

3901



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Техническая физика»

РАДИОМЕТРИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Методические указания

Минск
БНТУ
2010

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Техническая физика»

РАДИОМЕТРИЯ ПРОДУКТОВ
ПИТАНИЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 410

Минск
БНТУ
2010

61

УДК ~~539.1.074.613.2~~ (076.5) (075.8)

ББК ~~31.42-5я7~~

Р 15

Составители:

Н.Н. Митькина, И.К. Султанова, Е.Е. Трофименко

Рецензенты:

В.А. Черняевский, канд. физ.-мат. наук;

Л.Е. Сандригайло, канд. физ.-мат. наук, доцент

В методических указаниях рассмотрены особенности воздействия искусственной радиации на организм человека. Наибольшее внимание уделено внутреннему облучению такими радионуклидами, как цезий-137 и стронций-90. Описаны пути поступления радионуклидов, и их выведение. Изложены основные принципы радиационной безопасности. Приведены республиканские допустимые уровни содержания вышеперечисленных радионуклидов в продуктах питания. Даны практические рекомендации по организации питания. Описан принцип действия сцинтилляционного радиометра. Для закрепления материала предложены задачи.

Цель работы:

1. Изучить особенности воздействия искусственной радиации на организм человека.
2. Ознакомиться с основными принципами радиационной безопасности и республиканскими допустимыми уровнями.
3. Ознакомиться с устройством и принципом работы радиометра РУГ-90 «АДАНИ».
4. Измерить на радиометре объемную активность проб и вычислить их удельную активность.
5. Решить задачи.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Активность. Закон радиоактивного распада

Количественной характеристикой радиоактивного препарата является активность.

Активность – отношение числа ядер dN , распавшихся в радиоактивном препарате, к промежутку времени dt , за который они распались:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right|. \quad (1)$$

С течением времени число радиоактивных ядер уменьшается по экспоненциальному закону, называемому законом радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где N – число радиоактивных ядер в любой момент времени t ;

N_0 – число радиоактивных ядер в начальный момент времени;

λ – постоянная радиоактивного распада, характеризующая вероятность распада ядер за единицу времени.

Время жизни радиоактивных ядер характеризуется периодом полураспада. **Период полураспада** $T_{1/2}$ – промежуток времени, за который число радиоактивных ядер уменьшается в два раза.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (3)$$

Используя выражение (2), активность можно представить в виде:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A, \quad (4)$$

где M – молярная масса;

m – масса радионуклидов;

$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – число Авогадро.

Единицы измерения активности:

СИ
Бк (Беккерель)
 $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$

Внесистемные единицы
Ки (Кюри)
 $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

Активность радионуклидов в препарате равна 1 Бк, если в препарате происходит 1 радиоактивный распад за 1 секунду. 1 Ки – активность одного грамма радия.

Как видно из формулы (3) активность препарата зависит от количества радионуклидов, и следовательно, от количества препарата, поэтому на практике используются следующие величины:

$$\text{Удельная активность } A_m = \frac{A}{m}, \text{ Бк/кг; Ки/кг,} \quad (5)$$

где m – масса вещества.

$$\text{Объемная активность } A_V = \frac{A}{V}, \text{ Бк/м}^3; \text{ Бк/л,} \quad (6)$$

где V – объем вещества.

$$\text{Поверхностная активность } A_S = \frac{A}{S}, \text{ Бк/м}^2; \text{ Ки/км}^2, \quad (7)$$

где S – площадь поверхности.

Если в препарате содержится несколько радионуклидов, то его активность равна сумме активностей отдельных радионуклидов:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n. \quad (8)$$

Если имеется смесь радиоактивных изотопов, образующихся один из другого, и постоянная распада первого изотопа много меньше постоянных всех остальных членов этого ряда, то в смеси устанавливается радиоактивное равновесие, при котором активность всех членов ряда равна между собой:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n.$$

Активность радионуклидов, как и число радионуклидов, с течением времени уменьшается по экспоненциальному закону:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}. \quad (9)$$

По закону радиоактивного распада количество радионуклидов или активность образца изменяется в неживой природе, например, в камне или лабораторном образце. Количество радионуклидов в почве будет уменьшаться также из-за растений, которые на ней произрастают. В процессе роста растений

радионуклиды из почвы переходят в растения и активность почвы уменьшается. Радионуклиды также вымываются из почвы и переходят в грунтовые или поверхностные воды.

Из организма человека радионуклиды уходят естественным биологическим путем. Этот процесс характеризуется *периодом полувыведения* T_B – это промежуток времени, за который число радионуклидов уменьшается в два раза за счет естественного биологического выведения. Учитывая оба процесса «ухода» радионуклидов из живого организма, уменьшение активности в живом организме происходит по закону:

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{\text{эфф}}}}, \quad (10)$$

где $T_{\text{эфф}} = \frac{T_{1/2} \cdot T_B}{T_{1/2} + T_B}$ – *эффективный период* – промежуток

времени, за который активность живого организма уменьшается в два раза за счет радиоактивного распада радионуклидов и естественного биологического выведения.

Искусственный радиационный фон

Радиоактивные излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли. Развитие научно-технического прогресса привело к возникновению разнообразных искусственных источников ионизирующих излучений, воздействию которых подвергается каждый житель на Земле.

