

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет им. П.М. Машерова»

ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Витебск

Издательство УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

2006

УДК 612.014.482(075.8)

ББК 51.26я73

П 69

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»

Составители: старший преподаватель кафедры анатомии, физиологии и валеологии человека УО «ВГУ им. П.М. Машерова» А.Ф. Хлонцев; преподаватель кафедры анатомии, физиологии и валеологии человека УО «ВГУ им. П.М. Машерова» И.П. Тарасова

Рецензент: доцент кафедры анатомии, физиологии и валеологии человека УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат биологических наук Г.Г. Сущко

Практикум по радиационной безопасности / Сост. А.Ф. Хлонцев, И.П. Тарасова. – Витебск: Издательство «ВГУ им. П.М. Машерова», 2006. – 134 с.

ISBN 985-425-588-3

Практикум предназначен для студентов всех факультетов и преподавательского состава университета. Дано описание некоторых приборов радиологического контроля для населения и радиометрических лабораторий. Рассмотрен порядок определения радиоактивности в различных объектах (почве, воде, продуктах питания), а также порядок измерения эквивалентной и экспозиционной доз. Даны учебные вопросы семинарских занятий, справочный материал к каждому семинарскому занятию и тесты для компьютерного тестирования.

УДК 612.014.482(075.8)

ББК 51.26я73

ISBN 985-425-588-3

© УО «ВГУ им. Машерова», 2006

ВВЕДЕНИЕ

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в атмосферу было выброшено огромное количество радиоактивных веществ, суммарная активность которых – десятки миллионов кюри. На долю Беларуси приходится около 70% наиболее загрязненной радионуклидами территории.

Авария на ЧАЭС признана крупнейшей техногенной катастрофой в мировой истории, а комплекс возникших в связи с нею проблем и масштабность мероприятий по их решению не имеют аналогов в истории. Последствия аварии сказываются на состоянии экономики, лесного и сельского хозяйства, водных ресурсов, а главное – на здоровье населения Республики Беларусь.

Основное внимание в ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы должно быть направлено на организацию и реализацию комплекса защитных мероприятий, обеспечивающих безопасную жизнедеятельность населения на загрязненных радионуклидами территориях.

Одной из задач радиационной безопасности является организация радиационного контроля, т.е. контроля радиоактивного облучения населения и определения степени радиоактивного загрязнения объектов внешней среды, проводимых для оценки степени опасности ионизирующих излучений для населения. Используемые для радиационного контроля дозиметрические приборы позволяют измерять экспозиционную и поглощенную дозы, их мощность, активность радиоактивных веществ, степень загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания, воды и т.д.

Промышленность выпускает большое количество дозиметрических приборов, как стационарных, так и переносных. Широкое распространение получили дозиметрические приборы для населения (бытовые дозиметры).

В настоящем пособии излагается методика проведения занятий по изучению дозиметрической аппаратуры, имеющейся на оснащении радиологической лаборатории кафедры. Рассмотрен порядок определения радиоактивности в различных объектах (почве, воде, продуктах питания), а также порядок измерения эквивалентной и экспозиционной доз.

Кроме того, в пособии даны учебные вопросы семинарских занятий, справочный материал к каждому семинарскому занятию и тесты для тестирования по основным разделам радиационной безопасности. На каждый тест имеется четыре ответа, из которых только один правильный. Тесты можно использовать и для компьютерного тестирования.

Авторы надеются, что подготовленное учебное пособие позволит студентам расширить свои знания по радиационной безопасности, в том числе и по работе с дозиметрическими приборами.

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Занятия проводятся в радиометрической лаборатории в составе учебной группы. В результате проведения занятий по изучению дозиметрической аппаратуры студенты должны знать:

- определение радиоактивности, виды радиоактивных излучений и их свойства;
- основные дозиметрические величины и единицы их измерения;
- методы обнаружения и измерения радиоактивных излучений;
- определение радиационного фона и источники его;
- допустимые уровни содержания радионуклидов в продуктах питания, воде;
- назначение, принцип работы бета-радиометра РУБ-01 П6, бытовых дозиметров, порядок подготовки их к работе.

После проведения лабораторных занятий студенты должны уметь:

- подготавливать дозиметрическую аппаратуру к работе;
- проверять работоспособность приборов;
- определять радиационный фон;
- измерять объемную активность проб жидкостей;
- измерять удельную активность проб вязких и сыпучих продуктов;
- измерять мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы бытовыми дозиметрами;
- измерять плотность потока бета-излучения с загрязненных поверхностей.

На первом занятии во вступительной части преподаватель отмечает значение дозиметрической аппаратуры для радиационной безопасности населения. Широкое внедрение источников ионизирующих излучений в различные области науки, техники, народное хозяйство, и особенно аварии на предприятиях атомной энергетики требуют принятия комплекса мероприятий по защите населения от излучений. А без знания дозиметрической аппаратуры, выявления с ее помощью степени загрязненности радионуклидами окружающей среды, воды, продуктов питания эти мероприятия могут быть неэффективными. После этого преподаватель проверяет исходный уровень знаний студентов по данной теме путем постановки контрольных вопросов.

Затем преподаватель рассказывает о предназначении и принципах работы радиометра РУБ-01, подробно рассматривается устройство прибора, работа органов управления, контроль функционирования устройства измерительного УИ-38 П2, подготовка радиометра к работе, порядок работы прибора, определение радиационного фона блока детектирования. Студен-

ты, используя инструкции по пользованию прибором, учебно-методическое пособие, конспектируют основные положения излагаемого руководителем материала. После этого студенты под руководством преподавателя в составе 4–5 человек изучают устройство прибора, готовят его к работе, измеряют фон блока детектирования.

Каждый студент должен научиться самостоятельно включать прибор, готовить его к работе.

В заключительной части первого занятия руководитель путем постановки контрольных вопросов определяет степень усвоения учебного материала студентами.

На **втором занятии** во вступительной части преподаватель отмечает, что недостаточно знать устройство прибора, нужно уметь пользоваться им, производить различные измерения. Приобретению практических навыков в производстве измерений и посвящено данное занятие. Затем преподаватель путем постановки контрольных вопросов проверяет усвоение материала предыдущего занятия по устройству РУБ-01 П6 и подготовке его к работе.

Рассматривая порядок работы радиометра, преподаватель отмечает, что все измерения должны проводиться не раньше, чем через 15 минут после включения радиометра. При каждом измерении проводится не менее 10 замеров. Для того, чтобы радиометр выдавал информацию непосредственно в физических единицах – Бк/л (Бк/кг), необходимо на кодовом переключателе набрать коэффициент нормирования – $K_n=231$.

Измерение радиационного фона проводится при пустом контейнере и закрытых створках. В дальнейшем при измерении активности проб от полученной величины активности вычитается значение радиационного фона.

После этого преподаватель приступает к показу, как измеряется объемная активность вязких и сыпучих веществ. Студенты самостоятельно под контролем преподавателя приступают к определению активности проб, один из них диктует показания прибора, а другой – записывает результаты на классной доске. Чередуясь, студенты добиваются усвоения практических навыков работы с прибором. Обычно измеряется активность проб продуктов, имеющихся на кафедре – это грибы, горох, различные крупы, вода. Для большей наглядности преподаватель предлагает измерить пробы почвы из г. Жлобина и г. Городка.

При этом оказывается, что загрязненность почвы из г. Жлобина примерно в три раза выше, чем из г. Городка.

Учитывая большой вклад в активность проб калия-40, необходимо исключить его влияние на измеряемую активность. Для этого проводят измерения пробы в режиме «К». Под руководством преподавателя студенты измеряют вклад калия-40 в активность проб почвы.

В заключительной части второго занятия руководитель путем постановки контрольных вопросов определяет степень усвоения учебного материала данной темы.

Во вступительной части к **третьему занятию** преподаватель отмечает, что среди приборов дозиметрического контроля выделяются бытовые — для индивидуального дозиметрического и радиометрического контроля. Так, для населения предусмотрены следующие дозиметрические приборы: дозиметр «Мастер-1», прибор комбинированный РКСБ-104 и др. После этого преподаватель проверяет исходный уровень знаний вопросов данной темы.

Затем приступают к изучению назначения, конструкции дозиметра «Мастер-1», подготовки его к работе и порядка работы дозиметра. После этого студенты поочередно измеряют мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы в рабочих помещениях кафедры.

Следующим прибором является прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104. Он выполняет функции дозиметра и радиометра, с его помощью определяют мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы, объемную активность радионуклидов в пробах растворов. Студенты под руководством преподавателя, с использованием инструкций и учебно-методического пособия изучают устройство прибора, режимы работы его, порядок подготовки прибора к работе, записывая основные положения в рабочие тетради. Затем студенты самостоятельно проводят измерения в различных режимах работы прибора. РКСБ-104 может работать также в качестве порогового индикатора, сигнализирующего о превышении мощности установленной эквивалентной дозы гамма-излучения.

Аналогичным образом изучается и прибор комбинированный РКС-107. Он выполняет функции дозиметра и радиометра, с его помощью определяют мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы, удельную активность радионуклидов в водных растворах, плотность потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами.

В заключительной части занятия преподаватель проверяет степень усвоения материала всех трех занятий путем постановки контрольных вопросов.

Четыре последующих занятия проводятся **семинарским методом**. В начале занятия заслушивается 1–2 реферата по обсуждаемой тематике. Затем последовательно обсуждаются вопросы семинара. Вместо семинара возможно проведение компьютерного тестирования по темам семинаров. Примерная тематика тестов дана на последнем занятии. На последнем занятии проводится итоговое тестирование по всей тематике учебной дисциплины.

ЗАНЯТИЕ №1

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ БЕТА-РАДИОМЕТРА РУБ-01 П6

УЧЕБНАЯ ЦЕЛЬ: изучить устройство прибора, работу органов управления; уметь подготавливать прибор к работе и проверять его работу.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕТОД: лабораторное занятие.

МЕСТО: радиометрический кабинет.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: бета-радиометр РУБ-01П6, таблицы.

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Защита населения и сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения. Лежнев А.О. и др. — Мн.: «Ураджай», 1993. — С. 164–253.
2. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных обстоятельствах: Под ред. М.И. Постника. — Мн.: Універсітэцкае, 1997. — С. 52–119.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. — Мн. 1995. — 127 с.
4. Максимов М.Т, Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — С. 102–196.
5. Постник М.И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных обстоятельствах. — Мн.: Выш. шк., 2003. — С. 130–160.
6. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. — М.: Энергоатом. издат., 1991. — 64 с.
7. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность: Учебно-методический комплекс. — Витебск, 2004. — С. 19–52.
8. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. — Витебск, 2003. — 119 с.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ И РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ

1	Вступительная часть	5 мин
2	Проверка исходного уровня знаний по теме	20 мин
3	Назначение и принцип работы радиометра	15 мин
4	Работа органов управления прибора	10 мин
5	Подготовка радиометра к работе и контроль функционирования устройства измерительного УИ-38 П2	10 мин
6	Проверка работы радиометра и определение радиационного фона блока детектирования	15 мин
7	Заключительная часть	5 мин

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Радиоактивность, виды радиоактивных излучений.
2. Понятие об экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозах излучения.
3. Естественный и искусственный радиационный фон.
4. Активность радионуклидов, единицы и виды активности.
5. Методы обнаружения и измерения радиоактивных излучений.
6. Допустимые уровни содержания радионуклидов в продуктах питания, воде.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К ЗАНЯТИЮ

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ РАДИОМЕТРА РУБ-01 П6

Бста-радиометр РУБ-01 П6 предназначен для измерения удельной и объемной активности бета-гамма-излучающих нуклидов в пробах природной среды. Он применяется для комплексного санитарно-гигиенического контроля природной среды в промышленных, лабораторных и полевых условиях (при защите измерительного приспособления от прямого воздействия атмосферных осадков).

Радиометр позволяет проводить экспрессные измерения объемной активности проб (воды, молока, кефира) в Бк/л; удельной активности сыпучих веществ (почвы, пищевых продуктов) в Бк/кг; объемной активности радиоактивных благородных газов (аргона-41, криптона-65, ксенона-133 и др.) в Бк/л.

Диапазон измерений для всех видов проб – от 10 до 200000 Бк/кг (Бк/л) или от $5,4 \times 10^{-10}$ до $5,4 \times 10^{-6}$ Ки/кг (Ки/л), допустимая относительная погрешность при измерении составляет: 50% при измерении активности от 20 до 100 Бк/кг (Бк/л), 25% при измерении активности более 100 Бк/кг (Бк/л). Питание прибора: 220 В переменного тока или 12–18 В постоянного тока.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ радиометра основан на превращении световых вспышек (сцинтилляций) в чувствительном объеме детектора в импульсы электрического тока. В качестве сцинтиллятора применяется монокристалл иодита натрия—NaI (йодита талия—TlI) величиной 63х63 мм. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) превращает сцинтилляции в импульсы электрического тока, а также усиливает этот ток до уровня, который подается на измерение.

РАДИОМЕТР РУБ-01 П6 включает блок детектирования БДКГ-03П и устройство измерительное УИ-38 П2. Блок детектирования предназначен для превращения энергии излучения в электрические импульсы.

Конструктивно блок детектирования состоит из кожуха (свинцовая защита с толщиной стенок в 50 мм) и внутреннего блока, который крепится к кожуху.

Устройство измерительное предназначено для превращения и измерения сигналов, которые поступают из блока детектирования; представления информации об измеряемой физической величине в удобной для визуального считывания форме; для вывода информации на внешнее приспособление. Устройство измерительное УИ-38 П2 включает **приспособление обработки информации** (которое состоит из узла обработки и узла информации) и **встроенный блок питания**. На верхней крышке УИ-38 П2 закреплена передняя панель, на которую выведены приспособление индикации и органы управления. На задней стороне имеется разъем для подключения блока детектирования.

В комплект прибора входят также контрольный источник, свинцовая защита для размещения блока детектирования в процессе измерений, держатель источника контрольного излучателя, 5 контейнеров для проб, активность которых нужно измерить, стакан для отбора жидких и сыпучих проб.

РАБОТА ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

На панели устройства измерительного УИ-38 П2 размещены следующие органы управления:

Кнопка «ВКЛ» предназначена для включения устройства измерительного (включения питания). Индикатором включения служит светодиод зеленого цвета.

Кнопка «РЕЖИМ» предназначена для включения режимов работы прибора. Прибор работает на следующих режимах:

- **«ОСН»** — основной измерительный канал для измерения объемной и удельной активности блоком детектирования;
- **«К»** — вспомогательный измерительный канал, который включается для измерения вклада калия-40 в активность контролируемой пробы;
- **«УИ»** — включение встроенного генератора для контроля функционирования устройства измерительного.

Кнопка « δ %» — (сигма %) служит для оптимального выбора емкости входного счетчика импульсов, которые поступают из блока детектирования. Имеет положения 50, 25, 12, 6 %, светодиод , который горит при счете импульсов.

В момент включения питания радиометра включается светодиод «25», предопределяя статистическую погрешность 25% единичного измерения информации, которая поступает с блока детектирования. При этом автоматически включается счетчик импульсов емкостью **64 импульса**. При нажатии кнопки « δ %» и удержании ее в нажатом состоянии в течение 1с происходит обнуление всех внутренних счетчиков и числового индикатора.

тора, при отпускании кнопки « δ %» включается светодиод «12», который индуцирует включение счетчика емкостью 256 импульсов – при этом статистическая погрешность единичного измерения информации не превышает 12%.

Последовательно нажимая и удерживая кнопку « δ %» производят включение светодиодов «6» и «50» (с одновременным включением счетчиков емкостью 1024 и 16 импульсов).

Режим «50» можно использовать для определения удельной активности или объемной активности проб, которые имеют небольшую активность импульсов ($N_0 < 0,1 \text{ с}^{-1}$).

Светодиод $\square\square\square$ включается автоматически в момент поступления на счетчик первого импульса, который регистрируется блоком детектирования и выключается в момент заполнения счетчика импульсами. Значение каждого единичного измерения сопровождается коротким звуковым сигналом.

Шестиразрядный кодовый переключатель 0|0|0|0|0|0 разделен на 2 части. Левые три декады переключателя предназначены для кодирования коэффициента преобразования (нормирования) – Кн интенсивности измеренных импульсов в измеряемую физическую величину (с^{-1} – количество импульсов в секунду, Бк – активность, Бк/кг – удельную активность, Бк/л – объемную активность). Правые три декады переключателя служат для кодирования величины измеряемого или наперед заданного радиационного фона (для установки фона и поправки на содержание калия – при автоматическом их вычитании).

Четырехдекадное числовое табло 1|8|5|2 предназначено для визуального считывания результатов измерения.

ПОДГОТОВКА РАДИОМЕТРА К РАБОТЕ

1. Подключить заземляющий провод устройства измерительного через клемму (сечением не менее 1,5 мм).
2. Присоединить к устройству измерительному блок детектирования.
3. Кнопку «ВКЛ» (кнопочный переключатель) перевести в положение отпущено.
4. Включить прибор в электрическую сеть переменного тока напряжением 220 В.
5. Нажать кнопку «ВКЛ» (включить питание радиометра). При этом на панели включается светодиод «ОСН» и «25», зеленый светодиод индикации включения электрического питания (светится непрерывно) и цифры индикатора. Светодиод «25» означает, что включен счетчик радиометра емкостью 64 импульса – при этом относительная погрешность измерений не превышает 25%. При нажатии кнопки « δ %»

можно включить и другие счетчики импульсов с емкостью 1024 импульса (6%), 256 импульсов (12%) и 16 импульсов (50%).

6. При поступлении на входной счетчик первого импульса автоматически включается светодиод $\square\square\square\square$, последний выключается в период заполнения счетчика импульсов. Окончание каждого единичного измерения сопровождается коротким звуковым сигналом.
7. Выдержать радиометр во включенном состоянии на протяжении 15 минут.
8. Для контроля функционирования УИ-38 П2 установить на устройстве измерительном коэффициент нормирования $K_n=1,0$, для чего на кодовом переключателе устанавливают комбинацию чисел: $\underline{1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0}$, при этом радиометр находится в режиме подсчета импульсов в секунду (c^{-1}).
9. Нажать кнопку «РЕЖИМ» (при этом последовательно начинают включаться и выключаться светодиоды «К» и «УИ») и в момент включения светодиода «УИ» отпустить ее. При этом с периодичностью 13 с будет включаться короткий звуковой сигнал, выключаться и через 0,2 с вновь включаться светодиод $\square\square\square\square$, а на числовом табло будет высвечиваться число $4,85+0,05$ с, что свидетельствует об исправной работе устройства измерительного УИ-38 П2.
10. Для выключения радиометра кнопка «ВКЛ» переводится в положение отпущено.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА БЛОКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТЫ РАДИОМЕТРА

1. Выполнить операции 1–9 раздела «Подготовка радиометра к работе».
2. Раздвинуть створки свинцовой защиты и установить пустой контейнер на торец блока детектирования, затем закрыть створки.
3. Сделать 10 измерений фона и рассчитать среднее значение фона.

