввод».

Определение типа изотопа в пробе. На экране появится изображение измеряемого спектра радионуклида, время измерения, дата проведения измерения, номер канала, температура в блоке детектирования и др. Изображение спектра пробы на экране обрабатывается с помощью маркера по энергетическим шкалам и соответствующей им энергии γ -излучателей. По величине энергии γ -излучателей можно определить, какие изотопы обнаружены в пробе. Для этого необходимо воспользоваться данными энергетического окна. После завершения измерения подается звуковой сигнал.

Обработка результатов измерений. Для определения удельной активности A_m природных изотопов (ЕРН) и ^{137}Cs необходимо дважды нажать кнопку «меню», войти в режим «обр.» (обработки), выбрать функцию «активн.» и нажать кнопку «ввод». На табло появится сообщение:

а) Cs+K; б) Ерн (естественные радионуклиды); в) Ерн + Cs. Выбор нуклидов Маринелли 1л Состав нуклидов	Cs+K
Ввод – активность	

Нажатием кнопки « → » выбрать состав нуклидов в пробе в следующей последовательности: а) Cs+K; б) Ерн (естественные радионуклиды); в) Ерн + Cs.

После нажатия кнопки «ввод» появится сообщение «Идет расчет». Затем появляется таблица с результатами измерений удельной активности выбранного состава нуклидов. Для получения значения удельной эффективной активности измеренных радионуклидов $A_{эфф}$ необходимо дважды нажать на кнопку «ввод» в режиме Ерн+ Cs.

Возврат в исходное состояние меню происходит после нажатия кнопки «ввод». Для определения удельной активности (A_m) с учетом результирующей погрешности измерений необходимо нажать кнопку «тест».

Записать полученные результаты в табл. 6.4 и рассчитать удельную эффективную активность измеренных радионуклидов по формуле (см. формулу (3.6) на стр. 56).

Таблица 6.4

Результаты измерений удельной активности (Бк/кг) проб

Наименование пробы	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	$A_{эфф}$, Бк/кг
Глина					
Песок					

6.5. Выводы по выполненной работе

После сравнения полученных данных со значениями A_m эфф в табл. 6.1 на стр. 73 сделать вывод о возможности их применения в строительстве. Записать вывод в тетрадь.

6.6. Вопросы к зачету

1. В каких домах, построенных из различных строительных материалов, радиационный фон будет наибольшим: деревянных, кирпичных, бетонных?
2. Почему в бетонных и кирпичных зданиях мощность дозы выше, чем в деревянных?
3. Какие радионуклиды обычно измеряются в образцах строительного материала?
4. Какой радионуклид чернобыльского происхождения содержится в образцах строительных материалов?
5. Какие природные радионуклиды присутствуют в строительных материалах?
6. По какой формуле рассчитывают удельную эффективную активность глины и песка?
7. Какие критерии существуют для принятия решения об использовании строительных материалов?
8. От каких факторов зависит радиационный фон в помещении?
9. Устройство и принцип работы γ -радиометра РКГ-АТ1320С?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (2 часа)

7.1. Цель работы

1. Определить изменения потока γ -фотонов ИИ в зависимости от расстояния.
2. Исследовать эффективность защиты от ИИ различными материалами (экранами).

7.2. Порядок выполнения работы

1. Законспектировать в тетрадь ответы на вопросы к зачету.
2. Перечертить в тетрадь таблицы и заполнить их во время работы с прибором, рассчитать полученные данные и сделать вывод о результатах выполненных измерений.

7.3. Теоретическая часть

Основные принципы защиты от ИИ заключаются в соблюдении основных дозовых пределов; снижении до наиболее возможного низкого уровня дозы излучения; исключении даже малейшего необоснованного облучения.

Средства и методы защиты от ИИ делят на организационные, технические, санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические. По способам радиационной защиты различают химическую, биологическую и физическую защиту.

Химическая защита от ИИ – это защита организма при помощи химических веществ. К ним относят лечебно-профилактические средства, блокирующие накопление в щитовидной железе радиоактивного йода (^{131}I , ^{133}I). Для этого используют йодистый калий.

Радиопротекторы – химические препараты, предназначенные для уменьшения воздействия ИИ на организм человека. Известны более тысячи различных радиопротекторов.