Источниками искусственного излучения являются рентгеновские установки и радионуклиды, использующиеся в медицине для диагностики и терапии. На каждом этапе ядерного топливного цикла (добыча и производство ядерного топлива, производство электроэнергии на АЭС, переработка и захоро-

нение радиоактивных отходов) в окружающую среду поступают радиоактивные вещества. Мощным источником загрязнения биосферы искусственными радионуклидами являются ядерные взрывы, радиоактивные продукты которых оседают на поверхность земли и становятся источниками внешнего облучения. Еще опаснее последствия радиационных аварий, т. к. при управляемой цепной ядерной реакции деления остается много долгоживущих радионуклидов урана и плутония, входящих в состав так называемых «горячих» частиц.

«Горячие» частицы – мельчайшие частицы ядерного топлива, выброшенные в природную среду и надолго загрязняющие ее. В результате аварии на Чернобыльской АЭС в окружающую среду попало свыше двухсот различных радиоактивных изотопов. Короткоживущие изотопы йода-131, инертных газов и другие быстро распались. Цезий-137, стронций-90, изотопы плутония представляют опасность и сегодня. Большая часть чернобыльских радионуклидов осела в густонаселенных районах Беларуси, Украины и России. Загрязнение территорий неравномерное и имеет «пятнистый» характер.

Внешнее и внутреннее облучение

Действие ионизирующего излучения на организм человека складывается из внешнего и внутреннего облучения.

Внешнее облучение происходит, если источник ионизирующего излучения располагается вне организма человека. При внешнем облучении самым опасным является проникающее γ -излучение.

Внутреннее облучение происходит, когда радионуклиды попадают внутрь организма человека. Такие радионуклиды называются инкорпорированными (внедренными). При внутреннем облучении наибольшую опасность представляет α -, а потом β -излучение, γ -излучение причиняет меньший вред.

Существует три пути поступления радионуклидов в организм: через легкие (ингаляционный путь), с пищей и водой в

желудочно-кишечный тракт (пероральный путь), а также через неповрежденную кожу.

Самый опасный путь – ингаляционный по трем причинам:

– большой объем потребляемого воздуха. Выполняя работу средней тяжести, человек за рабочий день вдыхает 20 куб. метров воздуха.

– хорошо растворимые в воде радиоактивные вещества в течение нескольких десятков минут проникают в кровь и разносятся по всему организму.

– нерастворимые радиоактивные вещества остаются в легких, накапливаются и облучают их.

Второй по значимости путь поступления радионуклидов в организм – с пищей и водой, причем большая их часть не усваивается и удаляется из кишечника. Во время нахождения радиоактивных веществ в пищеварительном тракте происходит облучение кишечника. Короткобежные α - и β -частицы облучают только стенку кишечника, а γ -фотоны достигают и других органов, расположенных в брюшной полости и грудной клетке.

Ранее считалось, что кожа является эффективным барьером для проникновения радиоизотопов в организм, однако сейчас установлено, что радионуклиды в составе жидких и газообразных соединений проникают через кожу достаточно быстро и в заметных количествах. Скорость проникновения газообразного йода через неповрежденную кожу сравнима со скоростью проникновения его через дыхательные пути. Количество плутония, проникающее в организм через кожу, практически такое же, как и при поступлении через желудочно-кишечный тракт. Всосавшиеся изотопы поступают в кровь и затем, в соответствии с их химическими свойствами, распределяются в организме.

Цезий-137 – смешанный β - γ -излучатель, период полураспада которого равен 30,17 года. Основными источниками поступления радионуклидов цезия в природную среду являются ис-

питания ядерного оружия и предприятия ядерно-топливного цикла, включая АЭС. Анализ сложившейся радиоэкологической обстановки показал, что наибольший вклад в индивидуальные дозы облучения от компонентов чернобыльского выброса вносят и будут вносить в ближайшие десятилетия радионуклиды цезия-137. Поверхностная активность по цезию-137 в отдельных районах Беларуси, находящихся за пределами 30-километровой зоны и удаленных от аварийного реактора на сотни километров, оказалась более 40 Ки/км^2 , а в некоторых точках и более 100 Ки/км^2 .

В экологических системах поведение радиоактивного цезия подобно калию, благодаря их одинаковым химическим свойствам. Большинство соединений цезия хорошо растворимы в воде. Поэтому из загрязненной почвы радионуклиды цезия через корневую систему попадают в растения и накапливаются в его различных частях. Накопление цезия в растениях зависит от вида растений, загрязненности почвы и коэффициентов перехода цезия из почвы в растения. Больше других накапливают цезий мхи, лишайники, грибы, злаковые, бобовые.

В организм животных и человека радионуклиды цезия попадают через органы дыхания (ингаляционным путем), через желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) и через неповрежденную кожу. С кровью цезий разносится по всем органам и тканям тела и накапливается в них. Максимальное накопление цезия происходит в мышечной ткани, сердце, печени и почках. В коже, крови и жировой ткани его в несколько раз меньше. В процессе обмена веществ цезий выводится из живых организмов. У животных – с мочой, калом, молоком, яйцами. У человека преимущественно через почки с мочой.

Биологический и эффективный периоды полувыведения зависят от возраста человека, так биологический период полувыведения цезия (все тело) для подростков – 45 суток, для новорожденного – 10 суток (табл. 1).