1.	2,93	6.	2,69	2, 9 3 0
2.	4,41	7.	4,02	т.е. $2,93 \times 10^0 = 2,93$ имп/с
3.	3,42	8.	3,12	
4.	2,90	9.	2,43	среднее значение 3,32 имп/с
5.	4,49	10.	2,84	или $3,32 \times 23 = 76,4$ Бк/л

4. Сделать 10 измерений фона при открытых створках защиты, рассчитать среднюю величину.

1.	1,05	6.	1,47	1, 0 5 1
2.	1,22	7.	1,57	т.е. $10,5 \times 10^1 = 10,5$ имп/с
3.	0,97	8.	0,93	
4.	1,33	9.	1,15	среднее значение 12,1 имп/с
5.	1,15	10.	1,26	или $12,1 \times 23 = 278,3$ Бк/л

Этот показатель превышает фон при закрытых створках, так как при открытых створках в блок детектирования попадают и космические излучения и излучения за счет нуклидов земного происхождения. Это значит, что свинцовая защита позволяет во много раз уменьшить влияние фоновой радиации на работу детектора и тем самым увеличить чувствительность радиометра.

5. Для **ПРОВЕРКИ РАБОТЫ РАДИОМЕТРА** разместить на торце блока детектирования держатель с контрольным препаратом цезия-137 №11261 (источником бета-излучений). Препарат установить метками вверх в предназначенное для него углубление на крышке блока детектирования. При закрытых створках защиты сделать 10 измерений интенсивности излучений от контрольного препарата.

1.	0,99	6.	0,75	0.	9	9	2	
2.	0,86	7.	0,93	т.е. $0,99 \times 10^2 = 99$ имп/с				
3.	0,96	8.	0,70					
4.	0,92	9.	0,95	среднее значение – 86,10 имп/с				
5.	0,74	10.	0,81					

Из полученной величины – 86,1 имп/с вычитаем 3,32 имп/с (величину радиационного фона), получаем 82,78 имп/с, это и есть активность препарата. Сравниваем полученную величину с данными контрольного препарата по паспорту (для контрольного препарата №11261 интенсивность числа импульсов равна 95 имп/с). Допустимое отклонение полученного числа импульсов от величины, указанной в паспортных данных не должно превышать $\pm 20\%$. В нашем случае активность в пределах нормы – 82,78 имп/с, по паспорту должна укладываться в интервал 76-114 имп/с ($95 \pm 20\%$), значит прибор работоспособен.

ПОРЯДОК РАБОТЫ РАДИОМЕТРА

1. Все измерения должны проводиться не раньше, чем через 15 минут после включения радиометра.
2. При каждом измерении проводится не менее 10 замеров интенсивности импульсов, которые поступают из блока детектирования (за измеренное значение принимается среднее значение).
3. Считывание информации с числового табло УИ-38 П2, а также коэффициента кодирования K_n и коэффициента фона проводится в экспоненциальном виде $y = \alpha^x$ (в виде десятичных логарифмов), например, 1,852 означает $1,85 \times 10^2 = 185$.

Практически число в 4-м разряде показывает, на сколько знаков нужно перенести вправо запятую.

Комбинация чисел на кодовом переключателе 231000 означает, что количество импульсов, которое будет подсчитано радиометром будет умножено на $2,3 \times 10^1$ (т.е. на 23).

4. Комбинацию чисел на кодовом переключателе набирают в соответствии с подсчитанным коэффициентом нормирования K_n . Этот коэффициент необходим для того, чтобы радиометр выдал информацию непосредственно в физических единицах (Бк/л или Бк/кг при измерении активности радионуклидов в пробах).

5. Рассчитываем коэффициент нормирования K_n для измерения активности пробы объемом в литр.

$K_n = I/P_i$, где I – имп/с (c^{-1}), P_i – чувствительность блока детектирования к радионуклиду. По паспорту чувствительность по цезию-137 равна 0,035 л/с·Бк, цезию-134 – 0,088 л/с·Бк.

Тогда K_n цезия-137 будет – $1/0,035 = 29$, т.е. $2,9 \times 10^1$;

K_n цезия 134 – $1/0,088 = 11$, т.е. $1,1 \times 10^1$.

6. При измерении активности проб, которые содержат смесь радионуклидов в известных отношениях, коэффициент нормирования K_n определяют по формуле: $K_n = 1/\sum P_i \cdot g_i$, где g_i – относительное содержание i -го радионуклида в пробе. В настоящее время отношение цезия-137 к цезию-134 в загрязненных продуктах питания чаще всего равно 5:1. Поэтому относительное содержание цезия-137 = $5/(5+1) = 0,83$; цезия-134 = $1/(5+1) = 0,17$.

Используя чувствительность по цезию-137 = 0,035 л/с·Бк и по цезию-134 = 0,086 л/с·Бк, находим

$$K_n = \frac{1}{(0,035 \times 0,83) + (0,088 \times 0,17)} = 22,722$$

Полученное число 22,722 округляем до двух высших значных порядков, т.е. до $2,3 \times 10^1$. Следовательно, на кодовом переключателе необходимо установить комбинацию чисел 2|3|1|0|0|0|, при этом на информационном табло измеренная активность будет выражена в Бк/кг.

7. Для измерения **РАДИАЦИОННОГО ФОНА** устанавливаем на кодовом информационном табло комбинацию чисел: 2|3|1|0|0|0|. Затем пустой контейнер устанавливаем на блок детектирования, закрываем створки и проводим 10 измерений радиационного фона:

1.	6,87	6.	8,71	6,	8	7	1	
2.	7,68	7.	9,28	т.е. $6,87 \times 10^1 = 68,7$ Бк/л				
3.	7,13	8.	6,28					
4.	7,27	9.	9,72	среднее значение – 80,4 Бк/л				
5.	9,80	10.	7,66					

В дальнейшем при измерении активности проб от полученной величины вычитаем значение радиационного фона – 80,4 Бк/кг.

ЗАНЯТИЕ №2

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОБ С ПОМОЩЬЮ РАДИОМЕТРА РУБ-01 П6

УЧЕБНАЯ ЦЕЛЬ: научиться проведению измерений радиоактивного загрязнения различных проб среды и продуктов.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕСТО: радиометрическая лаборатория.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: бета-радиометр РУБ-01 П6, таблицы, пробы почвы, воды, продуктов.

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Защита населения и сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения. Лежнев А.О. и др. – Мн.: «Ураджай». 1993. – С. 164–253.
2. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных обстоятельствах: Под ред. М.И. Постника. – Мн.: Універсітэцкае, 1997. – С. 52–119.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. – Мн. 1995. – 127 с.
4. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 102–196.
5. Постник М.И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных обстоятельствах. – Мн.: Выш. шк., 2003. – С. 130–160.
6. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. – М.: Энергоатомиздат 1991. – 64 с.
7. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность: Учебно-методический комплекс. – Витебск, 2004. – С. 19–52.
8. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. – Витебск, 2003. – 119 с.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ И РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ

1	Вступительная часть	5 мин
2	Проверка исходного уровня знаний по теме	15 мин
3	Порядок работы радиометра	10 мин
4	Измерение объемной активности проб жидкостей (воды и др.)	15 мин
5	Измерение удельной активности проб вязких и сыпучих продуктов.	20 мин
6	Измерение вклада калия-40 в активность проб	10 мин
7	Заключительная часть	5 мин

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Назначение и принцип работы радиометра РУБ-01 П6.
2. Работа органов управления прибора.
3. Подготовка радиометра к работе.
4. Проверка работы радиометра.
5. Определение радиационного фона блока детектирования.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К ТЕМЕ

ПОРЯДОК РАБОТЫ РАДИОМЕТРА

1. Все измерения должны проводиться не раньше, чем через 15 минут после включения радиометра.
2. При каждом измерении проводится не менее 10 замеров интенсивности импульсов, которые поступают из блока детектирования (за измеренное значение принимается среднее значение).
3. Считывание информации с числового табло УИ-38 П2; а также коэффициента кодирования K_n и коэффициента фона проводится в экспоненциальном виде $y = \alpha^x$ (в виде десятичных логарифмов), например, 1,8 | 5 | 2 означает $1,85 \times 10^2 = 185$. Практически число в 4-м разряде показывает, на сколько знаков нужно перенести вправо запятую.

Комбинация чисел на кодовом переключателе 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 означает, что количество импульсов, которое будет подсчитано радиометром будет умножено на $2,3 \times 10^1$ (т.е. на 23).

4. Комбинацию чисел на кодовом переключателе набирают в соответствии с подсчитанным коэффициентом нормирования K_n . Этот коэффициент необходим для того, чтобы радиометр выдал информацию непосредственно в физических единицах (Бк/л или Бк/кг при измерении активности радионуклидов в пробах).
5. Рассчитываем коэффициент нормирования K_n для измерения активности пробы объемом в литр.

$K_n = I/P_i$, где I – имп/с (c^{-1}), P_i – чувствительность блока детектирования к радионуклиду. По паспорту чувствительность по цезию-137 равна 0,035 л/с-Бк, цезию-134 – 0,088 л/с-Бк.

Тогда K_n цезия-137 будет – $1/0,035 = 29$, т.е. $2,9 \times 10^1$;

K_n цезия 134 – $1/0,088 = 11$, т.е. $1,1 \times 10^1$.

6. При измерении активности проб, которые содержат смесь радионуклидов в известных отношениях, коэффициент нормирования K_n определяют по формуле: $K_n = 1/\sum P_i \cdot g_i$, где g_i – относительное содержание i -го радионуклида в пробе. В настоящее время отношение цезия-137 к цезию-134 в загрязненных продуктах питания чаще всего равно 5:1. Поэтому относительное содержание цезия-137 = $5/(5+1) = 0,83$; цезия-134 = $1/(5+1) = 0,17$.

Используя чувствительность по цезию-137 = 0,035 л/с-Бк и по цезию-134 = 0,086 л/с-Бк, находим

$$K_n = \frac{1}{(0,035 \times 0,83) + (0,088 \times 0,17)} = 22,722$$

Полученное число 22,722 округляем до двух высших значных порядков, т.е. до $2,3 \times 10^1$. Следовательно, на кодовом переключателе необходимо установить комбинацию чисел 2|3|1|0|0|0|, при этом на информационном табло измеренная активность будет выражена в Бк/кг.

7. Для измерения **РАДИАЦИОННОГО ФОНА** устанавливаем на кодовом информационном табло комбинацию чисел: 2|3|1|0|0|0|. Затем пустой контейнер устанавливаем на блок детектирования, закрываем створки и проводим 10 измерений радиационного фона:

1.	6,87	6.	8,71	6, 8 7 1
2.	7,68	7.	9,28	т.е. $6,87 \times 10^1 = 68,7$ Бк/л
3.	7,13	8.	6,28	
4.	7,27	9.	9,72	среднее значение – 80,4 Бк/л
5.	9,80	10.	7,66	

В дальнейшем при измерении активности проб от полученной величины вычитаем значение радиационного фона – 80,4 Бк/кг.

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБ ВОДЫ

При измерении объемной активности проб жидкостей (воды, молока, кефира) заливают в контейнер 1л пробы, закрывают крышку, размещают контейнер на блоке детектирования, закрывают створки защиты и проводят 10 измерений в Бк/л. Мы исследуем водопроводную воду:

1.	8,46	6.	7,71	8, 4 6 1
2.	6,93	7.	6,74	т.е. $8,46 \times 10^1 = 84,6$ Бк/л.
3.	8,36	8.	1,08 2*	
4.	7,95	9.	1,05 2*	среднее значение – 83,6 Бк/л.
5.	6,91	10.	9,24	радиационный фон – 80,4 Бк/л.

Примечание: 2* – число в 4-м разряде, показывающее, что результат на табло нужно умножить на 10^2 (10^3), т.е. на 100.

Следовательно, загрязнение воды составляет $83,6 - 80,40 = 3,2$ Бк/л. Переводим результат в Ки/л ($3,2$ Бк/л $\times 0,27 \times 10^{-10} = 0,86 \times 10^{-10}$ Ки/л). По республиканским допустимым уровням 2000 г. допустимое содержание цезия в питьевой воде составляет 10 Бк/л ($2,7 \times 10^{-10}$ Ки/л).

Если величина активности измерений пробы менее 100 Бк/л, радиометр переводят в положение «б» (кнопку «δ %» нажимают и отпускают в момент включения светодиода «б») и проводят опять 10 измерений с определением средней величины. Измерения в этом случае будут более точными.

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБ ВЯЗКИХ И СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

Для измерения удельной активности проб вязких или сыпучих продуктов необходимо измерить вес пробы. Вначале производим взвешивание пустого контейнера – 275 г. Затем заполняем контейнер пробой (например, сушеными грибами) до высоты, которая не превышает 10–15 мм до верхнего среза контейнера. Взвешиваем контейнер с пробой – 475 г, следовательно, вес пробы – 200 г (0,20 кг). Закрываем контейнер крышкой, помещаем пробу в блок детектирования, закрываем створки защиты и производим 10 измерений.

1.	1,95	6.	1,80	1.	9	5	3	
2.	1,94	7.	1,84	т.е. $1,95 \times 10^3 = 1950$ Бк/кг				
3.	1,86	8.	1,54					
4.	2,22	9.	2,02	среднее значение – 1924 Бк/кг				
5.	1,83	10.	2,24	радиационный фон – 80,4 Бк/кг				

Следовательно, активность пробы равна 1924 Бк/кг – 80,4 Бк/кг (фон) = 1843,6 Бк/кг. Удельная активность этих продуктов рассчитывается по формуле:

$A_{уд} = A_{аб}/m$, где $A_{аб}$ – среднее значение активности пробы – Бк, m – масса пробы в кг. $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

$A_{уд} = 1843,6/0,20 = 9218 \text{ Бк/кг}$ или же $9218 \text{ Бк/кг} \times 2,7 \times 10^{-11} = 24,9 \times 10^{-9} \text{ Ки/кг}$.

Допустимая активность сушеных грибов – 2500 Бк/кг или же $6,7 \times 10^{-8} \text{ Ки/кг}$.

Таким же образом определяем удельную активность и других продуктов и веществ. Например, определяем активность 0,55 кг пшеницы:

1.	8,48	6.	9,00	8.	4	8	1	
2.	9,91	7.	7,55	т.е. $8,48 \times 10^1 = 84,8$ Бк/кг				
3.	8,33	8.	6,96					
4.	7,96	9.	8,20	среднее значение – 81,88 Бк/кг				
5.	9,94	10.	5,55	радиационный фон – 80,4 Бк/кг				

Активность пробы пшеницы равна 81,88 Бк – 80,4 (фон) = 1,48 Бк/кг.

Удельная активность равна $1,48 \text{ Бк} / 0,55 \text{ кг} = 2,7 \text{ Бк/кг}$ ($2,7 \text{ Бк/кг} \times 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки} = 2,19 \times 10^{-11} \text{ Ки/кг}$)

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПРОБ ПОЧВЫ

Проводим 10 измерений пробы почвы из г. Городка (1 кг).

1.	1,51	6.	1,57	1.	5	1	2	
2.	1,14	7.	1,77	т.е. $1,51 \times 10^2 = 151$ Бк/кг.				
3.	1,09	8.	2,24					
4.	1,54	9.	1,02	среднее значение – 155 Бк/кг				
5.	1,99	10.	1,63	радиационный фон – 80,4 Бк/кг				

Проводим 10 измерений пробы почвы из г. Жлобина (1 кг)

1.	2,67	6.	3,32	2,	6	7	2	
2.	2,54	7.	3,10	т.е. $2,67 \times 10^2 = 267$ Бк/кг				
3.	3,42	8.	2,85					
4.	3,22	9.	2,95	среднее значение – 303,4 Бк/кг				
5.	3,85	10.	3,42	радиационный фон – 80,4 Бк/кг				

Средняя величина радиационного фона – 80,4 Бк/кг, т.е. загрязненность почвы из Городка равна $155 \text{ Бк/кг} - 80,4 = 74,6 \text{ Бк/кг}$, почвы из Жлобина равна $303,4 - 80,4 = 223 \text{ Бк/кг}$.

ИЗМЕРЕНИЕ ВКЛАДА КАЛИЯ-40

Если удельная или объемная активность измеренных проб (за исключением воды) находится на уровне допустимой нормы или превышает ее, необходимо провести дополнительные измерения активности в режиме «К» для исключения вклада калия-40, который содержится в пробе.

Для этого нажимают кнопку «РЕЖИМ» и отпускают ее в момент включения светодиода «К». Устанавливают K_n равный 231. Контейнер с пробой устанавливают на блок детектирования, закрывают створки защиты и проводят 10 измерений, рассчитывая среднюю величину активности, т.е. определяем радиационный фон по калию.

1.	3,53	6.	5,14	3,	5	3	1	
2.	4,66	7.	6,73	т.е. $3,53 \times 10^2 = 353$ Бк/кг				
3.	5,60	8.	7,30					
4.	8,50	9.	5,22	среднее значение – 56,2 Бк/кг				
5.	4,82	10.	4,70	(радиационный фон по калию).				

Не изменяя коэффициент нормирования производят 10 измерений активности пробы почвы из г. Городка и рассчитывают ее удельную активность.

1.	9,81	6.	6,31	9,	8	1	1	
2.	9,82	7.	9,00	т.е. $9,81 \times 10^1 = 81,8$ Бк/кг				
3.	9,93	8.	9,35					
4.	8,39	9.	6,58	среднее значение – 87,7 Бк/кг.				
5.	8,53	10.	9,98	радиационный фон – 56,2 Бк/кг				

Таким образом, удельная активность почвы из Городка: $155 \text{ Бк/кг} - 80,4 \text{ Бк/кг} = 74,6 \text{ Бк/кг}$. Активность калия-40 равна активности почвы (режим «К») – $87,7 \text{ Бк/кг}$ минус активность фона по калию-40 – $56,2 \text{ Бк/кг}$, т.е. $31,5 \text{ Бк/кг}$. Значит, из общей активности в $74,6 \text{ Бк/кг}$ на долю калия-40 приходится $31,5 \text{ Бк/кг}$, на долю других радионуклидов $74,6 \text{ Бк/кг} - 31,5 \text{ Бк/кг} = 43,1 \text{ Бк/кг}$.

Аналогичным способом производят измерение активности калия-40 в пробе почвы из г. Жлобина.

1.	8,13	6.	1,07 2*	8,	1	3	1	
2.	1,42 2*	7.	1,39 2*	т.е. $8,13 \times 10^1 = 81,3$ Бк/кг				
3.	1,06 2*	8.	7,50					
4.	6,62	9.	9,00	среднее значение – 98,6 Бк/кг				
5.	8,27	10.	9,68	радиационный фон – 56,2 Бк/кг				

Удельная активность почвы из Жлобина: $303,4 \text{ Бк/кг} - 80,4 \text{ Бк/кг} = 223 \text{ Бк/кг}$. Активность калия-40: $98,6 \text{ Бк/кг} - 56,2 \text{ Бк/кг (фон)} = 42,4 \text{ Бк/кг}$. Следовательно, активность других радионуклидов в пробе почвы из г. Жлобина равна $223 \text{ Бк/кг} - 42,4 \text{ Бк/кг} = 180,6 \text{ Бк/кг}$.