Биологическая защита от ИИ – все меры по укреплению защитных свойств организма. К ним относят **адаптогены** – фармако-

логическая группа препаратов природного или искусственного происхождения, способных повышать неспецифическую сопротивляемость организма действию радиоактивного излучения.

Использование адаптогенов необходимо сочетать с полноценным и достаточным по калорийности питанием, содержащим сбалансированное количество белков, жиров, углеводов, витаминов и микроэлементов.

Из витаминов важную роль играют витамины А, С и Е, обладающие антиоксидантными свойствами и помогающие освободиться от свободных радикалов воды и липидов. Витамины же группы В и РР обладают общеукрепляющим действием на организм.

Антиоксидантными свойствами обладают и микроэлементы: цинк, медь и селен. Они содержатся в печени, раках, орехах, треске, креветках.

Физические методы защиты. Защита от негативного воздействия внешнего ИИ достигается:

- Снижением мощности ИИИ до минимально необходимой величины («защита количеством»).

- Увеличением расстояния между ИИИ и персоналом («защита расстоянием»). Излучение уменьшается с удалением от компактного источника (пропорционально квадрату расстояния). Если на расстоянии 1 м от ИИИ дозиметр фиксирует 1000 мкР/ч, то уже на расстоянии 5 м показания снизятся приблизительно до 40 мкР/ч.

- Уменьшением продолжительности нахождения персонала в зоне излучения («защита временем»). Чем меньше время пребывания вблизи ИИИ, тем меньше полученная от него доза облучения.

- Установлением между ИИИ и персоналом защитного экрана («защита экраном»). Между человеком и ИИИ должно оказаться как можно больше вещества. Чем его больше и чем оно плотнее, тем большую часть радиации это вещество поглотит.

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

- Использованием средств индивидуальной защиты и предупреждением знаком радиационной опасности, постоянным контролем за уровнем излучения и дозами облучения персонала.

- Регулярным проветриванием и вентиляцией помещений, рабочих объемов, позволяющих уменьшить облучение человека радонном и продуктами его распада.

Защита от внутреннего облучения достигается путем нормирования содержания радионуклидов в продуктах питания, исключения непосредственного контакта с радиоактивными веществами в открытом виде и предотвращения попадания их в окружающую среду. Для этого снижают поступление в организм радионуклидов с пищей, обеспечивают усиление выведения радионуклидов из организма через кишечник, почки и потовые железы, используют продукты и пищевые добавки, обладающие защитным действием, используют продукты, содержащие пищевые волокна, пектины, камедь, лигнины, связывающие в кишечнике радионуклиды и выводящие их из организма.

Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма имеет 5 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 пролетают.

2. *Электрические взаимодействия.* Под влиянием проникающей радиации от атомов ткани организма отрываются электроны. Они заряжены отрицательно, поэтому остальная 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». 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 ее 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 липопропротеидов, 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.

2) *отдаленных последствий:* увеличению количества раковых заболеваний, лейкозов, повышению генетического груза, сокращению продолжительности жизни.

7.4. Практическая часть

Радиометр СРП-88П предназначен для измерения потока γ -излучения. Он регистрирует импульсы, поступающие от сцинтилляционных блоков детектирования. Величина интенсивности потока γ -излучения фиксируется на табло пульта.

Измерение изменения интенсивности потока γ -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. Дальнейший отсчет расстояния (R , высота) ведется в соответствии со шкалой, установленной с левой стороны пульта управления ($R = 6, 11, 16, 21$ и 25 см). Интенсивность потока на расстоянии, равном 25 см, принимается за естественный радиационный фон.

На каждом расстоянии производится пять замеров. Результаты измерений, абсолютные числовые значения (показание прибора 0,821 абсолютное число 821), записывают в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Изменение интенсивности потока излучения от расстояния

№ замера	R_i , см					
	3	6	11	16	21	25
1						
2						
3						
4						

№ замера	$R_i, \text{ см}$					
	3	6	11	16	21	25
5						
$N_{\text{ср}}$						
N_R						
$N_{\text{выч}}$						

По результатам измерений потока γ -излучения провести вычисление величин и сделать вывод о влиянии расстояния на интенсивность облучения γ -излучением:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\sum N_i}{5}, \quad (7.1)$$

$$N_R = N_{\text{ср}} - N_{\text{ф}}, \quad (7.2)$$

где $N_{\text{ф}} = \text{const} = N_{\text{ср}}$ при $R = 25$

$$N_{\text{выч}} = N_0 \left(\frac{R_0}{R_i} \right)^2, \quad (7.3)$$

где $N_0 = \text{const} = N_R$ при $R = 3$, а $R_0 = 3 = \text{const}$.