Биологические и эффективные периоды полувыведения цезия-137 из некоторых органов взрослого человека и эффективная энергия, передаваемая этим органам в каждом акте распада

Орган или ткань	T_B , суток	$T_{эфф}$, суток	$E_{эфф}$, МэВ/распад
Все тело	70	68	0,59
Мышечная ткань	140	13	0,59
Легкие	140	13	0,41
Почки	42	42	0,31
Селезенка	98	97	0,37
Печень	90	89	0,41
Костная ткань	140	13	1,4

Стронций-90 – чистый β -излучатель, период полураспада 29,17 года. При распаде стронция-90 образуется радиоактивный иттрий-90, который тоже является чистым β -излучателем с периодом полураспада 64 часа. Стронций является химическим аналогом кальция и активно участвует в обмене веществ у растений, животных и человека. В растения стронций-90 может поступать непосредственно при загрязнении листьев, а также из почвы через корни. Относительно большое количество стронция накапливают корнеплоды, злаки, бобовые растения. В организм человека стронций поступает через легкие, ЖКТ и кожу. Коэффициент всасывания через легкие – 45 %, через ЖКТ – 30 %. Стронций, как и кальций, накапливается в костной ткани и фиксируется в ней, поэтому инкорпорированный в костях стронций очень трудно удаляется из организма. Период полувыведения стронция-90 из организма человека составляет примерно 20 лет.

Плутоний-239 – смешанный α - γ -излучатель, период полураспада 24 360 лет. Главную опасность для человека и животных плутоний представляет при вдыхании с воздухом. Он попадает в легкие, где окислившись, остается в течение многих лет, облучая близлежащие ткани. Плутоний по структуре похож на железо, попав в кровь, быстро связывается с белками и переносится к клеткам печени и костного мозга. Период полувыведения плутония 4000 дней. Распадаясь, плутоний-239 превращается в уран-235, который тоже испытывает альфа-распад и тоже превращается в радиоактивный элемент и т.д. То же самое можно сказать об изотопах плутония 238, 240 и 241. Изотопы плутония, попав в природную среду, положили начало длинным цепочкам радиоактивных превращений, когда образуются все новые и новые радиоактивные ядра, например, к настоящему времени более половины плутония-241 превратилось в америций-241 с периодом полураспада 432 года.

Биологическое действие ионизирующих излучений

Радиоволны, световые волны, тепловая энергия солнца, радиоактивное излучение – все это разновидности электромагнитных излучений. Гигантская энергия γ -фотонов, α - и β -частиц растрачивается в любом веществе, оказавшемся на их пути. В облученном веществе образуются ионы и свободные электроны, разрываются химические связи в молекулах, нарушается структура кристаллических решеток. Это очень опасно в живом организме. На каждый акт ионизации затрачивается около 30 электронвольт энергии, и нетрудно подсчитать, что частица с энергией 600 кэВ на своем пути способна создать примерно 20 000 пар ионов, а с энергией 1,2 МэВ – вдвое больше. В плотной среде частица растрачивает свою энергию на более коротком участке пути. Прежде чем исчезнуть, β -частицы успевают пролететь расстояние в несколько метров в воздухе, несколько миллиметров – в воде и мягких тканях чело-

веческого тела, десятки микрометров в металле. Пробег α -частицы в воздухе и биологической ткани составляет соответственно сантиметры и микрометры. В результате ионизирующее излучение способно вызывать в живом организме биологические изменения, в основе которых лежит прямое или косвенное действие радиации.

Прямое действие радиации (рис. 1) – это такие изменения биологических молекул, которые происходят при непосредственном поглощении энергии излучения самой молекулой. В результате образуются ионы и свободные радикалы – электрически нейтральные атомы или молекулы с неспаренным электроном на внешней орбите. Ионы и радикалы взаимодействуют как друг с другом, так и с окружающими молекулами. В результате образуются различные типы структурных повреждений. Некоторые типы таких повреждений, например, разрушение ряда аминокислотных остатков в молекулах белка, приводят к изменению их биологических свойств.

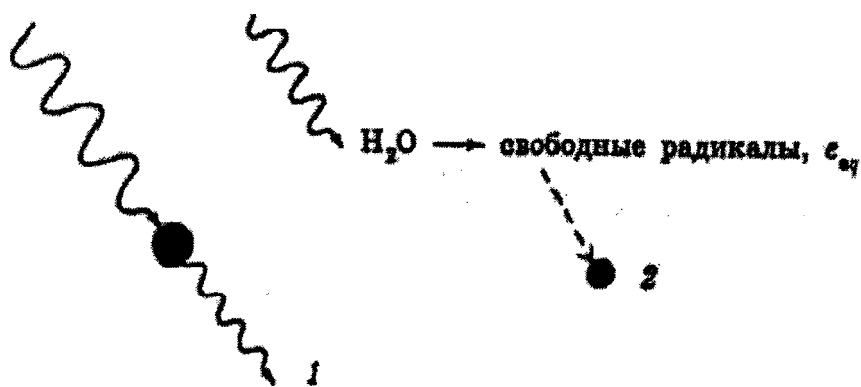
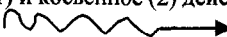



Рис. 1. Прямое (1) и косвенное (2) действие ионизирующего излучения на клетку:
 • – мишень;  – излучение;  – диффузия свободных радикалов к молекуле мишени

Косвенное действие радиации – это такие изменения молекул в растворе, которые происходят в результате радиационного

разложения (радиолиза) воды. Поскольку клетка живого организма содержит до 70–90 % воды, вклад косвенного действия ионизирующего излучения более существенен. При радиолизе воды возникают разнообразные свободные радикалы. Свободные радикалы обладают огромной реакционной способностью, т. к. неспаренный электрон должен обязательно связаться с таким же электроном, чтобы образовать молекулярную орбиталь. Повреждения, вызванные свободными радикалами, быстро увеличиваются по принципу цепной реакции.