ЗАНЯТИЕ № 3

БЫТОВЫЕ ДОЗИМЕТРЫ

УЧЕБНАЯ ЦЕЛЬ: научиться пользоваться бытовыми дозиметрами, проводить контроль радиационной обстановки.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕТОД: лабораторное занятие.

МЕСТО: радиометрическая лаборатория.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: дозиметры бытовые – «Мастер», РКСБ-104 «Радиян», РКС-107.

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Защита населения и сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения. Лежнев А.О. и др. – Мн.: «Ураджай», 1993. – С. 164–253.
2. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных обстоятельствах: Под ред. М.И. Постника. – Мн.: Універсітэцкае, 1997. – С. 52–119.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. – Мн. 1995. – 127 с.
4. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 102–196.
5. Постник М.И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных обстоятельствах. – Мн.: Выш. шк., 2003. – С. 130–160.
6. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. – М.: Энергоатом издат 1991. – 64 с.
7. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность: Учебно-методический комплекс. – Витебск, 2004. – С. 19–52.
8. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. – Витебск, 2003. – 119 с.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ И РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ

1	Вступительная часть	5 мин
2	Проверка исходного уровня знаний по теме	15 мин
3	Устройство дозиметра «Мастер», подготовка к работе и порядок работы с прибором	10 мин
4	Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104, его устройство, подготовка к работе	10 мин

5	Порядок работы РКСБ-104 в различных режимах	15 мин
6	Прибор комбинированный РКС-107, его устройство, подготовка к работе, порядок работы	20 мин
7	Заключительная часть	5 мин

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Характеристика и возможности дозиметрических приборов для населения.
2. Единицы активности радионуклидов.
3. Виды активности радионуклидов.
4. Единицы измерения основных дозиметрических величин.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К ТЕМЕ

ДОЗИМЕТРЫ БЫТОВЫЕ

ДОЗИМЕТР БЫТОВОЙ «МАСТЕР-1»

Дозиметр предназначен для пользования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в рабочих и жилых помещениях.

Прибор измеряет мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы в диапазоне от 0,10 до 9,99 мкЗв/ч (от 10 до 999 мкР/ч). Основная погрешность измерения мощности эквивалентной дозы $\pm 30\%$.

Для получения значения экспозиционной дозы гамма-излучения в мкР/ч необходимо мощность эквивалентной дозы в мкЗв/ч умножить на коэффициент 100.

Прибор **предназначен** для эксплуатации при температуре окружающего воздуха от минус 5 до плюс 40°C. Время определения мощности дозы 36 ± 5 с. Ресурс работы от одного комплекта питания не менее 300 часов. Срок службы прибора 6 лет.

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА. Прибор имеет портативное исполнение и предназначен для переноски и хранения в кармане одежды. Габариты прибора 123x40x14 мм, масса – 80 г. Включение питания прибора осуществляется автоматически с помощью металлической клипсы, расположенной с тыльной стороны прибора. С помощью этой же клипсы прибор крепится на одежде.

На передней панели прибора расположено цифровое табло для индикации результатов измерений и кнопка «ПУСК» для включения режима измерения. Расположение счетчика СБМ-20 – цилиндрический выступ вдоль длинной стороны корпуса прибора.

ПОДГОТОВКА И ПОРЯДОК РАБОТЫ ПРИБОРА

1. Установить источники питания. Для этого необходимо снять металлическую клипсу на тыльной стороне прибора, установить 4 элемента сп-32 (мц-0070), а затем установить металлическую клипсу.
2. Включить прибор, для чего освободить металлическую клипсу от изоляционного материала.
3. Для проверки работоспособности прибора провести пробное измерение, для чего нажать кнопку «ПУСК», при этом на цифровом табло должны появиться цифры, а справа от цифр мигающий знак «СЧ».
4. Через 36 с счет импульсов прекращается, о чем свидетельствует прекращение мигания знака «СЧ». Установившееся на табло значение показывает мощность эквивалентной дозы в мкЗв/ч.
5. Для выключения прибора необходимо ввести под клипсу изоляционный материал (закрепить на одежде).

При малых значениях эквивалентной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс показаний. Для более точного определения мощности эквивалентной дозы необходимо произвести несколько измерений и подсчитать среднесрифметическое значение.

В случае превышения мощности эквивалентной дозы более 9,99 мкЗв/ч показания сбрасываются путем нажатия кнопки «ПУСК» и счет продолжается со значения 0,00.

ПРИБОР КОМБИНИРОВАННЫЙ РКС-107

НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА

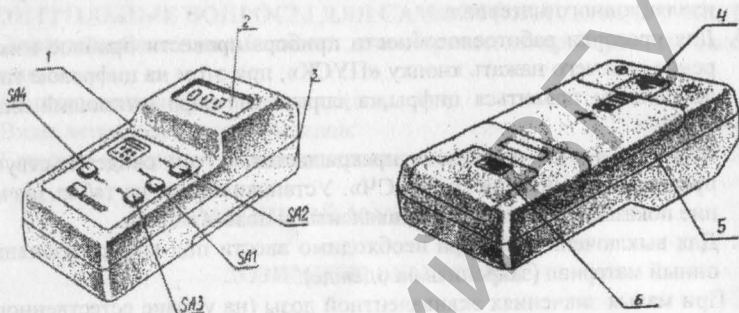
Прибор комбинированный РКС-107 является профессиональным и предназначен для индивидуального контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает измерение:

- мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в диапазоне 0,1–999 мкЗв/ч;
- удельной активности радионуклида цезий-137 в водных растворах в диапазоне 2–9990 Бк/г;
- плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 + иттрия-90 в диапазоне 0,1–999 л/(с·см²);
- индикации о превышении пороговых значений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, равных 0,6 мкЗв/ч и 1,2 мкЗв/ч.

Масса прибора – 0,45 кг, габаритные размеры в мм – 160х82х45. Для питания прибора используются аккумуляторные батареи «Ника» и др. Допустимая погрешность измерений в пределах ± 20 –25%.

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА

Прибор состоит из корпуса (1) и крышки (3), скрепленных между собой. К крышке крепятся еще две легкоъемные крышки — отсека питания (6) и крышка-фильтр (5).



На лицевой панели прибора имеется окно для индикатора и четыре кнопки:

- «ВКЛ» (SA3) — для включения прибора;
- «Режим» (SA1) — для выбора режима работы;
- «Пуск» (SA2) — для пуска счетной схемы;
- «ВЫКЛ» (SA4) — для выключения прибор.

В средней части крышки (3) имеется крышка-фильтр (5) для выравнивания энергетической зависимости показаний прибора при его работе в режиме измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. При работе прибора в режиме радиометра эта крышка снимается, счетчики излучений оказываются закрытыми только пленочными фильтрами.

Батарея аккумуляторная для питания прибора устанавливается в нижней отсек крышки (3), закрываемый съемной крышкой (6) и подключается к контактам печатной платы. До начала эксплуатации батарея должна быть заряжена с помощью зарядного устройства, входящего в комплект прибора.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

При включении прибора кнопкой «ВКЛ» (SA3) и попадании в рабочие объемы газоразрядных счетчиков (детекторов) гамма-квантов или бета-частиц в счетчиках появляются импульсы, частота следования которых пропорциональна измеряемой мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (или плотности потока бета-излучения с поверхности, или удельной активности). Эти импульсы при нажатии кнопки «ПУСК» (SA2) подаются на счетную схему, которая обеспечивает прямой отсчет показа-

ний в единицах мощности эквивалентной дозы, плотности потока частиц и уменьшенных в десять раз показаний в единицах удельной активности. Указатель единицы измерения индицируется на цифровом табло жидкокристаллического индикатора. Требуемый режим измерения (и единица измерения) выбирается нажатием кнопки «Режим» (SA1).

В процессе счета появляется точка между первым и вторым разрядами индицируемого числа и начинает пульсировать черный сегмент, указывающий режим работы и единицу измерения.

При управлении прибором и нажатии кнопок специальный генератор звуковой частоты формирует кратковременный звуковой сигнал.

При поступлении от детекторов импульсов с частотами, превышающими верхние значения диапазонов измерений на табло индицируется символ «÷».

На крышке фильтра нанесены знаки:

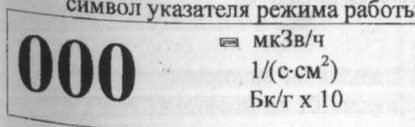
«▼» — показывает направление перемещения запирающей защелки при снятии крышки-фильтра;

«+» — указывает центр плоскости расположения детекторов излучения (от него рассчитываются расстояния до образцовых и контрольных гамма-источников при градуировке и поверке работы).

На крышке отсчета питания указана стрелка «↓», показывающая направление перемещения этой крышки при ее снятии.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

1. До начала работы ознакомиться с назначением прибора, его техническими данными и характеристиками, а также с методиками проведения измерений.
2. Перед началом работы извлечь прибор из упаковки, осмотреть его и убедиться в отсутствии видимых механических повреждений корпуса (1), крышек (3,4,5,6), органов управления (кнопок «Режим» - SA1, «Пуск» - SA2, «ВКЛ» - SA3, «Выкл» - SA4), жидкокристаллического индикатора (2).
3. Извлечь из упаковки батарею аккумуляторную «Ника» и зарядить ее при помощи устройства зарядного. Вставить батарею в отсек, подключив ее к контактам прибора.
4. Проверить работоспособность прибора, для чего необходимо:
 - нажать кнопку включения «ВКЛ», при этом на табло жидкокристаллического индикатора должны появиться символы «000» и рядом с надписью мкЗв/ч (режим измерения мощности эквивалентной дозы) символ указателя режима работы;



- нажать кнопку «ПУСК», при этом на табло появится точка между 1-ым и 2-ым цифровыми символами и начнет пульсировать указатель режима работы. Через $53 \pm 1,2$ с прибор должен зарегистрировать значение мощности эквивалентной дозы внешнего фона гамма-излучения в мкЗв/ч. В момент регистрации измеренной величины раздается кратковременный звуковой сигнал. Указатель режима работы перестает пульсировать, показания устанавливаются и остаются до повторного нажатия кнопки «ПУСК» автоматического выключения прибора, или прибор выключается нажатием кнопки «ВЫКЛ».

0.00

мкЗв/ч
1/(с·см²)
Бк/г х 10

Прибор работоспособен, если он проводит измерение гамма-фона излучения, индицирует результат не менее 20 с, символ разряда батареи отсутствует, а прибор автоматически отключается не позднее чем через 30 мин.

Аналогично проводится проверка работоспособности прибора при других положениях указателя режима его работы (измерение активности радионуклида цезий-137 – «Бк/г х 10», измерение плотности потока бета-излучения – «1/(с·см²)»). Режим работы выбирается нажатием кнопки «Режим». Время измерения будет равным соответственно (245 ± 6) с и ($37 \pm 1,0$) с.

ПОРЯДОК РАБОТЫ ПРИБОРА

1. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Включить прибор, нажав кнопку «ВКЛ» (SA3). При каждом включении прибора раздается кратковременный звуковой сигнал, а на табло появляются символы «000», а рядом с надписью «мкЗв/ч» – символ указателя режима работы.

000

мкЗв/ч
1/(с·см²)
Бк/г х 10

2. Нажать кнопку «ПУСК» (SA2). При каждом нажатии кнопки также раздается кратковременный звуковой сигнал, а на табло жидкокристаллического индикатора появляется точка.

0.00

мкЗв/ч
1/(с·см²)
Бк/г х 10

Указатель режима работы начинает пульсировать, а прибор начнет регистрировать измеряемую величину (мощность эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения в мкЗв/ч).

В конце цикла измерения (через $53 \pm 1,2$ с) вновь раздается кратковременный звуковой сигнал, указатель режима перестает пульсировать, а на табло отображается результат измерения, например, 0,12 мкЗв/ч).

0.12 мкЗв/ч
 $1/(с \cdot см^2)$
 Бк/г $\times 10$

3. При малых значениях мощности эквивалентной дозы для получения более точного результата измерения целесообразно снять несколько отсчетов показаний прибора и определить среднее арифметическое значение. При этом выключать и повторно включать прибор нет необходимости, после индикации результата измерения одного отсчета нужно лишь нажать кнопку «ПУСК» (SA2) и дождаться повторного результата измерения. Рекомендуется снимать не менее 5-ти отсчетов показаний $(1,20 + 1,60 + 1,40 + 1,20 + 1,60 = \text{среднее арифметическое} - 1,50 \text{ мкЗв/ч})$.
4. Выключить прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ» (SA4).

II. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДА ЦЕЗИЙ-137 В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

1. Снять заднюю крышку-фильтр.
2. Заполнить измерительную кювету (половину упаковки прибора) заранее подготовленной чистой в радиационном отношении водой до метки-буртика внутри кюветы. Установить прибор на кювету.
3. Включить прибор кнопкой «ВКЛ» (SA3). Нажав дважды кнопку «РЕЖИМ» (SA1), установить указатель режима работы прибор в положение «Бк/г $\times 10$ ».

000 мкЗв/ч
 $1/(с \cdot см^2)$
 Бк/г $\times 10$

4. Нажать кнопку «ПУСК» (SA2). После звукового сигнала окончания цикла измерения (через 240 ± 6 с) снять отсчет фонового показания прибора, например $0,51 \text{ Бк/г} \times 10 = 5,1 \text{ Бк/г} = 5100 \text{ Бк/кг}$.

0.51 мкЗв/ч
 $1/(с \cdot см^2)$
 Бк/г $\times 10$

Повторить измерение не менее 5 раз, найти среднее арифметическое, результат умножить на 10, получив результат фонового показания (A_f) в Бк/г.

5. Выключить прибор, нажав кнопку «**ВЫКЛ**» и снять его с кюветы.
6. Вылить воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым водным раствором до той же метки.
7. Вновь установить прибор на кювету, включить прибор кнопкой «**ВКЛ**» (SA3). Нажав дважды кнопку «**РЕЖИМ**», установить указатель режима работы прибора в положение «Бк/г x 10»

Нажать кнопку «**ПУСК**» (SA2). После звукового сигнала окончания цикла измерения (через 240 ± 6 с после нажатия кнопки) снять отсчет фонового показания прибора. Например, он равен 0,94 Бк/г x 10.

0.94	мкЗв/ч
	$1/(с \cdot см^2)$
	$\equiv$ Бк/г x 10

При малых значениях удельной активности радионуклида цезий-137 рекомендуется снять не менее 5-ти отсчетов показаний, найти их среднее арифметическое и умножить его на 10. Результат (A_n) будет в Бк/грамм.

8. По формуле $A = A_n - A_f$ рассчитать величину удельной активности радионуклида цезий-137 в водном растворе:

- в беккерелях на грамм $A = 9,4 - 5,1 = 4,3$ Бк/г;
- в беккерелях на килограмм (результат надо умножить на 1000): $A = 4,3 \times 1000 = 4300$ Бк/кг;
- в кюри на килограмм (результат надо умножить на $2,7 \times 10^{-11}$): $A = 4300 \times 2,7 \times 10^{-11} = 11,61 \times 10^{-7}$ Ки/кг.

9. Снять прибор с кюветы, выключить прибор, нажав кнопку «**ВЫКЛ**», установить крышку-фильтр на прежнее место. Кювету просушить и при необходимости дезактивировать с применением синтетических моющих средств.

III. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ СТРОНЦИЯ – 90+ ИТТРИЯ-90

1. Включить прибор, нажав кнопку «**ВКЛ**» (SA3).
2. Нажать кнопку «**Режим**» (SA1), установив указатель работы прибора в положение « $1/(с \cdot см^2)$ ».

000	мкЗв/ч
	$\equiv 1/(с \cdot см^2)$
	Бк/г x 10

3. Расположить прибор на расстоянии не менее 150 см от исследуемой поверхности и нажать кнопку «**ПУСК**» (SA2). В конце цикла измерения (через $37 \pm 1,0$ с) раздастся кратковременный сигнал, указатель режима

прекращает пульсировать, а на табло отображается результат измерения, например, $0,09 \text{ 1/(с·см}^2\text{)}$.

0.09

мкЗв/ч
 $\equiv 1/(\text{с·см}^2)$
 Бк/г x 10

Повторить измерения не менее 5-ти раз и найти среднее арифметическое в бета-частицах в секунду с квадратного сантиметра.

4. Выключить прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ» (SA4).
5. Снять заднюю крышку-фильтр (рис 1). Поднести прибор к исследуемой поверхности на расстояние не менее 1 см от нее.
6. Включить прибор, нажав кнопку «ВКЛ» (SA3).
7. Кнопкой «РЕЖИМ» (SA1) установить режим « $1/(\text{с·см}^2)$ ». Нажать кнопку «ПУСК» (SA2), снять показания прибора (например, $0,24 \text{ 1/(с·см}^2\text{)}$).

0.24

мкЗв/ч
 $\equiv 1/(\text{с·см}^2)$
 Бк/г x 10

8. При малых значениях измеряемой величины плотности потока излучения с поверхности сделать не менее 5-ти измерений и найти их среднее арифметическое (S_n).
9. Определить загрязненность поверхности бета-излучающими радионуклидами стронция-90 + иттрия-90 характеризующуюся величиной плотности потока бета-частиц с поверхности (S_n) по формуле $S_n = S_n - S_{\text{ф}}$, где S_n – измеренное значение плотности потока излучения с поверхности, а $S_{\text{ф}}$ – фоновое показание прибора в бета-частицах в секунду (минуту) с квадратного сантиметра. Например, $S_n = 0,24 - 0,09 = 0,15 \cdot (1/\text{с·см}^2)$ или $S_n = 0,15 \times 60 = 9 \text{ (1/мин·см}^2\text{)}$.
10. Выключить прибор кнопкой «ВЫКЛ» (SA4). Установить крышку-фильтр на место.

IV. ИНДИКАЦИЯ ПРЕВЫШЕНИЯ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

1. При измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения $0,6 \text{ мкЗв/ч}$ и выше (до $1,2 \text{ мкЗв/ч}$) после повторного нажатия кнопки «ВКЛ» (SA3) на табло индикатора высвечивается символ «~», цифры (например $0,84 \text{ мкЗв/ч}$) и включается звуковой сигнал:

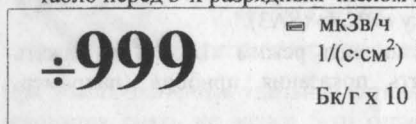
~0.84

мкЗв/ч
 $\equiv 1/(\text{с·см}^2)$
 Бк/г x 10

2. При измерении величин мощности эквивалентной дозы гамма излучения, равных или превышающих 1,2 мкЗв/ч, на табло индикатора после повторного нажатия кнопки «ВКЛ» (SA3) символ «~» начинает пульсировать, увеличивается частота звукового сигнала.