Используя результаты расчета, построить график (рис. 7.1)

$$N_R, N_{\text{выч}} = f(R_i) \quad (7.4)$$

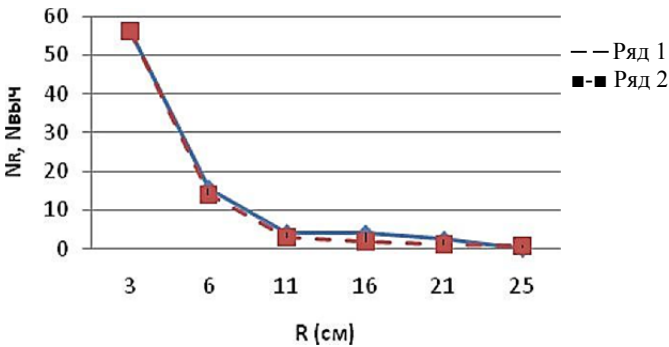


Рис. 7.1. График зависимости данных N_R , $N_{\text{выч}}$ от расстояния до источника ИИ (ряд 1 – N_R , ряд 2 – $N_{\text{выч}}$)

Измерение изменения интенсивности поглощения потока γ -излучения различными материалами. Установить исследуемый материал (экран) между блоком детектирования и корпусом пульта измерения. Провести три измерения интенсивности γ -излучения (N).

Убрать исследуемый материал и, не изменяя расстояние между детектором и корпусом пульта измерения, провести три измерения интенсивности γ -излучения без экрана. Результаты измерений записать в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Измерения изменения интенсивности поглощения потока γ -излучения различными материалами

Исследуемые материалы	Интенсивность γ -излучения, имп./с.								δN	$d_{1/2}$
	При наличии экрана				Без экрана					
	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 $\mu = \dots$										

Расчеты результатов выполненных измерений:

1. Определить количество фотонов, поглощенных 1 мм экрана:

$$\delta N = N_{cp} \text{ без экрана} - N_{cp} \text{ с экраном} / d \text{ (мм)}, \quad (7.5)$$

где d – толщина исследуемого материала в мм;

N_{cp} – без экрана, N_{cp} – с экраном, средние значения интенсивности потока γ -излучения без экрана и с экраном соответственно.

2. Определить толщину половинного ослабления потока γ -излучения исследуемого материала:

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu, \quad (7.6)$$

где μ – линейный коэффициент ослабления при энергии γ -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 защиты исследуемых материалов от γ -излучения.

7.5. Выводы по выполненной работе

Сделать выводы об эффективности исследуемых физических методов защиты от ИИ на основании:

1. Изменения потока γ -фотонов ИИ от расстояния.
2. Изменения интенсивности поглощения потока γ -излучения различными материалами.

7.6. Вопросы к зачету

1. Какие существуют методы защиты от ионизирующего излучения?
2. Какой Вы знаете основной механизм воздействия радиации на биологическую ткань?
3. Методы физической защиты от воздействия ИИ.
4. Что выражает коэффициент половинного ослабления?
5. Что относится к химическим, биологическим, физическим методам защиты?
6. Принцип действия радиометра СРП-88П.
7. Как осуществляется химическая и биологическая защита?
8. Какую роль играют микроэлементы и витамины в защите человека от ИИ?
9. Какую роль играют адаптогены?
10. Дайте определение показателям δN и $d_{1/2}$.
11. Какая зависимость величины $N_{\text{ср}}$ от расстояния детектора прибора до ИИИ?

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) – в 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 (ядер атома гелия – ${}^4_2\text{He}$).

Альфа-частицы (α -частицы) – частицы, выделяемые из ядра атома. Они состоят из двух протонов и двух 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, равная 1 Кл/кг.

Аннигиляция частицы и античастицы – взаимодействие частицы и античастицы (β^- электрона и β^+ позитрона) с образованием γ -квантов.

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 античас-

тицы. Например, электрон-позитрон, протон-антипротон и т. д. При столкновении частицы и античастицы происходит их аннигиляция.