Действие ионизирующего излучения на клетку. Основные процессы лучевого поражения организма начинаются на уровне клетки. Любой многоклеточный организм берет свое начало с одной единственной клетки путем многократных клеточных делений. Любая клетка окружена мембраной и состоит из ядра – центральной, более плотной части – и цитоплазмы. В ядре находятся важнейшие структуры клетки – нити хроматина, которые в период клеточного деления образуют палочкоядерные структуры, называемые хромосомами (окрашенное тельце). Хромосомы содержат молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в которых зафиксирована вся наследственная информация. Для каждого биологического вида характерно постоянное видовое число хромосом. Например, обычная клетка человека содержит 46 хромосом (рис. 2, 3).

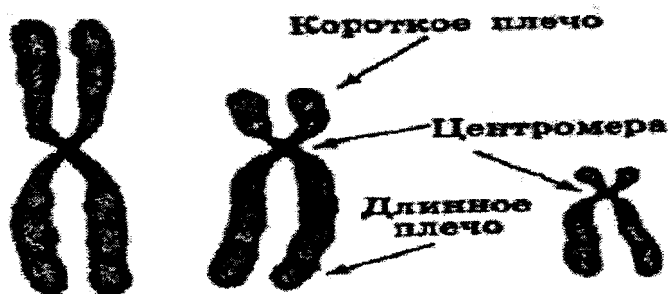


Рис. 2. Первая, пятая и тринадцатая хромосомы человека

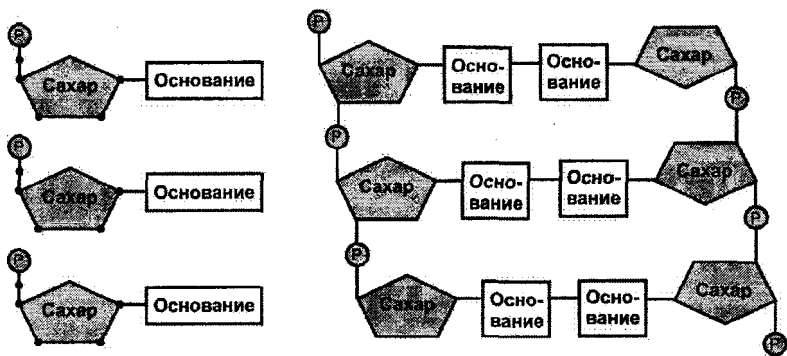


Рис. 3. Структура ДНК:

а – нить ДНК, состоящая из нуклеотидов;
б – каждая молекула состоит из двух нитей

При облучении клетки, в ней регистрируются множество самых разнообразных реакций: задержка деления, угнетение синтеза ДНК, повреждение мембраны, гибель клетки. Степень выраженности указанных реакций зависит от величины поглощенной дозы и стадии жизненного цикла облученной клетки. Доказано, что ионизирующее излучение тем сильнее действует на клетки, чем интенсивнее они делятся и чем менее они дифференцированы, образуя те или иные органы и ткани.

К числу делящихся и постоянно обновляющихся клеток относятся половые клетки, клетки костного мозга, клетки эпителия кишечника, к числу неделящихся – нервные и мышечные клетки, к числу малоделящихся – клетки печени, почек.

Повреждения клетки не всегда приводят к ее гибели. Клетка имеет способность к восстановлению и продолжению жизни, но потеря всего одной хромосомы, или даже ее изменение обычно ведет к гибели клеток. Опыт показывает, что при дозе 1 грей в каждой клетке человека повреждается до 5000 оснований молекул ДНК. Увеличение дозы приводит к росту вероятности разрывов нити ДНК в нескольких местах, так что в ядре клетки накапливаются куски хромосом (фрагменты). Разорванные концы и целые фрагменты в дальнейшем соединяются в новых сочетаниях, и закодированная в генах информация

искажается или теряется совсем. Такое изменение хромосомы называется хромосомной абберацией. По мере накопления дозы облучения растет и количество хромосомных аббераций.

Облучение приводит к тому, что клетки организма с радиационными изменениями в молекулах ДНК теряют свои биологические свойства или приобретают способность безудержного деления – появляются опухоли. В любом случае облучение приводит к ослаблению организма, нарушению работы иммунной системы, болезням и преждевременной гибели. Последствия зависят от дозы облучения.

Если радиационные изменения произошли в половых клетках, то измененная генетическая информация передается потомкам. Наследуемые хромосомные изменения называются мутациями. Мутации вызывают не только ионизирующие излучения, но и некоторые вредные химические вещества, неблагоприятные факторы окружающей среды. Они возможны при любой дозе, даже такой малой, какая существует при естественном радиационном фоне Земли.

Критические органы. Радиационные синдромы

Рассмотренные механизмы действия радиации на клетку имеют большое значение для выяснения действий ионизирующих излучений на организм в целом. Причиной гибели организма является поражение какого-либо одного органа, который является критическим.

Критические органы – органы, которые первыми выходят из строя в данном диапазоне доз излучения. Вследствие необратимого поражения соответствующих систем организма – кроветворной, желудочно-кишечной и центральной нервной системы (ЦНС), развиваются основные клинические синдромы: костно-мозговой (кроветворный), желудочно-кишечный и церебральный. Кроветворная и желудочно-кишечная системы характеризуются большой скоростью клеточного обновления, тогда как клетки ЦНС у взрослого организма практически не

делятся. Наиболее чувствительными к радиации являются органы и ткани с интенсивно делящимися клетками.