3. При перегрузке прибора счетной информацией, когда измеряемая величина превышает значения верхних пределов диапазонов измерений, на табло перед 3-х разрядным числом появляется символ «÷».



4. При разряде аккумуляторной батареи «Ника» до напряжения ниже $7 \pm 0,5$ В. На табло индикатора появляется символ «».



Прибор нужно выключить, извлечь батарею и зарядить ее при помощи устройства зарядного. Для этого батарею вставляют в контакты зарядного устройства (соблюдая полярность подключения) и включают устройство зарядное в сетевую розетку. При этом устройство выдает световой сигнал начала зарядки батареи. Зарядка производится в течение 14-часов.

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ РКСБ-104 «РАДИАН»

НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА

Прибор предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности эквивалентной дозы гамма-излучения;
- удельной активности радионуклида цезия-137 в веществах;
- плотности потока бета-излучения с поверхности.

Кроме того, прибор обеспечивает звуковую сигнализацию при превышении порогового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, установленного потребителем. Масса прибора – 0,35 кг, габаритные размеры в мм – 153x77x39.

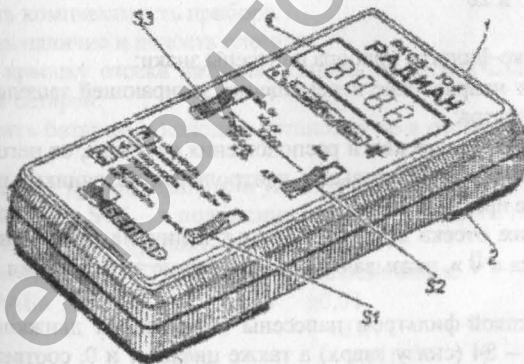
Прибор является бытовым, поэтому результаты измерений, полученных с его помощью, не могут быть использованы для выдачи официальных заключений о радиационной обстановке.

Диапазон измерений:

- мощности эквивалентной дозы гамма-излучения от 0,1 до 99,9 мкЗв/ч, что соответствует мощности экспозиционной дозы от 10 до 9999 мкР/ч; (9,999 мР/ч);
- удельной активности радионуклида цезия-137 в диапазоне $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^6$ Бк/кг ($5,4 \cdot 10^{-8} - 5,4 \cdot 10^{-5}$ Ки/кг);
- плотности потока бета-излучения с поверхности по стронцию-90 и иттрию-90 – 0,1-99,99•1/(с•см²) (частиц в секунду с квадратного сантиметра).

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА

Прибор состоит из корпуса и крышки, скрепленных между собой. К крышке крепятся еще две легкосъемные крышки – отсека питания и крышка-фильтр. На лицевой панели корпуса прибора имеется окно для индикатора, три тумблера – для включения прибора и выбора режима работы (S1, S2, S3).



В верхней части лицевой панели прибора на корпусе имеется обозначение типа прибора по государственному реестру – **РКСБ-104 РАДИАН**.

В нижней части этой панели, слева – обозначения, принятые для измерения величин, и их сокращенные наименования:

H – мощность эквивалентной дозы;

Ф – плотность потока;

Am – удельная активность.

Условные наименования указанных величин: мкЗв/ч , $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$, Бк/кг размещаются в один ряд под четырьмя разрядами индикатора, на которых появляется измерительная информация (4-разрядные числа).

0

Под 1-ым, старшим разрядом индикатора нанесен знак «0 0» переполнения индикатора, на табло при этом переполнении появляется символ: «÷».

Под последним, младшим разрядом индикатора нанесен знак «-|—», при разряде батареи питания до напряжения 6,0 В на этом разряде индикатора появляется символ «V».

В средней и нижней частях лицевой панели прибора нанесены обозначения положения тумблеров:

- S3, задающего поддиапазон (время) измерения;
- S2, выбирающего режим работы;
- S1, устанавливающего включение-выключение прибора.

	x 0,01			
	x 0,01		"Раб"	"Вкл"
S3	x 200	S2		S1
	x 0,001		"Деж"	"Выкл"
	x 0,001			
	x 20			

На крышке-фильтре прибора нанесены знаки:

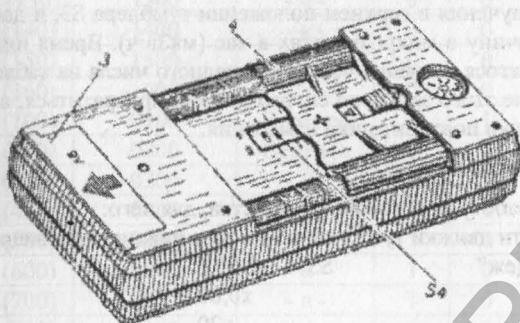
∇ — показывает направление перемещения запирающей защелки при снятии крышки-фильтра;

+ — указывает центр плоскости расположения счетчика, от него рассчитывается расстояние до образцовых и контрольных источников при градуировке и поверке прибора.

На крышке отсека питания указаны: величина напряжения батареи «9V» и стрелка «↓», указывающая направление этой крышки при ее снятии.

Под крышкой-фильтром нанесены обозначения движков кодового переключателя — S4 (снизу вверх) а также цифры 1 и 0, соответствующие положением движков.

S4.1 — 800	- 1	S4.5 — БД	- 1
S4.2 — 400	- 1	S4.6 — Н	- 1
S4.3 — 200	- 1	S4.7 — ф	- 0
S4.4 — 100	- 1	S4.8 — Ам	- 0



ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

До начала работы с прибором необходимо ознакомиться с назначением прибора, его техническими данными и характеристиками, устройством и принципом действия, а также с методиками проведения измерений.

Последовательность подготовки прибора к работе следующая:

1. Извлечь прибор из упаковки и убедиться в отсутствии видимых механических повреждений корпуса, крышек, жидкокристаллического индикатора и органов управления;
2. Проверить комплектность прибора.
3. Проверить наличие и целостность пломбы.
4. Открыть крышку отсека питания, извлечь из отсека колодку для подключения батареек.
5. Подключить батарею к колодке, установив ее в отсек, закрыть крышку отсека.
6. Снять заднюю крышку-фильтр и установить движки кодового переключателя S4: S4.1 – S4.6 – в положение «I», S4.7 – S4.8 – в положение «0»; установить на место крышку-фильтр.
7. Перевести тумблеры S2 и S3 – в верхнее положение

S2 «РАБ»	S3
	x0,01
	x0.01
	x200.
8. Проверить работоспособность измерительной схемы прибора, для чего:
 - а. Перевести тумблер S1 в верхнее положение «ВКЛ», при этом прибор должен начать регистрировать внешний радиационный фон.
 - б. Примерно через 28 с после включения прибор должен выдать прерывистый звуковой сигнал и индицировать в правом нижнем углу табло индикатора символ «F», при этом на табло индикатора также должно индицироваться (установиться) четырехразрядное число, значащая часть которого, умноженная на пересчетный коэффициент, равный 0,01 при измерениях мощности эквивалентной дозы внешнего фона

гамма-излучения в верхнем положении тумблера S3, и даст измеренную величину в микрозивертах в час (мкЗв/ч). Время индикации установленного значения четырехразрядного числа на табло — порядка 14 с, после этого звуковой сигнал должен прекратиться, а прибор автоматически повторит цикл измерения.

в. Выключить прибор.

9. Проверить работу порогового устройства, для чего:

а. Перевести тумблеры S2 и S3 в нижние положения

S2 "Деж" S3 $\times 0,001$
 $\times 0,001$
 $\times 20$

б. Включить прибор тумблером S1. В течение порядка 280 с на табло будет индуцироваться возрастающие значения 4-разрядного числа. В момент превышения их значения 0100±0010 (что соответствует порогу срабатывания сигнализации, установленному ранее и равному 0,1мкЗв/ч) прибор должен выдать непрерывный звуковой сигнал. Увеличение числа на табло будет продолжаться до окончания цикла измерения. Выключение звукового сигнала должно произойти после двукратного превышения установленного порога срабатывания сигнализации или после завершения цикла измерения.

в. Выключить прибор.

г. Установить требуемую величину порога срабатывания сигнализации по мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (из возможных значений порога в нижеприведенной таблице).

Величина порога срабатывания сигнализации мкЗв/ч (мкР/ч)	Соответствующая порогу величина показаний индикатора	Положения S3	Положения S4			
			S4.1	S4.2	S4.3	S4.4
			800	400	200	100
0,1 (10)	0100	Нижнее	1	1	1	1
0,2 (20)	0200	- « -	1	1	1	1
0,3 (30)	0300	- « -	1	1	0	1
0,4 (40)	0400	- « -	1	1	0	0
0,5 (50)	0500	- « -	1	0	1	1
0,6 (60)	0600	- « -	1	0	1	1
0,7 (70)	0700	- « -	1	0	0	1
0,8 (80)	0800	- « -	1	0	0	0
0,9 (90)	0900	- « -	0	1	1	1
1,0 (100)	1000	- « -	0	1	1	0
1,1 (110)	1100	- « -	0	1	0	1
1,2 (120)	1200	- « -	0	1	0	0

1,3	(130)	1300	- « -	0	0	1	1
1,4	(140)	1400	- « -	0	0	1	0
1,5	(150)	1500	- « -	0	0	1	0
1,6	(160)	1600	- « -	0	0	0	0
1	(100)	0100	Верхнее	1	1	1	1
2	(200)	0200	Верхнее	1	1	1	0
3	(300)	0300	- « -	1	1	0	1
4	(400)	0400	- « -	1	1	0	0
5	(500)	0500	- « -	1	0	1	1
6	(600)	0600	- « -	1	0	1	0
7	(700)	0700	- « -	1	0	0	1
8	(800)	0800	- « -	1	0	0	0
9	(900)	0900	- « -	0	1	1	1
10	(1000)	1000	- « -	0	1	1	0
11	(1100)	1100	- « -	0	1	0	1
12	(1200)	1200	- « -	0	1	0	0
13	(1300)	1300	- « -	0	0	1	1
14	(1400)	1400	- « -	0	0	1	0
15	(1500)	1500	- « -	0	0	0	1
16	(1600)	1600	- « -	0	0	0	0

ПОРЯДОК РАБОТЫ ПРИБОРА

I. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Снять заднюю крышку-фильтр и установить движки кодового переключателя в крайнее положение до упора: S4.8 – 0; S4.7 – 0; S4.6 – 1,0; S4.5 – 1,0. Положение движков S4.1–S4.4 могут быть произвольными.
2. Установить крышку-фильтр на прежнее место.
3. Перевести тумблеры S2 и S3 в верхние положения:
S2 в положение «РАБ», S3 в положение $\times 0,01$,
 $\times 0,01$,
 $\times 200$
4. Включить прибор тумблером S1, переведя его в верхнее положение «ВКЛ». Через 27–28 с прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло индикатора индицируется символ «F» и устанавливается (отображается) четырехзначное число. Для определения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (в мкЗв/ч) нужно умножить значащую часть этого числа на пересчетный коэффициент, равный 0,01.

Например, на табло индицировано число «0016» (значащая часть равна 16), пересчетный коэффициент для верхнего положения тумблера «0,01», полученный результат $0016 \times 0,01 = 0,16$ мкЗв/ч (что соответствует

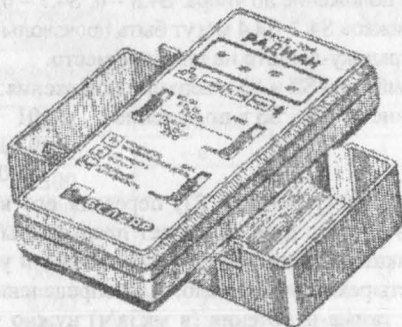
мощности экспозиционной дозы в 16 мкР/ч), т.е. значимая часть 4-разрядного числа табло соответствует мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час (мкР/ч).

Для получения более точного результата измерения при величине мощности эквивалентной дозы гамма-излучения менее 10 мкЗв/ч нужно повторить измерение при нижнем положении тумблера S3 (положение остальных органов управления не изменяется). Время измерения при этом увеличивается до 270–280 с. Показания прибора умножают на 0,001. Например, $0182 \times 0,001 = 0,182$ мкЗв/ч (что соответствует величине мощности экспозиционной дозы в 18,2 мкР/ч).

В нижнем положении тумблера S3 значащая часть 4-разрядного числа, индицируемого на табло в момент окончания цикла измерения, соответствует умноженной на 10 величине мощности экспозиционной дозы гамма излучения в мкР/ч.

II. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ (ОБЪЕМНОЙ) АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДА ЦЕЗИЯ-137

1. Снять заднюю крышку-фильтр.
2. Перевести движки кодового переключателя S4 в прежнее положение до упора; S4.8 – “1”, S4.7 – “0”, S4.6 – “0”, S4.5 – “1” (положение S4.1–S4.4 могут быть произвольными)
3. Установить: – тумблер S2 в верхнее положение – “РАБ”
– тумблер S3 – в нижнее положение : $\times 0,001$
 $\times 0,001,$
 $\times 20$



4. Заполнить измерительную кювету (половину упаковки) заведомо чистой в радиационном отношении водой до метки-буртика внутри кюветы и установить прибор на кювету (поперек).

5. Включить прибор тумблером S1, переведя его в положение «ВКЛ». Снять 5 отсчетов показаний прибора, соответствующих собственному фону прибора ($A_{\phi-1}$, $A_{\phi-2}$, $A_{\phi-3}$, $A_{\phi-4}$, $A_{\phi-5}$). Для уменьшения общего времени измерения после снятия очередного отсчета показаний нужно произвести выключение и включение прибора. Выключить прибор (тумблер S1 перевести в положение «ВЫКЛ»).
6. Рассчитать среднее арифметическое фоновых показаний:

$$A_{\phi} = \frac{A_{\phi 1} + A_{\phi 2} + A_{\phi 3} + A_{\phi 4} + A_{\phi 5}}{5},$$

где $A_{\phi 1}$, $A_{\phi 2}$ и т.д. — отдельные фоновые показания прибора при пяти отсчетах.

7. Вылить воду из кюветы, просушить последнюю и заполнить исследуемым веществом (раствором) до той же метки.

8. Вновь установить прибор на кювету и включить его (тумблером S1). Снять 5 отсчетов показаний прибора (A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5), рассчитать среднее арифметическое показаний прибора ($A_{изм}$).

9. Рассчитать по формуле: $A_m = K_2 (A_{изм} - A_{\phi})$ величину удельной активности радионуклида цезий-137 в веществе (в Бк/кг), где K_2 — пересчетный коэффициент, равный 20 (для нижнего положения тумблера S3, для верхнего положения тумблера пересчетный коэффициент равен 200).

Для получения удельной активности в кюри на килограмм результат предыдущего расчета нужно умножить на $2,7 \cdot 10^{-11}$ (1Бк = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки). Например, показания прибора при исследовании пробы следующие: 0428, 0412, 0392, 0404, 0398 (среднее арифметическое значение части равно 406,8). Удельная активность в Бк/кг равна $A_m = 20 \times (406,8 - 223,2) = 3672$ Бк/кг; переведем в Ки/кг. $A_m = 3672 \times 2,7 \times 10^{-11} = 9,9 \times 10^{-8}$ Ки/кг. Среднее арифметическое значение фона:

$$A_m = \frac{190 + 214 + 256 + 221 + 235}{5} = 223,2 \text{ Бк / кг}$$

Примечание: Для определения удельной активности проб веществ с различным радионуклидным составом (цезий-137, стронций-90+итрий-90 и др.) необходимо использовать другие значения пересчетного коэффициента K_2 , которые определяются в исследовательских лабораториях.

При переполнении табло счетной информацией, когда на нем индицируется 4-разрядные числа, превышающие 9999, а перед числом появляется символ «÷» («÷0132», например), измерение удельной активности нужно повторить при верхнем положении тумблера S3:

x0,01

x0,01

x200

В этом случае при расчете удельной активности радионуклида цезий-137 в формулу $A_m = K_2 (A_{изм} - A_{\phi})$ следует подставить значение $K_2 = 200$.

III. ИЗМЕРЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕТА-ИЗЛУЧАЮЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ

1. Снять заднюю крышку-фильтр.
2. Перевести движки кодового переключателя S4 в крайнее положение до упора: S4.8 – 0, S4.7 – 1, S4.6 – 0, S4.5 – 1 (положения движков S4.1–S4.4. могут быть произвольным). Установить крышку-фильтр на прежнее место.
3. Перевести тумблеры S2 и S3 в верхнее положение:
S2 – “РАБ”, S3 – x0,001

x0,01

x200

4. Поднести прибор к исследуемой поверхности, поместив между ними пластмассовую упаковку, или удалить прибор от этой поверхности на расстоянии 110–120 см.
5. Выключить прибор тумблером S1, установив его в положение «ВКЛ».
6. Снять фоновое показание прибора (ϕ_f), которое установится на табло через интервал времени в 18 с после включения прибора. Например, $\phi_f = 0018$.
7. Выключить прибор, установив тумблер S1 в положение «ВЫКЛ».
8. Снять заднюю крышку-фильтр и поместить прибор над исследуемой поверхностью на расстоянии не более 1 см.
9. Включить прибор тумблером S1. Записать показания прибора – 0243 ($\phi_{изм}$), установившееся во время действия прерывистого звукового сигнала.
10. Определить величину загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами, которая характеризуется величиной плотности потока бета-излучения с поверхности (ϕ), по формуле:

$$\phi = K_1 (\phi_{изм} - \phi_f),$$

где ϕ – плотность потока бета-излучения с поверхности в частицах в секунду с $1\text{см}^2 - 1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$,

K_1 – коэффициент, равный 0,01,

ϕ_u – показания прибора со снятой крышкой,

ϕ_f – показания прибора, соответствующее внешнему радиационному фону гамма-излучения.

Например: $\phi_f = 0018$; $\phi_{изм} = 0243$;

$$\phi = 0,01 (243 - 18) = 2,25 \cdot 1/(\text{с} \cdot \text{см}^2).$$

При необходимости можно перейти к другой единице (бета-частицам в минуту с 1см^2);

$$\phi = 2,25 \times 60 = 135 \text{ б-частиц/мин } 1\text{см}^2.$$

Для получения более точного результата измерения при величинах плотности потока бета-излучения с поверхности менее $10 \cdot 1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$, т.е. 600 б-частиц/мин 1см^2 необходимо повторить измерения при нижнем положении тумблера S3 x0,001

x0,001

x20

Положение остальных органов управления прибором не изменяется. В этом случае разность показаний ($\Phi_{изм} - \Phi_{ф}$) следует умножить на коэффициент 0,001 – получится результат измерения в частицах в секунду с квадратного сантиметра. Для получения плотности потока в частицах в минуту с квадратного сантиметра результат измерения надо умножить на 60.