Атом – наименьшая частица химического элемента, сохраняющая его свойства. 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 единица энергии – энергия, соответствующая одной атомной единице массы. $1 \text{ а.е.м.} = 931,5016 \text{ МэВ}$.

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.

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. $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад в секунду}$. В СИ – единица измерения активности.

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

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

Биологический эквивалент рада (бэр) – внесистемная единица эквивалентной и эффективной дозы излучения. $1 \text{ бэр} =$ доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и поглощенная доза в 1 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 радиационный коэффициент – множитель поглощенной дозы, учитывающий относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов (фотоны, электроны и мюоны – 1; нейтроны – 5–20; протоны – 5; α -частицы – 20).

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 серьезный повреждающий эффект после воздействия.

Гамма-распад – электромагнитное излучение, испускаемое возбужденным ядром с очень малой длиной 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.

Грэй (Гр) – единица поглощения дозы излучения в системе СИ. 1 Гр = поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается 1 Дж энергии ионизирующего излучения. 1 Гр = 1 Дж/кг = 100 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 на облученное вещество действует доза излучения, равная 1 Гр.

Деактивация – 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.

Джоуль – единица работы, энергии, количества теплоты. Равен работе силы N , перемещающей тело на расстояние 1 м в направлении действия силы. Обозначение – Дж.

Доза радиации (облучения) – мера действия ионизирующего излучения; средняя энергия, переданная излучением единице массы вещества. Различают экспозиционную, поглощенную, эквивалентную и эффективную 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 вторичным космическим излучением и ионизирующим излучением естественно распределенных природных радионуклидов и изотопов 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.

Зиверт (Зв) – единица эквивалентной дозы излучения в СИ. 1 Зв – эквивалентная доза излучения, при которой поглощенная доза излучения равна 1 Гр и радиационный коэффициент излучений равен 1, $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Зиверт в секунду (Зв/с) – единица мощности эквивалентной дозы излучения. 1 Зв/с – мощность эквивалентной дозы излучения, при которой за 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв.

Излучение (радиация) – испускание и распространение энергии в виде волн и частиц.

α -излучение – корпускулярное излучение, состоящее из α -частиц (ядер атома гелия ${}^4_2\text{He}$), испускаемых при радиоактивном распаде ядер или при ядерных реакциях, превращениях.

β -излучение – корпускулярное излучение с непрерывным энергетическим спектром, состоящее из отрицательно или положительно заряженных электронов или позитронов (β^- или β^+ -частиц) и возникающее при радиоактивном β -распаде ядер или нестабильных частиц. Характеризуется граничной энергией спектра E_β .

γ -излучение – фотонное излучение, возникающее при ядерных превращениях или аннигиляции частиц.

Излучение электромагнитное – процесс образования свободного электромагнитного поля; излучением называют также само свободное электромагнитное поле. Излучают ускоренно движущиеся заряженные частицы. Атом и другие атомные системы излучают при квантовых переходах из возбужденных состояний в состояния с меньшей энергией.

Изотопы – разновидности одного химического элемента, различающиеся по массе ядер. У них одинаковый заряд ядер (атомный номер), но различаются числом нейтронов. Имеют одинаковое строе-

ние электронных оболочек, т. е. имеют одинаковые химические свойства, и занимают одно и то же место в периодической системе химических элементов.

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.

Ионизация в газах – отрыв от атома или молекулы газа одного или нескольких электронов. В результате ионизации в газе возникают электроны и ионы, и он приобретает способность проводить электрический ток.

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).

Канцероген – вещество или физический агент (ионизирующее излучение), способные вызвать развитие злокачественных новообразований или способствующий их возникновению. Большинство канцерогенов имеют антропогенное происхождение.

Коллективная эффективная доза (Зв) – эффективная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации.

Корпускулярное излучение – ИИ, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля (α -, β -частицы, нейтроны и др.).

Косвенное ИИ – ИИ, состоящее из незаряженных частиц (нейтроны, фотоны и др.), которые могут создавать непосредственно ИИ и (или) вызывать ядерные превращения.

Космическое излучение – ИИ, которое состоит из первичного излучения, поступающего из космического пространства, и вторичного излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного излучения с атмосферой.

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 внесистемная. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$ 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.