Костно-мозговой синдром. Костный мозг и другие органы кроветворной системы наиболее уязвимы при облучении, это вызвано тем, что костный мозг постоянно продуцирует эритроциты и тромбоциты. В среднем клетки крови живут две недели, они выполняют свои биологические функции и уходят из организма. Им на смену приходят новые клетки, но производство клеток останавливается и пополнение клеток не происходит. Например, при облучении дозой 4–5 грей на четвертые сутки после облучения в периферической крови остается 20 % лейкоцитов и 10 % лимфоцитов. Развивается костно-мозговой синдром.

Костно-мозговой синдром характеризуется кровоточивостью, анемией, понижением иммунитета вследствие недостатка в периферической крови тромбоцитов, эритроцитов и лейкоцитов.

Поскольку кроветворная система состоит из интенсивно делящихся клеток, она обладает способностью к регенерации, и если доза облучения не велика, то функции кроветворения полностью восстанавливаются.

Желудочно-кишечный синдром. Самым уязвимым органом желудочно-кишечной системы является тонкий кишечник. Внутренняя поверхность кишечника выстлана ворсинками, через которые происходит усвоение питательных веществ. Ворсинки состоят из клеток, не способных к дальнейшему делению. Эти клетки постоянно изнашиваются и срываются с концов ворсинок по мере прохождения пищи по кишечнику. У основания ворсинок находятся клетки-крипты, которые продуцируют новые ворсинки, т.е. крипты являются интенсивно делящимися клетками. При воздействии больших доз радиации происходит поражение крипт. В результате замена изношенных клеток не происходит, усвоение питательных веществ ухудшается (в том числе и лекарств), стенки кишечника оголяются, и они повреждаются проходящей пищей. Возникают

очаги прободений, через которые кишечная флора попадает в кровь и происходит инфицирование организма.

Таким образом, при действии радиации на кроветворную и желудочно-кишечную системы развиваются сходные изменения: происходит гибель молодых делящихся клеток, временно прекращается клеточное деление. Количество зрелых клеток уменьшается и естественная убыль клеток перестает восполняться. Из этого можно сделать вывод, что поражение критических органов имеет клеточную природу.

Церебральный синдром. Реакция ЦНС на облучение обусловлена тем, что зрелая нервная ткань состоит из неделящихся высокодифференцированных клеток, замещение которых в течение жизни не происходит. Гибель клеток, приводящая к церебральному синдрому, наблюдается при дозах порядка сотен грей. Однако до сих пор не выяснено, является ли причиной гибели нервных клеток их непосредственное повреждение или же гибель вызвана повреждением кровеносных сосудов. Симптомы церебрального синдрома проявляются в виде раздражительности, чрезмерного возбуждения, судорог и комы. Синдром может продолжаться от нескольких минут до двух суток, в зависимости от дозы. Он является необратимым, лечение может быть только симптоматическим, имеющим цель уменьшить страдания, связанные с нарушениями нервной системы или желудочно-кишечными расстройствами.

Республиканские допустимые уровни РДУ-99

В настоящее время радиационный контроль качества продуктов питания осуществляется РДУ-99. Они регламентируют содержание радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания и питьевой воде.

Целью РДУ-99 является снижение дозы внутреннего облучения населения Республики Беларусь путем ограничения поступления радионуклидов с продуктами питания. РДУ обеспечивает формирование эффективной дозы не более 1 мЗв в год.

Составляется потребительская корзина из традиционных продуктов питания для среднестатистического человека. Исходя из количества потребления различных продуктов питания, рассчитываются допустимые уровни для отдельных продуктов питания по цезию. Кроме того, учитывается период полураспада и период биологического полувыведения радионуклидов из организма человека.

Период полураспада для обоих радионуклидов практически одинаков: для Cs-137 $T_{1/2} = 30,17$ лет, для Sr-90 $T_{1/2} = 29,17$ лет. Периоды биологического полувыведения значительно различаются: для Cs-137 $T_B = 70$ суток (для взрослого человека), для Sr-90 $T_B = 50$ лет. Именно поэтому допустимые уровни по стронцию гораздо меньше, чем по цезию для всех продуктов питания (табл. 2).

Таблица 2

Республиканские допустимые уровни (РДУ-99)

Продукт	Бк/кг, Бк/л
<i>Для цезия-137</i>	
Вода питьевая	10
Молоко и цельномолочная продукция	100
Молоко сгущенное и концентрированное	200
Творог и творожные изделия	50
Сыры сычужные и плавленые	50
Масло коровье	100
Мясо и мясные продукты, в том числе:	
говядина, баранина и продукты из них	500
свинина, птица и продукты из них	180
Картофель и корнеплоды	80
Хлеб и хлебопродукты	40
Мука, крупы, сахар и мед	60

Продукт	Бк/кг, Бк/л
Жиры растительные и животные, маргарин	40
Овощи	100
Фрукты	40
Ягоды дикорастущие	185
Грибы свежие	370
Грибы сушеные	2500
Детское питание	37
Прочие продукты питания	370
<i>Для стронция-90</i>	
Вода питьевая	0,37
Детское питание	1,85
Молоко и цельномолочная продукция	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7
Картофель и корнеплоды	3,7

Биологическая противолучевая защита

Методы защиты от ионизирующих излучений подразделяются на физические и химические. Физический метод защиты заключается в ограничении активности продуктов питания (РДУ), в контроле за активностью атмосферного воздуха (НРБ-2000) или сооружении защитных экранов для персонала. Химический метод защиты от радиации основан на том, что химические вещества встраиваются в реакции, идущие в облученной клетке или организме, либо прерывают эти реакции, либо ослабляют их. Эти вещества называют радиопротекторами. Однако большинство из них токсичны, нестабильны, слабо действуют и т.д.