IV. УСТАНОВКА ПОРОГА СРАБАТЫВАНИЯ СИГНАЛИЗАЦИИ

1. Снять крышку-фильтр.
2. Перевести движки кодового переключателя S4.5 – S4.8 в крайние положения до упора.
3. Для установки нужного порога срабатывания сигнализации перевести тумблер S3 и движки S4.1–S4.4 кодового переключателя в соответствующие положения. Так, для порогового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения 1,1 мкЗв/ч (110 мкР/ч) положение движков следующее: S4.1 – 0, S4.2 – 1, S4.3 – 0, S4.4 – 1. Положение тумблера S3 – нижнее.
4. Установить крышку-фильтр на прежнее место. Перевести тумблер S2 в нижнее положение (“ДЕЖ”) и включить прибор. При превышении внешним фоном гамма-излучения величины, которая соответствует установленному порогу, прибор выдаст непрерывный звуковой сигнал.

Приложение

РЕСПУБЛИКАНСКИЕ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ (ЦЕЗИЯ-137) В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

№	Наименование продукта	Бк/кг, Бк/л
1.	Вода питьевая	10
2.	Молоко и цельномолочная продукция	100
3.	Молоко сгущенное и концентрированное	200
4.	Творог и творожные изделия	50
5.	Сыры сычужные и плавленые	50
6.	Масло коровье	100
7.	Мясо и мясные продукты, в том числе:	
7.1.	Говядина, баранина и продукты из них	500
7.2.	Свинина, птица и продукты из них	180
8.	Картофель	80
9.	Хлеб и хлебобулочные изделия	40
10.	Мука, крупы, сахар	60
11.	Жиры растительные	40
12.	Жиры животные и маргарин	100

13.	Овощи и корнеплоды	100
14.	Фрукты	40
15.	Садовые ягоды	70
16.	Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод	74
17.	Дикорастущие ягоды и конс. продукты из них	185
18.	Грибы свежие	370
19.	Грибы сушеные	2500
20.	Детское питание	37
21.	Прочие продукты питания	370
22.	Продукты питания менее 5 кг в год (специи, чай, мед и др.)	3700

Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача РБ № 16 от 26 апреля 1999 г. в соответствии с законом РБ «О санитарно-эпидемическом благополучии населения».

ЗАНЯТИЕ №4

(семинар №1)

РАДИОАКТИВНОСТЬ И СВОЙСТВА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ: 1. Изучить основы ядерной физики, понятие о радиоактивности, ядерных и термоядерных реакциях.

2. Изучить основные свойства ионизирующих излучений и их взаимодействие с веществом.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕТОД: семинарское занятие.

МЕСТО: учебный класс.

Вопросы семинарского занятия:

1. Строение атома, атомного ядра. Нуклиды, изотопы.
2. Радиоактивность, типы радиоактивности.
3. Ядерные и термоядерные реакции.
4. Закон радиоактивного распада. Период полураспада радионуклидов.
5. Основные свойства ионизирующих излучений.
6. Характеристика альфа-, бета-, гамма-излучений.
7. Взаимодействие радиоактивных излучений с веществом.

Рефераты:

1. Основы ядерной физики.
2. Характеристика ионизирующих излучений.

ЛИТЕРАТУРА для самостоятельной работы студентов:

а) основная

1. Ветрова В.Т., Колесник А.В. и др. Курс радиационной безопасности. – Мн.: Ураджай, 1995. – С. 5–56.
2. Галицкий Э.А., Забелин Н.Н. и др. Основы радиационной безопасности. – Гродно, ГрГУ, 2001. – С. 6–23.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. – Мн.: Выш. шк., 1995. – С. 6–23.
4. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2003. – С. 6–30.
5. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2004. – С. 19–30.

б) дополнительная:

1. Ковалев С.Д. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязненных радионуклидами: Уч. пособие. – Мн., 1997.
2. Кульменева Л.Г., Котов Н.Н. Радиобиология: Уч. пособие. – Мн.: Нар. асвета, 1998.
3. Люцко А.М. Радиационная безопасность. Вучэб. дапам. – Мн.: Нар. асвета, 1994.
4. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К СЕМИНАРУ

1. Строение атома, нуклиды, изотопы

Атом является основным структурным элементом всех веществ. Атом – частица вещества, наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств. Химический элемент – это определенный вид атомов с одинаковым положительным зарядом ядра. Известно 108 элементов, из них 90 существует в природе, а около 70 содержатся в организме человека.

Все атомы химических элементов имеют одинаковую структуру. Они состоят из положительно заряженного ядра, где сконцентрирована практически вся масса атома (99,95%) и отрицательно заряженных электронов, образующих электронную оболочку вокруг ядра. В целом атом электрически нейтрален. Электронная оболочка имеет электронные слои. Электронные слои образуют электроны, которые движутся в орбиталях близкого размера. Электронные слои называют также энергетическими уровнями. Энергетические уровни нумеруют, начиная от ядра цифрами – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 или обозначают буквами – K, L, M, N, O, P, Q. Наибольшее число электронов на энергетическом уровне равно удвоенному квадрату номера уровня $N = 2n^2$. Целое число n , обозначающее номер уровня, называется главным квантовым числом.

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, имеющих общее название — нуклон. В ядре протоны и нейтроны могут превращаться друг в друга. Диаметр ядра атома около 10^{-13} – 10^{-12} см и составляет 0,0001 диаметра атома.

Протон (p) — элементарная частица, ядро атома водорода. Масса покоя протона равна $1,6725 \times 10^{-24}$ г, она в 1836 раз больше массы покоя электрона. Электрический заряд протона положительный и равен $1,66 \times 10^{-19}$ Кл (кулона).

Каждый атом любого элемента содержит в ядре определенное число протонов. Это число постоянное для данного элемента и определяет его физические и химические свойства. Число протонов в атомном ядре определяет заряд ядра (зарядовое число Z) и порядковый номер элемента в периодической системе Д.И. Менделеева (атомный номер элемента).

Нейтрон (n) — электрически нейтральная частица с массой $1,6749 \times 10^{-24}$ г, в 1839 раз больше массы электрона. Суммарное число протонов и нейтронов в ядре называют массовым числом (атомной массой — A). Число нейтронов, входящих в состав ядра, равно разности между массовым числом и зарядовым числом ($N = A - Z$).

Электрон (e) — элементарная частица, носитель наименьшей массы — $0,91095 \times 10^{-27}$ г и наименьшего электрического заряда — $1,6021 \times 10^{-19}$. Это отрицательно заряженная частица. Число электронов в атоме равно числу протонов в ядре, т.е. атом электрически нейтрален.

Позитрон (e⁺) — элементарная частица с положительным электрическим зарядом, античастица по отношению к электрону. Масса электрона и позитрона равны, а электрические заряды равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку.

Различные типы ядер называют нуклидами. Нуклид — вид атомов с данными числами протонов и нейтронов. Существуют разновидности атомов одного и того же элемента, имеющие одинаковый заряд ядер, но различное массовое число (одинаковое число протонов, но различное число нейтронов), которые называются **изотопами**.

При обозначении изотопов обычно пользуются символом элемента, указывая слева сверху массовое число A , а слева внизу — атомный (порядковый) номер Z (A_ZX). Порядковый номер иногда опускают, так как символ элемента вполне определяет его место в периодической системе.

Большинство химических элементов имеют по несколько изотопов. Так, у водорода имеется три изотопа: ${}^1_1\text{H}$ — протий, ${}^2_1\text{H}$ — дейтерий, ${}^3_1\text{H}$ — тритий; у урана — 11 изотопов.

Термин «**изотопы**» следует применять только в тех случаях, когда речь идет об атомах одного и того же элемента, например, изотопы углерода ${}^{12}_6\text{C}$ и ${}^{14}_6\text{C}$. Если подразумеваются атомы разных химических элементов, рекомендуется использовать термин «нуклиды», например, радионуклиды ${}^{90}\text{Sr}$, ${}^{131}\text{I}$, ${}^{137}\text{Cs}$.

В ядре существуют Кулоновские силы, отталкивание между одноименно заряженными частицами (протонами) и ядерные силы притяжения, действующими между нуклонами (протоном и протоном, нейтроном и нейтроном, протоном и нейтроном). Ядерные силы притяжения короткодействующие, они значительны только на очень малых расстояниях, сравнимых с поперечником самих ядерных частиц (10^{-13} см). С увеличением расстояния между ядерными частицами ядерные силы очень быстро уменьшаются и становятся практически равными нулю.

Ядерные силы обладают свойством насыщения, т.е. каждый нуклон взаимодействует только с ограниченным числом соседних нуклонов. Поэтому при увеличении числа нуклонов в ядре ядерные силы значительно ослабевают. Этим объясняется меньшая устойчивость ядер тяжелых элементов, в которых содержится значительное количество протонов и нейтронов.

Чтобы разделить ядро на составляющие его протоны и нейтроны и удалить их из поля действия ядерных сил, надо совершить работу, т.е. затратить энергию. Эту энергию называют энергией связи ядра. Энергия связи частиц в ядрах составляет несколько миллионов электрон-вольт (эВ). Например, энергия связи ядра гелия составляет 28 МэВ, урана – 1800 МэВ.

Средняя энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется энергией связи, она равна 7–8,5 МэВ.

В зависимости от того, какие силы в ядре преобладают, ядро является или стабильным (устойчивым) или нестабильным (радиоактивным). Устойчивость ядра зависит от соотношения количества протонов и нейтронов в ядре. Количество протонов в ядре всегда равно или меньше количества нейтронов. В начале и в середине таблицы Д.И. Менделеева количество протонов и нейтронов в основном равно, и поэтому эти ядра чаще стабильны. Чем меньше в ядре нейтронов, тем ядро устойчивее. С увеличением номера и увеличением количества нейтронов по сравнению с протонами ядра становятся менее устойчивыми. У элементов с атомным номером от 84 до 92 ядерные силы уже не способны обеспечить полную устойчивость ядер, такие элементы оказываются нестабильными: ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{238}U и т.д.

Стабильность понижается не только в сторону более тяжелых, но и в сторону более легких элементов: кислород-16, 17, 18 – стабильный, а кислород-13, 14, 15 – нестабильный.

2. Радиоактивность, типы радиоактивности

Радиоактивность – это свойство ядер определенных элементов самопроизвольно (т.е. без каких-либо внешних воздействий) превращаться в ядра других элементов с испусканием особого рода излучений, которые называют радиоактивными излучениями. Само явление называется радиоактивным распадом.

Радиоактивность, наблюдающаяся в ядрах, существующих в природных условиях, называют естественной радиоактивностью. Аналогич-

ные процессы, происходящие в искусственно полученных веществах, называют искусственной радиоактивностью. Изотопы, обладающие радиоактивностью, называют **радиоактивными изотопами**. Ядра всех изотопов химических элементов называют нуклидами, а ядра радиоактивных изотопов — радионуклидами. Иногда эти понятия используют для обозначения любого из атомов, т.е. радионуклид — это радиоактивные атомы с данным массовым числом и атомным номером.

Вещества, содержащие в своем составе радионуклиды, называют **радиоактивными веществами**. Элементы, состоящие только из радиоактивных изотопов, называются **радиоактивными элементами** (это элементы с атомными номерами 43, 61, 84–108).

В зависимости от того, какие излучения испускаются при радиоактивном распаде различают альфа- и бета-распад.

Альфа-распад — это такой тип ядерных превращений, когда из ядра неустойчивого элемента испускается альфа-частица, которая представляет собой ядро атома гелия (2 протона и 2 нейтрона). Заряд образующегося элемента уменьшается на 2, массовое число на — 4.

Альфа распад характерен для естественных радиоактивных элементов с большим порядковым номером, ему подвергаются более 10% радиоактивных изотопов.

При бета-распаде ряд естественных или искусственных радиоактивных изотопов испускают электроны или позитроны.

Электронный бета-распад — характерен для естественных и искусственных радионуклидов с излишком нейтронов, ему подвергаются около 46% всех радиоактивных изотопов. При этом один из нейтронов превращается в протон, а заряд ядра и соответственно атомный номер элемента увеличивается на единицу, массовое число остается без изменений.

Позитронный бета-распад — наблюдается у некоторых искусственных радионуклидов с излишком протонов, ему подвергаются около 11% радиоактивных изотопов, находящихся в первой половине таблицы Д.И. Менделеева с $Z < 45$. При этом один из протонов превращается в нейтрон, а ядро испускает позитрон. Заряд ядра и соответственно атомный номер уменьшается на единицу, а массовое число остается без изменений.

Позитрон, вылетев из ядра, срывает с оболочки атома «лишний» электрон или взаимодействует со свободным электроном, образуя пару «позитрон-электрон», которая мгновенно превращается в два гамма-кванта.

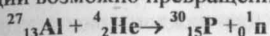
Электронный захват. Ядро атома захватывает электрон из ближайшего к ядру энергетического К-уровня (электронный К-захват) или L-уровня (реже в 100 раз). Один из протонов ядра нейтрализуется этим электроном, превращаясь в нейтрон. Порядковый номер нового ядра становится на единицу меньше, а массовое число не изменяется. Освободившееся место, которое занимал в К-уровне захваченный электрон заполня-

ется электроном из более отдаленных энергетических уровней. Избыток энергии, освободившейся при таком переходе, испускается атомом в виде характеристического рентгеновского излучения.

Электронный К-захват характерен для 25% всех радиоактивных ядер, но в основном для искусственных радиоактивных изотопов с $Z = 45-105$. Только три естественных радионуклида претерпевают К-захват (калий-40, лантан-139, лютеций-176).

3. Ядерные и термоядерные реакции

Ядерные реакции — это превращения ядер атомов, вызванные воздействием на них элементарных частиц или других ядер. В результате этих реакций возможно превращение одного химического элемента в другой.



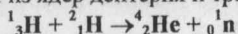
Особый практический интерес представляют цепная реакция деления ядер урана или плутония и реакции синтеза легких ядер. Так под действием медленных нейтронов происходит **самопроизвольное** (спонтанное) **деление ядер** радиоактивных элементов с большими атомными массами (урана-235, плутония-239 и др.). При делении урана-235 образуются осколки деления, которые представляют собой ядра элементов со средними массовыми числами в соотношении 2:3, а также 2-3 нейтрона и гамма-излучение. При этом выделяется значительная энергия. Каждый из образовавшихся нейтронов способен вызвать новый акт деления и т.д. Количество образующихся нейтронов нарастает в геометрической прогрессии — возникает цепная реакция деления. Наименьшее количество вещества, в котором возможна цепная ядерная реакция деления называется критической массой. Для урана-235 это десятки кг, урана-233 — 5-6 кг, для калифорния — 1 г.

Цепная реакция деления используется при устройстве атомной бомбы. Ядерный заряд бомбы представляет 2 части урана-235, каждая с докритической массой. При взрыве обычного взрывчатого вещества обе части соединяются, давая **сверхкритическую** массу. Под действием источника нейтронов начинается цепная реакция деления. Всего смесь продуктов деления содержит более 200 изотопов 36 элементов.

При использовании цепной реакции деления в ядерных реакторах АЭС создаются такие условия, когда из образующихся при делении урана нейтронов только один вызывает следующий акт деления. Количество делящихся в каждый момент ядер будет примерно одинаковым и количество выделяющейся энергии будет поддерживаться на каком-то определенном уровне, 1 г урана дает такое же количество энергии, как 2,5 т каменного угля.

Термоядерные реакции. К ним относятся реакции синтеза тяжелых ядер из более легких. При этих условиях кинетическая энергия ядер достаточна для преодоления их кулоновских сил отталкивания. Ядра легких элементов сближаются на очень малые расстояния и объединяются в ядра

более тяжелых элементов. Примером такой реакции является синтез ядер гелия из ядер дейтерия и трития



На основе этой реакции устроена водородная бомба. Необходимая для начала этой реакции температура обеспечивается реакцией деления ядер урана-235, которая выполняет роль своеобразного запала. В водородной (термоядерной) бомбе термоядерная реакция носит неконтролируемый характер. Осуществить управляемую термоядерную реакцию для получения энергии в мирных целях пока не удастся.

4. Закон радиоактивного распада. Период полураспада

Количество любого радиоактивного изотопа со временем уменьшается вследствие радиоактивного распада. Для каждого радиоактивного изотопа средняя скорость распада его ядер постоянна, неизменна и характерна только для данного изотопа.

Количество радиоактивных атомов какого-либо элемента, распадающихся за промежутки времени пропорционально общему количеству имеющихся радиоактивных ядер

$dN = -\lambda \times N \times dt$, где dN — количество распадающихся ядер, dt — промежуток времени, N — количество имеющихся ядер, $-\lambda$ — коэффициент пропорциональности (постоянная радиоактивного распада).

Постоянная радиоактивного распада показывает вероятность распада атомов радиоактивного вещества в единицу времени, характеризует долю атомов данного радионуклида, распадающихся в единицу времени, т.е. постоянная радиоактивного распада характеризует относительную скорость распада ядер данного радионуклида. Знак минус ($-\lambda$) показывает, что количество радиоактивных ядер убывает со временем. Постоянную распада выражают в обратных единицах времени: с^{-1} , мин^{-1} и т.д. Величину, обратную постоянной распада ($\tau = 1/\lambda$), называют средней продолжительностью жизни ядра.

Основной закон радиоактивности распада устанавливает, что за единицу времени распадается всегда одна и та же доля нераспавшихся ядер данного радионуклида. Математически закон радиоактивного распада выражается в виде формулы: $Nt = N_0 \times e^{-\lambda t}$, где Nt — количество радиоактивных ядер, остающихся по прошествии времени t ; N_0 — исходное количество радиоактивных ядер в момент времени t ; e — основание натуральных логарифмов ($e=2,72$); $-\lambda$ — постоянная радиоактивного распада, t — промежуток времени.

По этой формуле можно рассчитать число нераспавшихся радиоактивных атомов в данный момент времени.

Для характеристики скорости распада радиоактивных элементов на практике пользуются вместо постоянной распада периодом полураспада.

Период полураспада ($T^{1/2}$) — это время, в течение которого распадается половина исходного количества радиоактивных ядер. Период полу-

распада — величина строго индивидуальная для каждого радиоизотопа. У одного и того же элемента могут быть изотопы с разным периодами полураспада. Имеются изотопы с периодом полураспада от долей секунды до миллиардов лет. Период полураспада для полония-214 равен $1,6 \times 10^{-4}$ с, кадмия-113 — $9,3 \times 10^{15}$ лет. Радиоактивные элементы подразделяются на короткоживущие ($T_{1/2}$ исчисляется часами и днями) — родон-220 — 54,5 с, висмут-214 — 19,7 мин, иттрий-90 — 64 час, стронций-89 — 50,5 дня и долгоживущие ($T_{1/2}$ исчисляется годами) — радий-226 — 1600 лет, плутоний-239 — 24390 лет, калий-40 — $1,32 \times 10^9$ лет.