Моноэнергетическое ИИ – ионизирующее излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида с одинаковой кинетической энергией.

Мощность поглощенной дозы излучения – отношение поглощенной веществом дозы излучения ко 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.

Направленное ионизирующее излучение – ионизирующее излучение с выделенным направлением распространения.

Нейтрон – элементарная частица, одна из двух частиц, из которых построено атомное ядро. Входящая в состав атомных ядер электрически нейтральная элементарная частица.

Непосредственно ионизирующее излучение – ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц (электроны, позитроны, протоны, α -частицы и др.), имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении.

Нуклид – общее название атомных ядер, отличающихся числом нейтронов и протонов (нуклонов). Нуклиды с одинаковыми атомными 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, образуемое качественно изменившимися, недифференцированными клетками. Различают доброкачественные и злокачественные опухоли.

Острая лучевая болезнь – болезнь, развивающаяся после острого облучения – однократного кратковременного облучения биологического объекта, сопровождающаяся получением им дозы излучения, вызывающей неблагоприятные изменения 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.

Плотность потока ионизирующих частиц (фотонов) – отношение потока ионизирующих частиц (фотонов) dF , проникающих в объем элементарной сферы, к площади центрального поперечного сечения dS этой сферы: $\varphi = dF / dS$ ($\text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$).

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. $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

Позитрон – элементарная частица, несущая положительный элементарный заряд, античастица электрона с массой, равной массе электрона, но положительным электрическим зарядом.

Поле ионизирующего излучения – пространственно-временное распределение ИИ в рассматриваемой среде.

Полная коллективная эффективная доза – коллективная эффективная доза, которую получают поколения людей от какого-либо источника за все время его существования (человеко-Зиверт, чел.-Зв).

Поток ионизирующих частиц (фотонов) – отношение числа ионизирующих частиц (фотонов) dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу: $F = dN / dt$.

Поток энергии частиц – отношение энергии падающих частиц к интервалу времени $\Psi = dE / dt$.

Протон – одна из частиц, составляющих ядро атома. Протон несет единичный 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 поглощенной дозы. 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 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; вносит наибольший вклад (примерно половину) в естественный радиационный фон на Земле.

Рак – злокачественная опухоль эпителиального происхождения. В обиходе неправильно используется для обозначения различных форм злокачественных новообразований.

Рентген – внесистемная единица экспозиционной дозы излучения (Р). 1 Р – 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 = 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.

Смешанное ИИ – ИИ, состоящее из частиц различного вида или из частиц и фотонов.

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.

Счетчик Гейгера-Мюллера – устройство, используемое для обнаружения и изменения радиоактивности; названное в честь немецкого физика Г. Гейгера (1882–1945).

Тератогены – химические вещества или физические факторы (ионизирующая радиация), которые при воздействии на организм развивающегося эмбриона вызывают возникновение уродств, умственной отсталости и других аномалий развития.

Тканевой множитель – множитель эквивалентной дозы в органах и тканях, используемый для учета различной чувствительности органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации (колеблется от 0,12 – для легких и других органов до 0,01 – для кожи и костных клеток).

Удельная активность – отношение активности радионуклида в веществе к его массе.

Флюенс (перенос) ионизирующих частиц (фотонов) – отношение числа ионизирующих частиц (фотонов) dN , проникающих в объем элементарной сферы, к площади центрального поперечного сечения dS этой сферы: $\Phi = dN/dS$.

Фон – ИИ, состоящее из естественного фона и ИИ посторонних источников.

Фотонное излучение – электромагнитное косвенно ионизирующее излучение (ИИ).

Эквивалентная доза излучения – произведение поглощенной дозы излучения на взвешивающий радиационный коэффициент, отражающий способность данного вида излучения в малых дозах повредить 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 (люминесценция).

Элементарные частицы – простейшие структурные элементы материи, которые на современном уровне развития физики нельзя считать соединением других частиц.

Энергетический спектр ионизирующих частиц – распределение ионизирующих частиц по их энергии.

Эпицентр – точка на поверхности земли или воды, в которой происходит ядерный взрыв или которая находится непосредственно под или над центром ядерного взрыва.