Противолучевая химическая защита – введение радиопротектора в организм перед облучением. Такая защита применяется при кратковременном воздействии излучений, при длительном внешнем облучении малыми дозами, при лучевой терапии.

Под влиянием радиопротекторов снижается степень проявления всех типов первичного поражения клеток, интенсифицируется клеточное деление, что способствует увеличению клеточного фонда – источника здоровых клеток.

Среди веществ, обладающих некоторой противолучевой активностью, есть вещества природного происхождения: витамины, пигменты антоциана, которые придают красный цвет овощам и фруктам. Такие вещества как экстракты элеутерококка, женьшеня, китайского лимонника повышают устойчивость организма к самым разным воздействиям, включая радиацию.

Медицинские мероприятия должны быть направлены на замену радионуклидов стабильными изотопами. Например, применение стабильного изотопа йода уменьшает накопление радиоактивного йода в щитовидной железе.

Практические рекомендации по организации питания

С целью сведения к минимуму радиационных последствий необходимо соблюдать особые нормы поведения, землепользования и питания.

Большое значение имеет правильный рацион питания. Желательно употреблять в пищу продукты, повышающие устойчивость организма к радиации (морская капуста, кальмары и т.д.) и способствующие выведению радионуклидов из организма (молочнокислые продукты, творог, яйца, рыба).

Для ускорения выведения цезия из организма желательно употреблять продукты, богатые калием (свекла, орехи, урюк, курага). Продукты, содержащие в большом количестве кальций, способствуют выведению из организма стронция (молочные продукты, фасоль, горох, геркулес, морковь, капуста и др.). Витамины оказывают тоже противолучевой эффект. Действие витаминов сводится к обеспечению оптимальной жизнедеятельности организма, к подъему его радиоустойчивости. Поэтому в рацион питания хорошо включать овощи и фрукты, богатые витамином С (капуста, лимоны, цитрусовые, черная

смородина и др.), витамином Е (сливы, зеленый горошек и др.). Соки с мякотью сорбируют радионуклиды, а продукты, содержащие большое количество клетчатки, ускоряют моторную функцию кишечника, что способствует выводу радионуклидов из организма.

Правильная кулинарная обработка продуктов питания позволяет существенно снизить содержание в них радионуклидов. Тщательная очистка от земли и мытье овощей и корнеплодов, засолка и маринование овощей, грибов снижают содержание радионуклидов в 1,5–2 раза. Мясо перед варкой замачивают на 2–3 часа в холодной воде, затем воду сливают. Залитое новой водой мясо доводят до кипения и опять воду сливают, затем наливают чистую воду и заканчивают варку.

Желательно не употреблять продукты, содержащие радиоактивные вещества в больших количествах, например, грибы и ягоды, выросшие в лесах и на болотах с большим уровнем загрязнения.

Эти рекомендации, а также контроль за уровнем загрязнения радионуклидами, позволяют намного уменьшить риск неблагоприятных радиационных последствий.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Гамма-радиометр РУГ-91 «Адани»

Гамма-радиометр РУГ-91 «Адани» предназначен для измерения суммарной объемной активности радионуклидов цезия-137 и цезия-134 и объемной активности природного изотопа калия-40 в загрязненных радионуклидами пробах, в том числе в продуктах питания.

Диапазоны измеряемой гамма-радиометром объемной активности радионуклидов:

цезия-134, 137 не менее:

– при времени измерения 20 мин 0,018–5,0 кБк/л;

– при времени измерения 2 мин 0,06–50,0 кБк/л;

калий-40 не менее:

– при времени измерения 20 мин 0,02–5,0 кБк/л;

– при времени измерения 2 мин 0,5–50,0 кБк/л.

Упрощенная функциональная схема, поясняющая принцип действия гамма-радиометра, приведена на рис. 4.

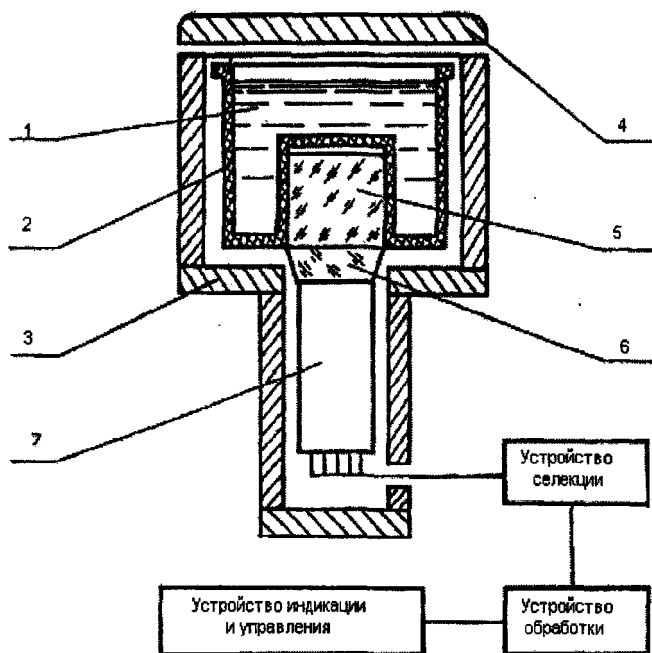


Рис. 4. Функциональная схема гамма-радиометра:

1 – исследуемый образец (проба); 2 – кювета (сосуд Маринелли);

3 – защитный свинцовый экран; 4 – защитная свинцовая крышка;

5 – сцинтиллятор CsI(Tl); 6 – световод; 7 – фотоэлектронный умножитель

Для повышения эффективности регистрации световых импульсов исследуемый образец (проба) 1 помещается в специальную кювету 2 (сосуд Маринелли, объемом 0,5 л). Кювета с пробой устанавливается в свинцовый защитный экран 3, уменьшающий влияние внешнего фонового излучения. Экран закрывается сверху свинцовой крышкой 4. Световые вспышки,

возникающие в сцинтиляторе 5 под действием γ -излучения, через световод 6 попадают на фотокатод фотоэлектронного умножителя 7 и преобразуются в электрические импульсы, которые после усиления поступают в устройство селекции.

Устройство селекции осуществляет отбор импульсов по двум уровням их амплитуд, соответствующим двум энергетическим зонам, в пределах которых изменяются энергии регистрируемых гамма-квантов от радионуклидов цезия и калия.

Устройство обработки подсчитывает число импульсов в каждой энергетической зоне и вычисляет активность γ -излучения.

Устройство индикации и управления задает режим работы гамма-радиометра и выводит на табло результат измерения.

Режим работы задается с помощью семи кнопок, расположенных на передней панели гамма-радиометра (рис. 5).

- Кнопка 1 – «Сеть» производит включение и выключение гамма-радиометра.

- Кнопка 2 – «Сброс» служит для отмены ошибочной команды и приведения схемы гамма-радиометра в исходное состояние.

- Кнопка 3 – «Фон» выполняет измерение уровня радиационного фона.

- Кнопка 4 – «Проба» производит измерение объемной активности исследуемого образца.

- Кнопки 5 – «2 мин» и 6 – «20 мин» устанавливают время измерения, при этом 20-минутный режим используется для более точных измерений и рекомендуется для измерения малоактивных проб (менее 200 Бк /л).

- Кнопки 7 – «Цезий-137» и 8 – «Калий-40» служат для вывода на табло информации об измеренной суммарной активности изотопов цезия и калия-40 соответственно.

- Цифровое табло 9 в процессе измерения индицирует обратный счет времени в секундах, по окончании времени измерения на табло высвечивается объемная активность (кБк/л) пробы.

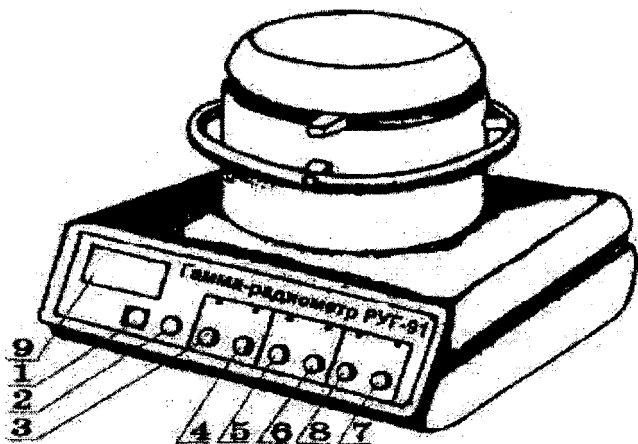


Рис. 5. Внешний вид гамма-радиометра РУГ-91 «Алани»

Индицируемые на табло значения объемной активности соответствуют объему пробы $V = 0,5$ л и плотности пробы $\rho = 1$ кг/л. Если объем пробы менее 0,5 л, для определения истинных значений A_V следует скорректировать индицируемые на табло значения путем умножения их на соответствующий поправочный коэффициент (табл. 3).

Выполнение команды при нажатии любой кнопки подтверждается звуковым сигналом, при этом над кнопкой загорается светодиод.

Методика проведения радиометрического контроля образцов

Процедура определения удельной активности образцов состоит из трех этапов:

- измерения фона;
- измерение объемной активности;
- расчет удельной активности.

В данной работе измерение фона проводится с пустым кюветным отделением. Результаты измерения фона высвечиваются на табло в единицах скорости счета и заносятся в память микропроцессора.

Для более точных измерений фона (что особенно важно при измерении активностей, близких к пределу измерения радиометра) в кюветное отделение ставят кювету, заполненную дистиллированной водой.

Отбор проб производится специалистами соответствующих подразделений радиометрического контроля.

Пробы пищевых продуктов подвергаются обработке, которая применяется на первом этапе приготовления пищи. Приготовленные продукты измельчают с помощью мясорубки, терки, кофемолки. Пищевую зелень, траву, сено измельчают ножом. Подготовленные пробы помещают в кюветы.

Проводят взвешивание для определения массы пробы. Определяют объем пробы.

Измерение активности пробы идет одновременно по двум радионуклидам (цезий-137 и калий-40). Во время измерения на табло высвечивается обратный счет времени в секундах. Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом и индикацией результата измерения в единицах объемной активности (кБк/л).