Из элементов, выброшенных при аварии на ЧАЭС отметим период полураспада следующих элементов: йод-131 — 8,06 дня, цезий-137 — 30 лет, стронций-90 — 29,12 лет, плутоний-241 — 14,4 года, америций-241 — 432 года.

5. Общие свойства ионизирующих излучений. Потенциал ионизации

Радияция (излучение) — распространение энергии в форме волн или частиц. Свет, ультрафиолетовые лучи, микроволны, радиоволны и другие излучения представляют собой разновидность радиации. Часть излучений получила название ионизирующих благодаря своей способности прямо или косвенно вызывать ионизацию окружающей среды.

Различают два типа ионизирующих излучений: корпускулярное и электромагнитное. **Корпускулярные излучения** представляют собой поток частиц (корпускул), которые характеризуются определенной массой, зарядом и скоростью, это электроны, позитроны, протоны, альфа-частицы и др. **Электромагнитное излучение** — поток квантов или фотонов (γ -лучи, рентгеновские лучи), они не имеют ни массы, ни заряда.

Излучения также делятся на непосредственно и косвенно ионизирующие. Непосредственно ионизирующее излучение — излучение, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновениях с атомами (электроны, протоны, альфа-частицы и др.). Косвенно ионизирующие излучения — излучения, состоящие из незаряженных частиц, а также фотонов, которые при взаимодействии со средой приводят к образованию вторичных заряженных частиц.

Основным свойством ионизирующих излучений является их способность при прохождении через вещество вызывать образование большого количества свободных электронов и положительно заряженных ионов (т.е. **ионизирующая способность**). Частица или квант высокой энергии выбивает электрон из электронной оболочки, который уносит единичный отрицательный заряд. Оставшаяся часть атома становится положительно заряженным ионом. Это так называемая **первичная ионизация**. Выбитые электроны сами взаимодействуют со встречными атомами, превращая их в отрицательно заряженный ион — это **вторичная ионизация**.

Для ионизации большинства элементов, входящих в состав биосубстратов, необходимо поглощение 10–12 эВ. Это минимальное количество

энергии, необходимое для ионизации, называется **потенциалом ионизации**. Потенциал ионизации воздуха равен в среднем 34 эВ. Если энергия излучения меньше потенциала ионизации, ионизации не происходит. Электрон, приобретя излишек энергии (так называемый возбужденный), на доли секунды переходит на более высокий энергетический уровень, а затем скачком возвращается на прежнее место и отдает излишнюю энергию в виде кванта свечения (ультрафиолетового или видимого).

Другим свойством излучений является их способность проникать в глубину вещества (**проникающая способность**). Особенно это характерно для рентгеновских и γ -лучей.

Ионизирующие излучения обладают определенной **скоростью и энергией**. Так, β -излучение и γ -излучение распространяются со скоростью, близкой к скорости света (300000 км/с). Энергия, например, альфа-частиц колеблется в пределах 4–9 МэВ (миллионов электрон-вольт). Электрон-вольт (эВ) – это внесистемная величина энергии, $1\text{эВ} = 1,6 \times 10^{-19}$ Дж.

Одной из важных особенностей биологического воздействия ионизирующей радиации является **невидимость, неощутимость**. В этом и заключается их опасность, человек ни визуально, ни органолептически не может обнаружить воздействие излучений. Ионизирующие излучения даже в смертельных дозах нашими органами чувств не фиксируются. Правда, у космонавтов наблюдались косвенные проявления действия ионизирующей радиации – ощущение вспышек при закрытых глазах – за счет массивной ионизации в сетчатке глаза. Таким образом, ионизация и возбуждение – основные процессы, в которых тратится энергия излучений, поглощаемая в облучаемом объекте.

Возникшие ионы исчезают в процессе рекомбинации, это значит воссоединения положительных и отрицательных ионов, в котором образуются нейтральные атомы. Как правило, процесс сопровождается образованием возбужденных атомов. Реакции с участием ионов и возбужденных атомов имеют чрезвычайно важное значение. Они лежат в основе многих химических процессов, в том числе и биологически важных. С ходом этих реакций связываются отрицательные результаты воздействия радиации на организм человека.

6. Характеристика α -, β -, γ -излучений

Альфа-излучение – поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия – ${}^4_2\text{He}$), которые движутся со скоростью около 20000 км/с. Альфа-лучи образуются при радиоактивном распаде ядер элементов с большими порядковыми номерами и при ядерных реакциях. Энергия их колеблется в пределах 4–9 (2–11) МэВ. Пробег α -частиц в веществе зависит от их энергии и от природы вещества, в котором они движутся. В среднем в воздухе пробег составляет 2–10 см, в биологической ткани – несколько микрон. Так как α -частицы массивны и обладают относительно большой энергией, путь их в веществе **прямолинейный**, они вызывают сильно вы-

раженный эффект ионизации. Удельная ионизация составляет примерно 40000 пар ионов на 1 см пробега в воздухе (на всей длине пробега может создаваться до 250 тысяч пар ионов). В биологической ткани на пути в 1–2 микрона также создается до 40000 пар ионов. Вся энергия передается клеткам организма, нанося ему огромный вред.

Альфа-частицы задерживаются листом бумаги и практически не могут проникать через внешний (наружный) слой кожи, они поглощаются роговым слоем кожи. Поэтому α -излучение не представляет опасности до той поры, пока радиоактивные вещества, излучающие α -частицы, не попадут внутрь организма через открытую рану, с пищей или вдыхаемым воздухом — тогда они становятся *чрезвычайно опасными*.

Бета-излучение — поток β -частиц, состоящий из электронов (отрицательно заряженных частиц) и позитронов (положительно заряженных частиц), испускаемых атомными ядрами при их β -распаде. Частицы 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: от нуля до какого-то максимального значения. Максимальная энергия лежит в пределах от 0,015–0,05 МэВ (мягкое излучение) до 3–13,5 МэВ (жесткое излучение).

Длина пробега в воздухе может достигать 25 см, а иногда и нескольких метров. В биологических тканях пробег частиц составляет до 1 см. На путь пробега влияет также плотность среды.

Ионизирующая способность бета-частиц значительно ниже, чем альфа-частиц. Степень ионизации зависит от скорости: меньше скорость — больше ионизация. На 1 см пути пробега в воздухе β -частица образует 50–100 пар ионов (1000–25 тыс. пар ионов на всем пути в воздухе).

Электромагнитные излучения различаются по своему происхождению, энергии, а также по длине волны. К электромагнитным излучениям относятся рентгеновское излучение, гамма-излучение радиоактивных элементов и тормозное излучение, возникающее при прохождении через вещество сильно ускоренных заряженных частиц. Видимый свет и радиоволны — тоже электромагнитные излучения, но они не ионизируют вещество, ибо характеризуются большой длиной волны (меньшей жесткостью). Энергия электромагнитного поля излучается не непрерывно, а отдельными порциями — квантами (фотонами). Поэтому электромагнитные излучения — это поток квантов или фотонов.

Рентгеновские излучения. Рентгеновские лучи были открыты Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 г. Рентгеновское излучение — это квантовое электромагнитное излучение с длиной волны 0,001–10 нм. Излучение с длиной волны, превышающей 0,2 нм условно называют «мягким» рентгеновским излучением, а до 0,2 — «жестким». Длина волны — состояние, на которое излучение распространяется за один период колеба-

ния. Рентгеновское излучение, как и всякое электромагнитное излучение, распространяется со скоростью — 300000 км/с. Энергия рентгеновского излучения обычно не превышает 500 кэВ.

Гамма-излучение — это излучение ядерного происхождения. Оно испускается ядрами атомов при альфа- и бета-распаде природных и искусственных радионуклидов в тех случаях, когда в дочернем ядре оказывается избыток энергии, не захваченный корпускулярным излучением (альфа- и бета-частицей). Этот избыток энергии мгновенно высвечивается в виде гамма-квантов. Т.е. гамма-излучение — это поток электромагнитных волн (квантов), который излучается в процессе радиоактивного распада при изменении энергетического состояния ядер. Кроме того, гамма-кванты образуются при аннигиляции позитрона и электрона. Скорость распространения в вакууме равняется скорости света — 300000 км/с. Энергия гамма-излучения колеблется от десятков тысяч до миллионов электрон-вольт (2–3 МэВ), редко достигает 5–6 МэВ. Путь пробега гамма-лучей в воздухе превышает 100 м, т.е. они обладают большой проникающей способностью, они свободно проходят через тело человека. Чтобы снизить в 2 раза гамма-излучение радиоактивного кобальта — $^{60}_{27}\text{Co}$ (наиболее часто используемого в медицине для лучевой терапии) нужно взять слой свинца в 1,6 см или слой бетона в 10 см. Ионизирующая способность гамма-излучения значительно меньше, чем у альфа- и бета- частиц.

7. Основные механизмы взаимодействия радиоактивных излучений с веществом

Взаимодействие *рентгеновских* и *γ-излучений* осуществляется тремя основными механизмами (способами): при помощи фотоэлектрического поглощения (фотоэффекта), комптоновского рассеяния (комpton-эффекта), образования электронно-позитронных пар.

Фотоэффект. При фотоэлектрическом эффекте энергия падающего кванта полностью поглощается веществом, в результате чего появляется свободный электрон, обладающий определенной *кинетической энергией*. Свободный электрон, ассоциируясь с одним из нейтральных атомов, порождает отрицательный ион. Атом, потерявший электрон, становится возбужденным. На освободившееся место в орбитале К-слоя перескакивает электрон L-слоя, на L-слой — электрон М-слоя и т.д. с высвечиванием характеристического рентгеновского излучения.

Эффект Комптона. Для излучений с энергией, значительно превышающей внутриатомные энергии связи (> 1 МэВ), главную роль в ионизации приобретает эффект Комптона. Гамма-квант, сталкиваясь с электронами, передает им не всю свою энергию, а только часть ее и после соударения изменяет свое направление, т.е. рассеивается. Вследствие соударения с гамма-квантами электроны (электроны отдачи) приобретают значительную кинетическую энергию и расходуют ее на ионизацию вещества (вторичную ионизацию). Оставшуюся часть энергии выносит новый фотон

(вторичный), который образовался в результате взаимодействия первичного фотона с веществом. Вторичные фотоны имеют меньшую энергию, большую длину волны и другое направление. В дальнейшем вторичный фотон может вновь претерпевать Комптон-эффект и т.д.

Образование электронно-позитронных пар. Третий вид взаимодействия излучений с веществом – превращение гамма-кванта больших энергий (свыше 1 МэВ) в пару заряженных частиц – эффект образования пары «электрон-позитрон». Гамма-кванты, проходя через вещество, превращаются под действием сильного электрического поля вблизи ядра атома в пару частица-античастица: «электрон-позитрон». Образовавшаяся электронно-позитронная пара в дальнейшем исчезает (аннигилирует), превращаясь в два вторичных гамма-кванта.

В результате каждого из трех процессов взаимодействия излучений с веществом в облученной среде возникает большое количество быстро движущихся электронов. Значительная часть их обладает энергией, достаточной для ионизации вещества.

ЗАНЯТИЕ №5 (семинар №2)

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ, МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИИ

УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ:

1. Изучить основы дозиметрии ионизирующих излучений.
2. Изучить методы дозиметрии и характеристику дозиметрической аппаратуры.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕТОД: семинарское занятие.

МЕСТО: учебный класс.

Вопросы семинарского занятия:

1. Активность радионуклида, единицы активности. Виды активности.
2. Понятие о дозиметрии ионизирующих излучений. Дозиметрический контроль.
3. Дозовые величины, их характеристика, единицы измерения.
4. Общие сведения о методах дозиметрического контроля. Ионизационный метод.
5. Сцинтилляционный и люминесцентный методы дозиметрии.
6. Химический фонографический методы дозиметрии.
7. Дозиметрическая аппаратура.

Рефераты:

1. Основы дозиметрии ионизирующих излучений.
2. Характеристика основных дозовых величин.

ЛИТЕРАТУРА для самостоятельной работы студентов:**а) основная:**

1. Ветрова В.Т., Колесник А.В. и др. Курс радиационной безопасности. – Мн.: Ураджай, 1995. – С. 57–75.
2. Галицкий Э.А., Забелин Н.Н. и др. Основы радиационной безопасности. – Гродно, ГрГУ, 2001. – С.23–27.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. – Мн.: Выш. шк., 1995. – С. 23–42.
4. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2003. – С. 30–48.
5. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2004. – С. 30–44.

б) дополнительная:

1. Ковалев С.Д. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязненных радионуклидами: Уч. пособие. – Мн., 1997.
2. Кульменева Л.Г., Котов Н.Н. Радиобиология: Уч. пособие. – Мн.: Нар. асвета, 1998.
3. Люцко А.М. Радыяцыйная бяспека. Вучэб. дапам. – Мн.: Нар. асвета, 1994.
4. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К СЕМИНАРУ**1. Активность радионуклида. Единицы и виды активности**

Количество радиоактивного вещества обычно определяют не единицами массы (г, мг), а активностью данного вещества. **Активность вещества** определяется интенсивностью или скоростью распада его ядер (числом распадов ядер в единицу времени). Активность возрастает с увеличением количества радиоактивного вещества.

За единицу активности в Международной системе единиц (СИ) принят 1 распад в секунду (**расп/с**). Этой единице присвоено наименование **беккерель (Бк)**. Внесистемной единицей является кюри (Ки). **Кюри** – это такое количество любого радиоактивного вещества, в котором число радиоактивных распадов в секунду равно $3,7 \times 10^{10}$. Единица кюри соответствует активности 1 г радия. Так как кюри очень большая величина, то обычно употребляют дробные производные величины: мКи – милликюри (тысячная доля кюри) – $3,7 \cdot 10^7$ расп/с; мкКи – микрокюри (миллионная доля кюри) – $3,7 \cdot 10^4$ расп/с.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \quad 1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}.$$

На практике часто пользуются числом распадов в минуту. Тогда единица радиоактивности кюри и дробные производные от нее принимают следующие значения:

$$1 \text{ Ки} = 2,22 \cdot 10^{12} \text{ расп/мин};$$

$$1 \text{ мКи} = 2,22 \cdot 10^9 \text{ расп/мин};$$

$$1 \text{ мкКи} = 2,22 \cdot 10^6 \text{ расп/мин}.$$

При измерении активности радиоактивного образца ее обычно относят к массе, объему, площади поверхности или длине. Различают следующие виды активности радионуклида. **Удельная активность** – это активность, приходящаяся на единицу массы вещества – Бк/кг, Ки/кг. **Объемная активность** – это активность, приходящаяся на единицу объема – Бк/л, Ки/л, Бк/м³, Ки/м³. В случае распределения радионуклидов на поверхности активность называется **поверхностной** (активность, отнесенная к единице поверхности) – Бк/м², Ки/км². **Линейная активность** радионуклида – это отношение активности радионуклида, содержащейся на длине образца, к его длине.

Массу в граммах при известной активности (например, 1Ки) радионуклида определяют по формуле: $m = k \cdot A \cdot T^{1/2} \cdot a$, где m – масса в граммах, A – атомная масса, $T^{1/2}$ – период полураспада в секундах, a – активность в кюри или беккерелях, k – константа, зависящая от единицы, в которой дана и активность. При активности в беккерелях константа равна $2,4 \cdot 10^{-24}$, при активности в кюри – $8,86 \cdot 10^{-14}$.

Рассчитаем массу ^{131}J с периодом полураспада 8,05 дней для создания активности в 1Ки.

$m = 8,86 \cdot 10^{-14} \cdot 131 \cdot 8,05 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 1 = 0,000008 \text{ г}$. Для стронция-90 масса равна 0,0073 г, плутония-239 – 16,3 г.

Можно вычислить активность в беккерелях или кюри радионуклида при известной его массе. $A_0 = 1 \cdot m / (A \cdot T^{1/2})$, где 1 – параметр, обратный константе « k », A – атомная масса, $T^{1/2}$ – период полураспада в секундах. При активности в беккерелях $1 = 4,17 \cdot 10^{23}$, при активности в кюри $1 = 1,13 \cdot 10^{13}$.

Так активность 32,6 г плутония равна:

$$a_0 = 1,13 \cdot 10^{13} \cdot 32,6 / 239 \cdot 24300 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ Ки};$$

$$a_0 = 4,17 \cdot 10^{23} \cdot 32,6 / 239 \cdot 24300 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 7,4 \cdot 10^{10} \text{ Бк}.$$

2. Понятие о дозиметрии. Дозиметрический контроль

Радиометрия – обнаружение и измерение числа распадов атомных ядер в радиоактивных источниках либо некоторой доли их по испускаемому ядрами излучению.

Дозиметрия – измерение рассеяния и поглощения энергии ионизирующего излучения в определенном материале. Доза излучения строго зависит от энергии и вида падающего излучения, а также от природы поглощающего материала.

Мера воздействия ионизирующего излучения на вещество не поддается простому определению из-за сложности и многообразия происходящих при этом процессах. Изменения, возникающие в окружающей среде (нарушения структуры вещества) и живых объектах (биологические нарушения и даже гибель), называются **радиационными эффектами**. Основны-

ми величинами, которые дают количественную оценку возбуждаемому в веществе радиационному эффекту являются поглощенная доза, эквивалентная доза, экспозиционная доза. Первичным процессом, который дает начало физико-химическим изменениям в облучаемом веществе и приводит к наблюдаемому радиационному эффекту, является энергия ионизирующего излучения, поглощенная веществом.

Дозиметрический контроль — это система мероприятий, организуемых для контроля радиоактивного облучения населения и определения степени радиоактивного загрязнения техники, производственного оборудования, продовольствия, воды и т.д.

Дозиметрический контроль включает контроль облучения и контроль радиоактивного загрязнения.

Контроль облучения проводится с целью своевременного получения данных о поглощенных дозах населения при проведении спасательных работ. По данным контроля устанавливается факт внешнего воздействия ионизирующих излучений, оценивается работоспособность людей и определяются их радиационные поражения с целью определения необходимости лечения в медицинских учреждениях. Контроль облучения в свою очередь подразделяется на групповой и индивидуальный.

Индивидуальный контроль проводится с целью получения данных о дозах облучения каждого человека (с помощью индивидуального дозиметра ИД-11), определения степени внутреннего радиоактивного загрязнения. Каждому выдается индивидуальный дозиметр.

Групповой контроль проводится с целью получения данных о средних дозах облучения групп населения, находящихся в одинаковых условиях и определения их категорий трудоспособности. 1–2 дозиметра выдаются на группу в 14–20 чел. В зависимости от полученной дозы и продолжительности облучения устанавливаются следующие категории трудоспособности: трудоспособность полная, трудоспособность сохранена, трудоспособность ограничена, трудоспособность существенно ограничена.

Учет полученных доз ведется в индивидуальной карточке учета доз облучения и в журнале контроля облучения (дозы записываются нарастающим итогом).