Эффективная доза – сумма эквивалентных доз, полученных органами и тканями, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ролевич, И. В. Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность / И. В. Ролевич [и др.]. – Минск: РИВШ, Ч. 2. – 2016. – 188 с.
2. ТР 2007/003/ВУ Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: Госстандарт, 2007. – 17 с.
3. Морзак, Г. И. Радиационная безопасность: ЭУМК / Г. И. Морзак, И. В. Ролевич, Е. В. Зеленухо. – Минск: БНТУ, 2011. – 169 с.
4. Ролевич, И. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: ЭУМК / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, Е. В. Зеленухо. – Минск: БНТУ, 2013. – 426 с.
5. Ролевич, И. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, С. А. Хорева, Е. В. Зеленухо. – Минск: РИВШ. – Ч. 1. – 2014. – 397 с.
6. Ролевич, И. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, С. А. Хорева, Е. В. Зеленухо. – Минск: РИВШ. – Ч. 2. – 2014. – 185 с.
7. Ролевич, И. В. Радиационная безопасность после техногенных чрезвычайных ситуаций: Курс лекций / И. В. Ролевич [и др.]. – Минск: Амалтея, 2013. – 632 с.
8. Митькина, Н. Н. Дозиметрия ионизирующих излучений с помощью бытовых дозиметров / Н. Н. Митькина, И. К. Султанова, Е. Е. Трофименко. – Минск: БНТУ. 2010 – 29 с.
9. Тимофеева, Т. А. Радиоэкология: практическое руководство для студентов специальности 1-330102 «Геоэкология» Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012 – 48 с.
10. Инструкция о порядке проведения наблюдений за естественным радиационным фоном и радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод на пунктах наблюдений радиационного мониторинга / Утверждена приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2014 г. № 230 – Од.

11. Литвинов, В. А. Изучение β -излучения радиоактивных веществ / В. А. Литвинов, О. В. Журенков. – Минск, 2010 – 15 с.
12. Ролевич, И. В. Радиационная безопасность / И. В. Ролевич, С. В. Дорожко, Г. И. Морзак. – Минск: РИВШ, 2010. – 320 с.
13. Ролевич, И. В. Радиационная безопасность / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, Е. В. Зеленухо. – Минск: РИВШ, 2012, в 2 частях. – 470 с.
14. ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» от 30 июня 1994 г. № 18–48.
15. Кужир, П. Г. Радиоактивность природных строительных материалов: методические указания к лабораторной работе по физике для студентов строительного факультета / П. Г. Кужир [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013. – 23 с.
16. Гамма-радиометры РКГ-АТ1320, РКГ-АТ1320А, РКГ-АТ1320В, РКГ-АТ1320С. Описание типа средства измерений. Приложение к свидетельству № 55482 Лист № 1 об утверждении типа средств измерений. – Минск, 2014. – 9 с.
17. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. ОСП-2002. – Минск, 2003. – 98 с.

ПАМЯТКА для студентов по выполнению лабораторной работы

Студенты приступают к выполнению лабораторных работ только с разрешения преподавателя.

Перед выполнением лабораторной работы студент должен изучить методику и требования по ее безопасному выполнению. К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, изучившие методику выполнения этой работы, прошедшие обучение по мерам безопасности при проведении лабораторных работ с оформлением в журнале и получившие у преподавателя допуск к выполнению работы. Студент, не получивший допуск, к выполнению лабораторной работы приступить не может.

Студентам запрещается:

- находиться в лаборатории в верхней одежде;
- натягивать, перекручивать и перегибать соединительные провода, кабели, ставить на них предметы;
- загромождать учебное место;
- ограничивать доступ к первичным средствам пожаротушения;
- производить переключения, отключение питания оборудования во время выполнения лабораторной работы без ведома преподавателя;
- допускать попадание влаги на поверхность оборудования;
- производить самостоятельно вскрытие и ремонт оборудования;
- вытирать пыль на включенном оборудовании;
- допускать нахождение вблизи оборудования других студентов, не имеющих непосредственного отношения к выполняемой работе;
- отвлекаться на посторонние разговоры и отвлекать других;
- оставлять оборудование без наблюдения;
- покидать помещение лаборатории без разрешения преподавателя;
- выполнять лабораторную работу в лаборатории в отсутствие преподавателя, а также в неустановленное время без разрешения преподавателя;
- выполнять в учебной лаборатории экспериментальные работы, не связанные с выполнением учебного задания;