Показания прибора соответствуют действительности, если проба заполняет кювету полностью, а плотность измеряемого образца близка к плотности воды (1кг/л). Тогда объемная активность образца в кБк/л соответствует удельной активности в кБк/кг.

Если исследуемые образцы имеют плотность, заметно отличающуюся от единицы, то для определения удельной активности результат измерения пересчитывается по формуле

$$A_m = k \frac{A_v}{\rho}, \quad \rho = \frac{m}{V}, \quad (11)$$

где A_m – удельная активность, кБк/кг;

A_v – объемная активность, кБк/л;

ρ – плотность исследуемого образца, кг/л;

m – масса образца, кг;

V – объем, занимаемый образцом, л;
 k – поправочный коэффициент, учитывающий фактический объем пробы (табл. 3).

Таблица 3

Значение коэффициента k

Объем пробы, мл	200	250	300	350	400	450	500
Поправочный коэффициент k	2,9	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0

Порядок выполнения работы

Нажмите кнопку «СЕТЬ» на передней панели прибора. Звуковой сигнал и индикация нулей во всех разрядах цифрового табло «0000» свидетельствует о готовности прибора к работе.

Задание 1. Измерение фона

1.1. Сдвиньте вправо защитную крышку свинцового экрана и убедитесь, что кюветное отделение – пустое. Закройте защитную крышку.

1.2. Нажмите кнопку «ФОН», а затем время измерения «2 мин». Значение фона по калию и цезию высвечивается на табло после нажатия кнопок «Цезий-137» или «Калий-40». В процессе измерения прибор не реагирует на нажатие кнопок (кроме кнопок «СЕТЬ» и «СБРОС»).

1.3. Измерение фона проводится один раз для всей серии опытов. Результаты измерения занесите в табл. 4.

Таблица 4

Радиационный фон

Дата	Значение фона, кБк/л	
	Калий-40	Цезий-137

Задание 2. Измерение удельной активности лабораторных образцов

2.1. Для измерения объемной активности установите кювету с пробой внутрь свинцового экрана, закройте крышку. Нажмите кнопку «ПРОБА» и кнопку времени измерения «2 мин».

2.2. По окончании измерения нажмите кнопку «Калий-40», затем «Цезий-137» (или наоборот – сначала цезий-137, затем калий-40). На табло высвечивается значение объемной активности пробы A_V в кБк/л. Значение A_V занесите в табл. 5.

2.3. Аналогичные измерения проведите для всех образцов, указанных преподавателем. **Внимание! При смене образца не забывайте нажимать кнопку «СБРОС».**

2.4. Используя значения A_V из табл. 5 по формуле (11) рассчитайте удельную активность образца A_m . Результаты расчетов занесите в табл. 5.

2.5. Используя РДУ-99, сделайте вывод о пригодности использования пищевых образцов в качестве продуктов питания.

Таблица 5

Объемная и удельная активности образца

Название пробы	m , кг	V , л	ρ , кг/л	k	Cs-137		K-40		РДУ, Бк/кг
					A_V , кБк/л	A_m , кБк/кг	A_V , кБк/л	A_m , кБк/кг	

Задание 3. Измерение удельной активности собственных продуктов питания (по желанию)

3.1. Приготовьте пробу из собственных продуктов питания.

3.2. Определите на рабочем месте массу и объем пробы.

3.3. Результаты измерения занесите в табл. 5.

3.4. Рассчитайте удельную активность образцов A_m .

Задание 4. Решите задачи

- 4.1. Используя формулы (4) и (6), вывести формулу для расчета массы радионуклидов по измеренной объемной активности.
- 4.2. Рассчитать массы радионуклидов в образцах.
- 4.3. По истечении какого времени удельная активность использованных в пробах продуктов снизится до предельно допустимого загрязнения, регламентированного РДУ- 99?

Контрольные вопросы

1. Активность радионуклида. Удельная, объемная и поверхностная активность. Единицы измерения.
2. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.
3. Источники искусственного радиационного фона.
4. Основные пути поступления радионуклидов в организм человека. Какой путь наиболее опасен?
5. Как радионуклиды распределяются в организме человека?
6. Прямое и косвенное действие ионизирующего излучения.
7. Воздействия ионизирующего излучения на клеточные структуры.
8. Критические органы. Радиационные синдромы.
9. Эффективный период полувыведения.
10. Какие основные принципы лежат в основе расчетов допустимых уровней?
11. Почему допустимые уровни для стронция-90 гораздо меньше, чем допустимые уровни для цезия-137?

Литература

1. Кужир, П.Г. Радиационная безопасность / П.Г. Кужир, И.А. Сатиков, Е.Е. Трофименко. – Минск: Пион, 1999.
2. Моисеев, А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А.А. Моисеев, В.И. Иванов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Вредные вещества в окружающей среде. Справочно-энциклопедическое издание / В.А. Филова. – СПб.: Професионал, 2006.
4. Радиационная медицина / А.Н. Стожаров [и др.]. – Минск: БГМУ, 2007.
5. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99. – Минск: Минздрав Беларуси, 1999.

Учебное издание

**РАДИОМЕТРИЯ ПРОДУКТОВ
ПИТАНИЯ**

Методические указания
к лабораторной работе № 410

Составители:

МИТЬКИНА Нина Николаевна
СУЛТАНОВА Ирена Константиновна
ТРОФИМЕНКО Евгений Евгеньевич

Редактор Е.О. Коржуева
Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

Подписано в печать 25.10.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,74. Уч.-изд. л. 1,36. Тираж 100. Заказ 862.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.