Контроль радиоактивного загрязнения проводится для определения степени радиоактивного загрязнения людей (кожных покровов и одежды), техники, транспорта, оборудования и других материальных средств. Этот контроль проводится, как правило, при выходе людей из загрязненных районов, при проведении полной специальной обработки.

3. Дозовые величины, их характеристика, единицы измерения.

Поглощенная доза излучения является основной величиной, определяющей степень радиационного воздействия. Воздействие на объект (организм) оказывает только та часть радиации, которую поглощает этот объ-

ект. Для измерения поглощенной энергии введено понятие поглощенная доза.

Поглощенная доза излучения — это величина энергии, поглощенной в единице объема (или массы) облучаемого вещества.

За единицу поглощенной дозы в СИ принимают джоуль на килограмм (Дж/кг), т.е. это такая поглощенная доза, при которой в 1 кг массы облучаемого вещества поглощается 1 Дж энергии излучения. Этой единице присвоено наименование грей (Гр).

Внесистемной единицей поглощенной дозы является рад, она в 100 раз меньше Гр. Рад — единица поглощенной дозы ионизирующего излучения, при которой веществом массой 1 г поглощается энергия излучения, равная 100 эрг.

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}; 1 \text{ Гр} = \text{Дж/кг} = 100 \text{ рад}.$$

Применяют такие производные величины от Гр и рад:

мГр — миллигрей (10^{-3} Гр);

мкГр — микрогрей (10^{-6} Гр).

Мощность поглощенной дозы — это поглощенная доза, отнесенная к единице времени. За единицу мощности в СИ принят ватт/кг (Вт/кг) — ватт равен мощности, при которой работа в 1 Дж проводится за 1 с. Внесистемные единицы: рад в час (рад/ч), рад в мин (рад/мин), грей в секунду (Гр/с), рад в секунду (рад/с).

Поглощенная доза обычно рассчитывается для рентгеновского и гамма-излучения. Для других видов излучений принята эквивалентная доза.

Эквивалентная доза, единицы ее измерения. Коэффициент качества излучений. При одной и той же поглощенной дозе различные виды излучений (альфа-, бета-, гамма-излучения и др.) оказывают различные биологические эффекты. Объясняется это различной ионизирующей способностью излучений.

Эквивалентная доза — это произведение поглощенной дозы излучения в биологической ткани на коэффициент качества этого излучения в данной биологической ткани. Единицей эквивалентной дозы в СИ является зиверт (Зв). $1 \text{ Зв} = \text{Дж/кг}$, т.е. зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на средний коэффициент качества равно 1 Дж/кг. Используются также производные единицы: мЗв — миллизиверт (в тысячу раз меньше Зв); мкЗв — микрозиверт (в миллион раз меньше Зв).

Коэффициент качества (КК) показывает, во сколько раз данный вид излучения более биологически опасен, чем рентгеновское и гамма-излучение при одинаковой поглощенной дозе. Для рентгеновского излучения, гамма-излучения, электронов и позитронов КК равен 1,0; для нейтронов с энергией меньше 20 кэВ — 3; для протонов с энергией меньше 10 МэВ — 10; для нейтронов с энергией 0,1-10 МэВ — 10; для альфа-излучений и тяжелых ядер отдачи — 20. Это означает, что альфа-излучение,

которое попадает внутрь организма, в 20 раз более опасно, чем гамма-излучение.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения является основной величиной, определяющей уровень радиационной опасности при хроническом облучении человека в малых дозах.

Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рентгена). Бэр — это поглощенная доза любого вида ионизирующего излучения, которая имеет такую же биологическую эффективность, как и один рад.

Соотношение между дозами: $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$; $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$; $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$; $1 \text{ бэр} = 10 \text{ мЗв}$

Мощность эквивалентной дозы — отношение эквивалентной дозы к единице времени: Зв/с , мкЗв/час . Допустимая среднегодовая мощность эквивалентной дозы при облучении всего тела работающих при 36 часовой рабочей неделе равна 28 мкЗв/час , естественный фон создает мощность эквивалентной дозы в пределах $0,05\text{--}0,2 \text{ мкЗв/час}$ (по данным МКРЕ — Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям).

Поскольку коэффициент качества равен и больше единицы, то и эквивалентная доза больше поглощенной (или равна ей). Например, для бета-излучения $\text{КК} = 1$ и эквивалентной дозе в 1 Зв соответствует поглощенная доза в 1 Гр . Для альфа-излучения $\text{КК} = 20$ поэтому эквивалентной дозе в 1 Зв соответствует поглощенная доза в $0,05 \text{ Гр}$ ($1:20$).

Эффективная эквивалентная доза, единицы ее измерения. Коэффициент радиационного риска. Эквивалентная доза рассчитывается для «усредненной» биологической ткани человеческого тела. Но дозы приходится определять и для отдельных органов (в случаях неравномерного облучения различных органов и тканей тела человека, а также при необходимости лучевой терапии опухолей, когда не требуется облучать все тело целиком).

По отношению к ионизирующим излучениям органы и биологические ткани имеют разную радиочувствительность. Сильнее всего поражается красный костный мозг, половые железы, меньше — нервная ткань. Учет радиочувствительности производят с помощью коэффициентов радиационного риска (КР), которые позволяют сопоставить последствия неравномерного облучения отдельных органов с такими же последствиями равномерного облучения всего тела. В случаях неравномерного облучения разных органов или тканей тела человека вводится понятие эффективной эквивалентной дозы.

Эффективная эквивалентная доза — это эквивалентная доза, умноженная на коэффициент радиационного риска, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению. Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) приняты следующие коэффициенты радиационного риска для различных тканей или органов человека: для крас-

ного костного мозга — 0,12; для молочной железы — 0,05; для половых желез — 0,20; для легких — 0,12; для щитовидной железы — 0,05.

Единицей измерения эффективной эквивалентной дозы является зиверт (Зв). С учетом коэффициентов, например, облучение щитовидной железы дозой в 1 Зв (100 бэр) приводит к такому же поражению организма, как и облучение всего организма дозой в $1 \text{ Зв} \times 0,05 = 0,05 \text{ Зв}$ (5 бэр). Допустимая доза на щитовидную железу составляет 20 Зв ($1 \text{ Зв} : 0,05 = 20 \text{ Зв}$), так как допустимая доза на весь организм составляет 1 Зв.

Определение эффективной эквивалентной дозы очень важно при избирательном накоплении радионуклидов, например, йода-131 в щитовидной железе, стронция-90 в костях (облучение красного костного мозга). Таким образом, эффективная эквивалентная доза является основным показателем для оценки радиационного воздействия излучений на человека.

Экспозиционная доза излучения, ее мощность. Единицы измерения. Общее количество падающей на объект энергии излучения за время облучения можно определить путем измерения так называемой экспозиционной дозы. Гамма- и рентгеновское излучения образуют в облучаемой среде определенное число ионов. Подсчитав число пар образующихся ионов, можно определить энергию, расходуемую на ионизацию. Но измерить число пар ионов, образующихся в глубине тканей живого организма, сложно. Поэтому определяют вначале экспозиционную дозу в воздухе, а затем расчетным путем определяют поглощенную дозу для тканей и органов организма.

Экспозиционная доза рассчитывается только для рентгеновского и гамма-излучения, ибо только кванты этих излучений достаточно долгопробежные и могут создавать равномерное наружное облучение. Альфа- и бета-излучения — короткопробежные, большая их часть поглощается одеждой и кожей, и не представляет большой опасности для внутренних органов.

Экспозиционная доза — это количественная характеристика рентгеновского и гамма-излучения, основанная на их ионизирующем действии и выраженная суммарным электрическим зарядом ионов одного знака, образованных в элементарном объеме воздуха в условиях электронного равновесия. За единицу экспозиционной дозы в Международной системе единиц (СИ) принят один кулон электрического заряда в одном килограмме облучаемого воздуха.

Кл/кг — это такая экспозиционная доза рентгеновских и гамма-лучей, под действием которой в 1 кг сухого воздуха образуется число пар ионов, суммарный заряд каждого знака которых равен одному кулону. Это число составляет $6,24 \times 10^{18}$ пар ионов.

На практике до сих пор применяют внесистемную единицу экспозиционной дозы — рентген. Рентген (Р) — единица экспозиционной дозы, при которой в 1 см^3 воздуха ($0,001293 \text{ г}$) при нормальных условиях (0°C и 1013 ГПа) образуется $2,082 \times 10^9$ пар ионов. Обычно используют производ-

ные рентгена – дробные доли: миллирентген – мР (тысячная доля рентгена), микрорентген – мкР (миллионная доля рентгена ($\text{мкР} = 10^{-6} \text{Р}$, $\text{мР} = 10^{-3} \text{Р}$)).

При определении действия радиации на какую либо среду (особенно при облучении живого организма) необходимо учитывать не только общую дозу, но и время, за которое она получена. Поэтому вводится понятие мощность дозы. **Мощность** экспозиционной дозы (уровень радиации) – это доза, отнесенная к единице времени: Р/час, мР/час, мкР/час. Взаимосвязь между единицами экспозиционной дозы следующая: $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$; $1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Поскольку на образование одной пары ионов в воздухе в среднем затрачивается 34 эВ, то энергетический эквивалент рентгена в 1 см^3 воздуха составляет:

$$2,08 \times 10^9 \times 34 = 7,08 \times 10^4 \text{ МэВ} = 0,114 \text{ эрг/см}^3 \text{ или} \\ \text{в } 1 \text{ г воздуха} - 88 \text{ эрг} (0,114; 0,001293 = 88).$$

Чтобы рассчитать поглощенную дозу в тканях организма сначала определяют поглощенную дозу в воздухе, а затем, используя переходный коэффициент, переходят к поглощенной дозе в тканях.

Так, например, зная, что на образование 1 пары в воздухе затрачивается 34 эВ энергии ($1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$), можно рассчитать, что при экспозиционной дозе в воздухе в 1 Кл/кг на ионизацию 1 кг воздуха (образование $6,24 \times 10^{18}$ пар ионов) затрачивается 34 Дж: $6,24 \times 10^{18} \times 34 / 1,6 \times 10^{-19} = 33,94 \text{ Дж/кг}$, т.е. при экспозиционной дозе в 1 Кл/кг поглощенная доза в воздухе составит 34 Дж/кг.

От поглощенной дозы в воздухе к поглощенной дозе в биологической ткани переходят с использованием множителя 1,09, т.е. при облучении организма экспозиционной дозой в 1 Кл/кг ткани организма поглощают 37 Дж/кг энергии ионизирующих излучений ($34 \text{ Дж/кг} \times 1,09 = 37 \text{ Дж/кг}$).

Переходные коэффициенты (от поверхностной активности к мощности экспозиционной дозы и к эквивалентной дозе) При движении радиоактивного облака человек облучается снаружи всеми излучениями взвешенных в воздухе радиоактивных веществ, а также попавшими внутрь радионуклидами при дыхании. При проживании на загрязненной территории получаемая доза обусловлена как внешним, так и внутренним облучением. Разработаны экспериментальным путем для каждого вида радионуклидов переходные коэффициенты, связывающие активность, мощность экспозиционной дозы, эффективную дозу.

Например, для цезия установлены следующие переходные коэффициенты:

$$1 \text{ Бк/м}^2 = 0,0004 \text{ мкР/час или } 1 \text{ Ки/км}^2 = 14,8 \text{ мкР/час};$$

$$1 \text{ Бк/м}^2 = 0,022 \text{ мкЗв/год или } 1 \text{ Ки/км}^2 = 0,80 \text{ мЗв/год}.$$

Каждый мкР/час создает дозу в 0,05 мЗв/год.

Таким образом, при загрязнении цезием-137 в 5 Ки/км^2 (185 кБк/м^2) мощность экспозиционной дозы составляет 75 мкР/час, внешнее облучение за год составит 4 мЗв.

4. Основные методы регистрации излучений. Ионизационный метод

Радиоактивные излучения не воспринимаются органами чувств. Наличие радиоактивных веществ на местности нельзя обнаружить визуально (зрительно) или органолептически (с помощью других органов чувств) и поражение людей может происходить незаметно для них. Для своевременного и быстрого обнаружения радиоактивных веществ в воздухе, на местности, различных предметах и в разной среде созданы специальные приборы радиационной разведки, контроля полученных доз облучения и степени загрязнения.

Работа дозиметрических приборов основана на способности излучений ионизировать вещество среды, в котором распространяется излучение. Ионизация в свою очередь является причиной некоторых физических и химических изменений в веществе, которые могут быть обнаружены и измерены. К таким изменениям относятся: увеличение электропроводимости (газов, жидкостей, твердых материалов), люминесценция (свечение), засвечивание светочувствительных материалов (фотоплёнок), изменение окраски, прозрачности некоторых химических растворов и др.

В зависимости от природы регистрируемого физико-химического явления, происходящего в среде под влиянием ионизирующих излучений, различают ионизационный, сцинтилляционный, химический, фотографический и другие методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений.

Важнейшим элементом большинства приборов, предназначенных для измерения ионизирующих излучений является детектор. Детектор — это часть (элемент) прибора, применяемая для обнаружения ионизирующих излучений, измерения их энергии. К детекторам относятся ионизационные камеры, сцинтилляционные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, фотопластинки и др.

Ионизационный метод основан на ионизации атомов и молекул, которая происходит под влиянием ионизирующих излучений в среде (газовом объеме), в результате чего электропроводимость среды увеличивается, что может быть зафиксировано соответствующими электронно-техническими приспособлениями.

В качестве детектора наиболее часто применяется *ионизационная камера*. Она состоит из двух электродов, между которыми находится газовая среда (воздух или другой газ), которые подключены к источнику питания для создания электрического поля. При отсутствии ионизирующих излучений ток в электрической цепи камеры протекать не будет, так как в ней нет свободных электронов и сопротивление ее бесконечно большое.

Под действием ионизирующих излучений в газовой среде камеры образуются ионы и электроны, которые в результате разности потенциалов на электродах приобретают направленное движение к соответствующим электродам (аноду или катоду). В электрической цепи начинает протекать

ток, который регистрируется измерительным приспособлением. Величина ионизационного тока пропорциональна величине излучений. Ионизационные камеры могут иметь различные форму и конструкцию. Наиболее часто применяются цилиндрические камеры (рентгенметр ДП-3Б) и плоские. В некоторых камерах используется конденсатор (конденсаторные камеры) – комплекты дозиметров ДП-24, ДП-23А, ДК-02, КИД-2 и др.

Ионизационные камеры используются для измерения всех видов ядерных излучений. Малая проникающая способность альфа-частиц вынуждает использовать для их регистрации камеры с очень тонкими окнами.

5. Сцинтилляционный и люминесцентный методы дозиметрии

Сцинтилляционный метод. В некоторых веществах (сцинтилляторах) под действием ионизирующих излучений происходит ионизация и возбуждение атомов. При переходе атомов из ионизированного и возбужденного состояния в основное высвечивается энергия в виде вспышек света (сцинтилляций), которые могут быть зарегистрированы различными способами (наблюдением или же с помощью фотоэлектронного умножителя). Энергия света может быть переведена в электрический сигнал (импульсы электрического тока).

По составу сцинтилляторы делят на неорганические и органические, а по агрегатному состоянию – на твердые, пластические, жидкие и газовые. Из неорганических сцинтилляторов для регистрации бета- и гамма-излучений используют йодистый натрий (калий), активированный талием – NaI (Tl), KJ (Tl); для регистрации альфа-излучений – сернистый цинк, активированный серебром – ZnS (Ag); для регистрации гамма-излучений – йодистый цезий, активированный талием – CsI (Tl), сернистый кадмий, активированный серебром – CdS (Ag). Применяют также в качестве сцинтилляторов йодистый литий – LiI, вольфрамат кадмия – CdWO₄, а также инертные газы: аргон (Ar), ксенон (Xe), криптон (Kr).

Из органических веществ наибольшее распространение получили такие, как антрацен (C₁₄H₁₀), нафталин (C₁₀H₈), стильбен (C₁₄H₁₂), пластмассы и др.

Сцинтилляционные счетчики обладают большой эффективностью счета – до 100%. С помощью сцинтилляционных счетчиков можно по числу импульсов, возникающих в них в единицу времени, определить активность источника, а по величине тока в электрической цепи – мощность дозы излучения. На этом принципе основано действие индивидуальных измерителей доз – ИД-11.

Люминесцентный метод. Сущность этого метода заключается в том, что в твердом теле – люминофоре – под действием ионизирующих излучений происходит накопление поглощенной энергии, которая может быть затем освобождена при дополнительном возбуждении. В зависимости от дополнительного возбуждения различают радиофотолюминесценцию и радиотермолюминесценцию.

Радиофотолюминесценция. Некоторые сорта стекла (фосфатные, активированные серебром) после облучения ионизирующими излучениями становятся люминесцирующими, хотя до воздействия на них излучений такими свойствами не обладали. Свечение вызывается дополнительным воздействием на облученное стекло ультрафиолетовым светом. С помощью стекла измеряют дозы от 10–50 Р и выше. Стекло на основе лития позволяет производить измерения от 0,015 до 10^4 – 10^5 Р. В радиофотолюминесцентном дозиметре (ФЛД) в диапазоне 0,01–10 Гр люминесценция пропорциональна дозе, в диапазоне 300–500 Гр интенсивность ее достигает максимума.

Радиотермолюминесценция. Значительный интерес представляют термолюминесцентные вещества – фтористый кальций, борат лития, плавленый шпат, у которых после воздействия ионизирующих лучей люминесценция может быть вызвана последующим их нагреванием. Такие вещества позволяют производить измерения в пределах от 5–10 мР до 10^3 – 10^4 Р и более. К люминесцентным дозиметрам относятся ДПГ-02, ДПС-11, ИКСА и др.

6. Химический и фотографический методы регистрации излучений

Химический метод обнаружения ионизирующих излучений основан на способности некоторых веществ в результате воздействия излучений распадаться, образуя новые химические соединения. Возбужденные атомы и молекулы диссоциируют, образуя свободные радикалы. Образованные ионы и свободные радикалы вступают в реакции между собой или с другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о наличии и количестве ионизирующих излучений.

Так, хлороформ в воде при облучении распадается с образованием хлороводородной кислоты, которая даст цветную реакцию с красителем (бромкрезолом пурпурным), добавленным к хлороформу. По плотности (интенсивности) окрашивания судят о дозе излучения (поглощенной дозе). На этом принципе построен химический гамма-дозиметр ДП-70М.

В качестве химических детекторов, кроме хлороформа, применяют: сульфат железа – FeSO_4 (ферросульфатный детектор); сернистый цериий – $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ (цериевый детектор); четыреххлористый углерод (CCl_4) – на основе хлорзамещающих углеводородов.

С помощью этого метода измеряется доза гамма-излучения, а также нейтронного излучения. Дозы измеряются в пределах 10–100 Р и выше (система хлороформа), а при использовании четыреххлористого углерода с этиловым спиртом – от нескольких долей Р и выше.