- распивать прохладительные напитки и принимать пищу на местах проведения лабораторных работ.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- строго соблюдать требования безопасности при обращении с приборами или оборудованием;

- не наклоняться близко к приборам и оборудованию, не передавать через них какие-либо предметы и не опираться на них;

- присоединение или разъединение разъемных соединений производить только при отключенном электропитании под наблюдением преподавателя; повторное включение приборов производить только после проверки преподавателем исправности прибора;

- во время выполнения лабораторной работы быть внимательным, соблюдать порядок, не вмешиваться в работу других студентов, не отвлекать их посторонними разговорами;

- не включать приборы, работа с которыми не предусмотрена заданием; не оставлять без присмотра включенное оборудование;

- запрещается выполнять лабораторные работы, если в лаборатории находится один человек – во избежание несчастных случаев;

- перед уходом, даже на короткое время, источник нагрева должен быть выключен; но если по условиям лабораторной работы нельзя прекращать нагрев прибора, наблюдение за нагревом на время отсутствия обучающегося осуществляет преподаватель;

- на учебном месте выполнения лабораторной работы поддерживать порядок и не загромождать проходы;

- в случае повреждения оборудования, проводов, появления запаха гари, возникновения необычного шума и других неисправностей в работе оборудования немедленно сообщить преподавателю.

Включение используемых приборов производит преподаватель. Только после того, как он убедится в исправности приборов, можно приступать к выполнению лабораторной работы.

По окончании выполнения лабораторной работы студенты должны:

- доложить преподавателю об окончании выполнения лабораторной работы; привести в порядок рабочее место, исследованные пробы аккуратно поставить рядом с прибором, стул придвинуть к столу и пересесть на рабочее место вдали от радиоактивных проб и приборов; произвести все расчеты и оформление работы;

- обо всех недостатках, обнаруженных во время работы, сообщить преподавателю;

- сдать преподавателю выполненную работу, о чем преподаватель делает отметку в своем журнале и подписывает работу;
- собрать личные вещи и выйти из лаборатории.

Отключение аппаратуры и приборов от электросети производит преподаватель.

В случае получения травмы и (или) внезапного ухудшения здоровья (усиления сердцебиения, появления головной боли и др.) студент должен прекратить выполнение лабораторной работы, сообщить об этом преподавателю и при необходимости обратиться к врачу.

При возникновении пожара преподаватель обязан немедленно отключить от электросети оборудование, принять меры по эвакуации студентов в безопасное место, вызвать подразделение по чрезвычайным ситуациям по телефону 101 или 112, указав адрес объекта и участок возгорания, сообщить о происшедшем непосредственному руководителю кафедры и лаборатории.

Таблица 1П

Список сокращений, использованных в пособии

Бк – Беккерель	км ² – квадратный километр	МэВ – миллион электрон-вольт
бэр – биологический эквивалент рада	л – литр	% – процент
Вт – ватт	ln – логарифм	°С – градус Цельсия
г – грамм	ЛПЭ – линейная передача энергии	Па – паскаль
г. – год	м – метр	Р – Рентген
Гр – Грей	м ² – квадратный метр	рад – от англ. radiation absorbed dose
Дж – джоуль	мг – миллиграмм	с – секунда
дм – дециметр	мин – минута	С – страница
Зв – Зиверт	мкг – микрограмм	СИ – Международная система единиц
кал – калория	мкм – микрометр	см – сантиметр
кг – килограмм	мл – миллилитр	см. смотри
Ки – Кюри	млн. – миллион	T _{1/2} – период полураспада
ккал – килокалория	мм – миллиметр	тыс. – тысяча
Кл – кулон	мм. рт. ст. – миллиметр ртутного столба	ч – час
км – километр	мм ² – квадратный миллиметр	

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
1	2	3	4	5
<i>Активность нуклида</i> в радиоактивном источнике. Выражает число распадов в единицу времени	Беккерель (Бк, Вq)	Кюри (Ки, Си)	1 Бк = 1 расп/с 1 Бк = = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки	1 Ки = = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
<i>Удельная активность</i> радионуклида	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>Удельная поверхностная активность</i> радионуклида	Беккерель на квадратный метр (Бк/м ²)	Кюри на квадратный километр (Ки/км ²)	1 Бк/м ² = = $2,7 \cdot 10^{-5}$ Ки/км ²	1 Ки/км ² = = $3,7 \cdot 10^4$ Бк/м ²
<i>Удельная объемная активность</i> радионуклида	Беккерель на литр (Бк/л)	Кюри на литр (Ки/л)	1 Бк/м ² = = $2,7 \cdot 10^{-5}$ Ки/км ²	1 Ки/км ² = = $3,7 \cdot 10^4$ Бк/м ²
<i>Экспозиционная доза</i> излучения (X). 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 = = $3,88 \cdot 10^3$ Р	1 Р = = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг

Окончание табл. 2П

1	2	3	4	5
<p><i>Поглощенная доза излучения (D)</i>. Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы физического тела</p>	<p>Грей (Гр, Gy)</p>	<p>Рад (рад, rad)</p>	<p>1 Гр = 1 Дж / кг; 1 Гр = 100 рад; 1 Дж = 10⁵ рад/г</p>	<p>1 рад = = 100 эрг/г = = 0,01 Гр = = 10⁻² Дж/кг = = 10⁻²Гр</p>
<p><i>Мощность дозы облучения (D')</i> – доза, полученная организмом за единицу времени</p>	<p>Грей в секунду (Гр/с = Дж/кг·с = Вт/кг); Зиверт в секунду (Зв/с), Ампер на килограмм (А/кг)</p>	<p>Рад в секунду (рад/с), Бэр в секунду (бэр/с), Рентген в секунду (Р/с)</p>	<p>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</p>	<p>1 рад/с = = 0,01 Гр/с, 100 Р/с = = 1 Зв/с = = 1 мкГр/с</p>
<p><i>Доза эквивалентная (H, H = W_r*D)</i>. Поглощенная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий неодинаковую радиационную опасность разных видов ионизирующего излучения</p>	<p>Зиверт (Зв, Sv)</p>	<p>Бэр (бэр, rem)</p>	<p>1 Зв = 1 Гр = = 1 Дж/кг = = 100 бэр (для β- и γ-излучения); 1 Зв = = 2,58 · 10⁻⁴ Кл/кг</p>	<p>1 бэр = = 0,01 Зв = = 10 мЗв</p>
<p><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</p>	<p>Зиверт (Зв, Sv)</p>	<p>Бэр (бэр, rem)</p>	<p>1 Зв = 1 Гр = = 1 Дж/кг = = 100 бэр (для β- и γ-излучения)</p>	<p>1 бэр = 0,01Зв = 10 мЗв</p>

* Мощность дозы (X', D', H') определяется величиной дозы (X, D, H), деленной на время (Р/с, Гр/с, Зв/с).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ И ДОЗЫ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. БЫТОВЫЕ ДОЗИМЕТРЫ И РАДИОМЕТРЫ	28
Вариант первый: Дозиметрия ионизирующих излучений бытовым дозиметром «Белла» и радиометром «Сосна»	34
Вариант второй: Дозиметрия ионизирующих излучений бытовыми дозиметрами-радиометрами «МКС-АТ6130» и МКС-АТ6130С»	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБ ПОЧВЫ ПОСЛЕ АВАРИИ НА АЭС	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ β -РАДИОМЕТРОМ РУБ-01П1	58
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ВЫРОСШИХ В ЛЕСУ	65
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ИЗОТОПОВ ЦЕЗИЯ-137 И КАЛИЯ-40 В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ γ -РАДИОМЕТРАМИ РУГ-91 «АДАНИ», РКГ-АТ 1320С И РКГ-АТ 1320	72
Первый вариант: определение активности изотопов цезия и калия в строительных материалах γ -радиометром РУГ-91	74
Второй вариант: определение удельной эффективной активности в строительных материалах γ -радиометром РКГ-АТ1320С	78
Вариант третий: определение удельной эффективной активности в строительных материалах γ -радиометром РКГ-АТ-1320	79
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	83
Глоссарий	90
Список рекомендуемой литературы	102
Приложение	104

Учебное издание

РОЛЕВИЧ Игорь Викторович
МОРЗАК Галина Иосифовна
ЗЕЛЕНУХО Елена Владимировна

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

Учебно-методическое пособие
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-57 01 02 «Экологический менеджмент
и аудит в промышленности»

Редактор *Е. О. Германович*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 10.09.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 6,39. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 200. Заказ 141.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.