Химический дозиметр ДП-70 М используется вместе с полевым калориметром ПК-56. Дозиметр представляет стеклянную ампулу, заполненную бесцветной жидкостью. Под действием излучения жидкость изменяет

окраску от бледно-розовой до ярко-малиновой. Плотность окраски пропорциональна дозе излучения. Ампула помещена в металлический футляр с крышкой. На внутренней стороне крышки расположен цветной индикатор, окраска которого соответствует дозе в 50 Р.

Для более точного определения используют полевой калориметр, который имеет вращающийся диск со светофильтрами разной плотности окраски, соответствующие дозе в 0, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600, 800 Р. Диск вращают до совпадения плотности окраски раствора в ампуле с одним из дисков (в окне камеры калориметра читаем дозу излучения в рентгенах).

Фотографический метод. Фотографические детекторы основаны на свойстве ионизирующих излучений воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов аналогично видимому свету. Для детектирования обычно применяют рентгеновские пленки, представляющие собой чувствительную эмульсию, нанесенную с одной или с двух сторон на целлюлозидную подложку. В состав эмульсии входит бромистое или хлористое серебро, равномерно распределенное в слое желатина.

Под действием ионизирующих излучений бромид серебра распадается на бром и серебро. Образовавшиеся наимельчайшие кристаллы серебра при проявлении фотопластинок вызывают ее почернение. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения (поглощенной дозе). Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу излучения (экспозиционную или поглощенную). Плотность почернения фотослоя измеряют с помощью специальных приборов – фотометров или денситометров.

К числу достоинств этих детекторов можно отнести возможность массового применения для индивидуального контроля доз, возможность совместной и раздельной регистрации дозы от бета- и гамма-излучений. Недостатки – малая чувствительность пленок, низкая точность, трудоемкость обработки пленок, невозможность повторного использования облученных пленок.

7. Дозиметрические приборы, их классификация и краткая характеристика

Основной задачей дозиметрии является обнаружение и оценка степени опасности ионизирующих излучений для населения в различных условиях радиационной обстановки. С помощью дозиметрических приборов осуществляются:

- обнаружение и измерение мощности экспозиционной и поглощенной дозы излучения для обеспечения жизнедеятельности населения;
- измерение активности радиоактивных веществ, плотности потока излучений; удельной, объемной, поверхностной активности различных объектов для определения необходимости и полноты проведения дезактивации и санитарной обработки;

- измерение экспозиционной и поглощенной доз облучения в целях определения работоспособности и жизнеспособности населения в радиационном отношении;
- лабораторное измерение степени загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания, воды и т.д.

Классификация дозиметрических приборов осуществляется по их назначению, типу датчиков, измерению вида излучения, характеру электрических сигналов, преобразуемых схемой прибора. Почти все современные дозиметрические приборы работают на основе ионизационного метода. Основными узлами приборов являются детекторы излучений, служащие для обнаружения излучений; электрическая схема преобразования импульсов; измерительные или регистрирующие устройства; источники тока.

По функциональному назначению приборы подразделяются на индикаторы, радиометры, рентгенометры, дозиметры.

Дозиметры. Предназначены для определения суммарной дозы облучения (экспозиционной или поглощенной), или же соответствующих мощностей доз гамма- или рентгеновских излучений. В качестве детектора (датчика) используются ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, сцинтилляционные счетчики и др. К стационарным относятся СПСС-02, СД-1М и др. Переносные дозиметры – СРП-68-01, КИД-2, комплект дозиметров ДП-24, ДК- 0,2 и др. Промышленность выпускает также так называемые бытовые (карманные) дозиметры, предназначенные для измерения экспозиционной дозы в воздухе, т.е. работающие как рентгенметры («Мастер-1», «Горизонт», «Бела-2», «Сосна» и др.). Их применяют в загрязненных районах для того, чтобы контролировать уровень гамма-фона и избежать сильного загрязнения цезием-137.

Индикаторы. Это простейшие приборы для обнаружения излучения и ориентировочной оценки мощности экспозиционной дозы (уровня радиации), главным образом, гамма- и бета-излучений. Детектором служит газоразрядный счетчик. К этой группе относятся индикатор-сигнализатор ДП-64, измеритель мощности дозы ИМД-21 и др.

Рентгенметры. Они предназначены для измерения мощности дозы рентгеновского или гамма- излучения. Диапазон измерения – от сотых долей рентгена до нескольких сот рентген в час (Р/ч). В качестве датчиков используют ионизационные камеры или газоразрядные счетчики. К ним относятся рентгенметр ДП-3Б, «Кактус», ДП-2 и др.

Радиометры (измерители радиоактивности). Применяются для обнаружения и определения степени радиоактивного загрязнения поверхностей, оборудования альфа- и бета – частицами; плотности потоков или интенсивности радиоактивных излучений; активности проб внешней среды.

ЗАНЯТИЕ №6

(семинар №3)

ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ:** 1. Изучить действие радиации на биологические объекты, ближайшие и отдаленные последствия облучения.**ВРЕМЯ:** 2 учебных часа (80 мин).**МЕТОД:** семинарское занятие.**МЕСТО:** учебный класс.**Вопросы семинарского занятия:**

1. Основные источники облучения человека.
2. Миграция радионуклидов в природе. Действие излучений на растения и организм животных.
3. Пути поступления радионуклидов в организм человека. Пищевые цепочки.
4. Типы распределения радионуклидов в организме человека.
5. Этапы биологического действия ионизирующих излучений на организм человека. Радиационные повреждения на различных уровнях биологической организации организма.
6. Клинические проявления действия радиации на организм человека. Ближайшие и отдаленные последствия облучения.
7. Острая и хроническая лучевая болезнь. Действие малых доз радиации.

Рефераты:

1. Радиация вокруг нас.
2. Биологическое действие ионизирующих излучений.

ЛИТЕРАТУРА для самостоятельной работы студентов:**а) основная:**

1. Ветрова В.Т., Колесник А.В. и др. Курс радиационной безопасности. – Мн.: Ураджай, 1995. – С. 75–99.
2. Галицкий Э.А., Забелин Н.Н. и др. Основы радиационной безопасности. – Гродно, ГрГУ, 2001. – С. 29–104.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. – Мн.: Выш. шк., 1995. – С. 42–76.
4. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2003. – С. 48–98.
5. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2004. – С. 45–80.

б) дополнительная:

1. Ковалев С.Д. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязненных радионуклидами: Уч. пособие. – Мн., 1997.

2. Кульменева Л.Г., Котов Н.Н. Радиобиология: Уч. пособие. – Мн.: Нар. асвета, 1998.
3. Люцко А.М. Радиационная безопасность. Вучэб. дапам. – Мн.: Нар. асвета, 1994.
4. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К СЕМИНАРУ

1. Основные источники облучения человека

Понятие о радиационном фоне. Под радиационным фоном принято понимать ионизирующие излучения от природных (естественных) источников космического и земного происхождения, а также от искусственных радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека. Радиационный фон обусловлен факторами окружающей среды и не включает облучение лиц, которые работают с источниками ионизирующего излучения, а также излучение, применяемое с диагностическими и лечебными целями.

Различают естественный радиационный фон, искусственный радиационный фон, технологически измененный (повышенный) радиационный фон.

Естественный радиационный фон (ЕРФ) является основным компонентом радиационного фона. Источниками ЕРФ являются ионизирующие излучения, которые действуют на человека на поверхности Земли от внешних естественных источников неземного происхождения (космических излучений), внешних естественных источников земного происхождения (присутствующих в земной коре, воде, воздухе), а также от внутренних источников (т.е. радионуклидов естественного происхождения, которые содержатся в организме человека). От естественных источников радиации мы получаем 78% облучения.

Естественный радиационный фон является неотъемлемым фактором внешней среды и играет значительную роль в жизнедеятельности человека. Естественные радиоактивные элементы вошли в состав Земли с самого ее образования. Эволюционное развитие показывает, что в условиях естественного радиационного фона обеспечиваются оптимальные условия для жизнедеятельности растений, животных и человека. Способность радиоактивного излучения вызывать мутации послужила, наверное, одной из главных причин эволюции биологических видов в сторону повышения их организации.

Естественный радиационный фон на поверхности Земли не является строго постоянной величиной. Его изменения связаны как с глобальными, так и с локальными аномалиями. Они обусловлены циклическими колебаниями космического фона и следствием геологических процессов, когда в

результате интенсивной вулканической деятельности и горообразования тяжелые естественные радионуклиды, прежде всего уран и торий, а также продукты их распада переместились из недр на поверхность Земли. Поэтому одни из жителей Земли получают более значительные дозы, чем другие, в зависимости от того, где они живут. В Белоруссии средняя эквивалентная доза облучения от естественных источников составляет 2,4 мЗв/год. В некоторых районах Бразилии эта доза достигает 10 мЗв в год, а в штате Кералла (Индия) даже до 28 мЗв/год.

Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов (асбест), использование природного газа для приготовления пищи, герметизация помещений – все это увеличивает облучение за счет естественных источников.

Характеристика космических излучений. Космические излучения – это ионизирующие излучения, непрерывно падающие на поверхность Земли из мирового пространства и образующиеся в земной атмосфере в результате взаимодействия указанных излучений с атомами воздуха.

Различают первичное и вторичное космическое излучение. **Первичное космическое излучение** представляет собой поток элементарных частиц, приходящих на земную поверхность из разных областей всемирного пространства. Оно образуется вследствие извержения и испарения материи с поверхности звезд и туманностей. Различают внегалактические, галактические и солнечные излучения. Космическое излучение состоит из протонов (92%), альфа-частиц (7%), ядер атомов лития, бериллия, углерода, азота, кислорода и других элементов (1%).

Первичное космическое излучение отмечается большой проникающей способностью, энергия его высокая – до 10^{19} эВ. Солнечное излучение возникает в основном при вспышках на Солнце, возникающих с характерным 11-летним циклом, энергия их не превышает 40 МэВ.

Атмосфера защищает биологические объекты от губительного действия первичных космических частиц. Космические лучи постепенно теряют свою энергию, растрачивая ее на многочисленные столкновения с ядрами атомов воздуха. При этом в результате электронно-фотонных и электронно-ядерных взаимодействий образуются мезоны, электроны, позитроны, протоны, нейтроны, гамма-кванты, которые и составляют **вторичное космическое излучение**. Приобретая часть энергии первичных космических частиц, вторичные космические лучи вызывают ионизацию атомов элементов воздуха, они же в основном и достигают поверхности Земли. Вторичное космическое излучение имеет максимум на высоте 20–30 км.

Интенсивность космических излучений зависит от географической широты и высоты над уровнем моря. Так как космические лучи в основном являются заряженными частицами, то они отклоняются в магнитном поле Земли и концентрируются на полюсах, в то время как в экваториальной об-

ласти поверхности достигают лишь частицы, обладающие максимальными энергиями. Мощность космического излучения увеличивается с увеличением высоты над уровнем моря (в результате разрежения атмосферы). Так, если средняя доза от космических лучей составляет 0,3 мЗв в год, то на высоте 4500 м она составляет до 3 мЗв, а на вершине Эвереста (8848 м) — 8 мЗв в год.

В период максимальной солнечной активности поток космических лучей нарастает. Волновые излучения (в том числе и рентгеновские) достигают поверхности Земли через 8–15 мин после обнаружения вспышки на Солнце, а корпускулярные приблизительно через сутки. Каждая вспышка на Солнце влияет на человека, причем колебания магнитного поля очень сильно действуют на больных.

Внешние источники радиации земного происхождения

Вторым источником естественного радиационного фона являются радионуклиды земного происхождения. В земной коре рассеяны долгоживущие (с периодом полураспада в миллиарды лет) изотопы, которые не успели распасться за время существования нашей планеты. Распадаясь, они образуют промежуточные, также радиоактивные, изотопы.

Внешними источниками излучений являются более 60 естественных радионуклидов, находящихся в биосфере Земли. Все естественные радионуклиды в зависимости от их происхождения можно разделить на 2 категории: радионуклиды земного происхождения и космогенные радионуклиды. Радионуклиды земного происхождения в свою очередь делятся на 2 группы.

К первой группе относятся элементы, образующие три радиоактивных семейства — урана, тория, актиноурана и продукты их распада. К ним относятся 32 радионуклида урана-радиевого и ториевого рядов.

Наиболее распространены в земной коре уран и торий. Природный уран, рассеянный в горных породах, относительно редко образует крупные месторождения, но общее его количество на Земле значительно больше, чем серебра или ртути. Природный уран представляет собой смесь трех изотопов: урана-238 (99,28%), урана-235 (0,71%) и урана-233 (0,006%).

Распадаясь, каждый из названных тяжелых ядер рождает множество радиоактивных ядер, так что образуется соответствующее семейство. Важнейшими из образованных 45 радионуклидов являются: уран-234, актиний-228, торий-230, радий-226, радон-222, полоний-210 и др. Эти промежуточные продукты в основном короткоживущие, они встречаются в виде примесей в месторождениях элементов — родоначальников семейств. Период полураспада колеблется от $3 \cdot 10^{-7}$ с ($^{212}_{84}\text{Po}$) до $2,5 \times 10^5$ лет ($^{234}_{92}\text{U}$). Конечными продуктами трех семейств являются стабильные изотопы свинца.

Уран и торий в породах всегда сопровождают друг друга, концентрируясь преимущественно в гранитах. Однако в дальнейшем их пути рас-

ходятся, так как торий не образует растворимых соединений, а уран образует растворимые в сернокислых водах соединения. Торий и уран представляют собой перспективный материал для атомной промышленности. Запасы тория во много раз больше, чем урана-235.

Радионуклиды земного происхождения, не входящие в семейства. Ко второй группе естественных радионуклидов земного происхождения принадлежат радионуклиды, не входящие в радиоактивные семейства (11 долгоживущих радионуклидов: калий-40 с периодом полураспада $1,31 \times 10^9$ лет, кальций-48 – 2×10^{16} лет, рубидий-87 – $6,15 \times 10^{10}$ лет и др.). Наиболее распространенным является рубидий-87. Он составляет 27,8% природного элемента, но энергия его излучений небольшая (бета-частиц – 0,394 МэВ). Рубидий – антагонист калия. В некоторых растениях он накапливается в значительном количестве (1 л виноградного сока содержит 1 мг рубидия).

Калий является очень распространенным в литосфере (земной коре толщиной 15–70 км) и биосфере. Является типичным биологическим элементом. Природный калий состоит из трех изотопов (^{39}K , ^{40}K , ^{41}K), из которых только калий-40 – радиоактивен. В земной коре содержится 2,6% калия. В свободном виде не встречается, так как очень химически активен (входит в состав полевых шпатов, слюды). Калий-40 вносит значительный вклад в радиационный фон. Эквивалентная доза за счет калия-40 составляет 0,3 мЗв/год (за счет внешнего облучения – 0,12 мЗв/год, внутреннего – 0,18 мЗв/год).

Космогенные радионуклиды – образуются в результате ядерных реакций протонов и нейтронов, входящих в состав первичного и вторичного космического излучения, с ядрами элементов воздуха (N, O, Ar и др.). К космогенным радионуклидам относятся 14 изотопов – тритий, дейтерий, бериллий-7, углерод-14, углерод-13, натрий-22, фосфор-32, фосфор-33, хлор-35 и др.



Полученные углерод-14 и тритий являются космогенными радионуклидами, поступая в организм, они являются источниками внутреннего облучения. Бериллий-7, натрий-22, 24 относятся к источникам внешнего облучения.

Искусственная радиоактивность. В формировании фонового облучения существенную роль играют искусственные источники радиации. Явление искусственной радиоактивности открыто в 1934 г. супругами Жолио-Кюри, которые показали, что при бомбардировке альфа-частицами ядер легких элементов образуются другие элементы, являющиеся радиоактивными

Ядра стабильных элементов можно бомбардировать также нейтронами. В настоящее время известно свыше 900 радионуклидов, получаемых искусственным путем. Особенно много искусственных радионуклидов по-

лучают в ядерных реакторах, в т.ч. и реакторах АЭС. Большинство из них являются альфа-излучателями и имеют большие периоды полураспада. Не существует элементов, у которых не было бы радиоактивного изотопа.

Искусственные радионуклиды появились в связи с деятельностью человека. Они подразделяются на три группы:

1. **Радиоактивные продукты ядерного деления.** Они возникают при реакциях деления ядер ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и т. д., которые происходят в результате действия на них нейтронов. Источники этой группы радионуклидов в атмосфере – испытания ядерного оружия, работа предприятий ядерного топливного цикла и атомной промышленности (ядерно-энергетические установки, радиохимические заводы и т. д.). При ядерных взрывах образуется около 250 изотопов 35 элементов. К радиоактивным продуктам деления (РПД): относятся: ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{140}Ba , ^{133}Xe и многие другие. Период полураспада РПД от нескольких секунд до нескольких десятков лет.

Большинство образующихся радионуклидов являются бета- и гамма-излучателями (^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba), остальные испускают или только бета-частицы (^{90}Sr , ^{135}Cs) или альфа-частицы (^{144}Nd , ^{147}Sm).

2. **Радиоактивные трансурановые элементы,** возникающие в ядерно-энергетических установках и при ядерных взрывах в результате последовательных ядерных реакций с ядрами атомов делящегося вещества и последующего радиоактивного распада образующихся сверхтяжелых ядер. К этим радионуклидам относятся ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm и др. В основном они альфа-активны, характеризуются очень большим периодом полураспада, отсутствием стабильных изотопов.
3. **Продукты наведенной радиоактивности,** образующиеся в результате ядерных реакций. Нейтроны, образующиеся при цепной реакции деления урана или плутония воздействуют на ядра стабильных элементов, превращая их в радиоактивные (реакция активации). К этим радионуклидам относятся: ^{45}Ca , ^{24}Na , ^{27}Mg , ^{29}Al , ^{31}Si , ^{65}Zn , ^{54}Fe и др. Большая часть их распадается с испусканием бета-частиц и гамма-излучения.

Характеристика основных естественных радионуклидов

Уран. Природный уран состоит из смеси трех изотопов: уран-234, уран-235, уран-238. Имеются искусственные радиоактивные изотопы – с массовыми числами 227-240. Период полураспада урана-235 – 7×10^8 лет, урана-238 – $4,5 \times 10^9$ лет. При распаде урана и дочерних радионуклидов испускаются альфа- и бета-излучения, а также гамма-кванты. Проникает уран в организм разными путями, в том числе и через кожу. Растворимые соединения быстро всасываются в кровь и разносятся по органам и тканям, накапливаясь в почках, костях, печени, селезенке. Биологический период выведения из легких – 118–150 суток, из скелета – 450 суток. За счет урана и продуктов его распада годовая эквивалентная доза составляет 1,34 мЗв.

Торий. Торий-232 – инертный газ. Продукты его распада – твердые радиоактивные вещества. Период полураспада – $1,4 \times 10^{10}$ лет. При превращениях тория и продуктов его распада выделяются альфа-, бета-частицы, а также гамма-кванты. В минерале торианите содержится до 45–88% тория. Из сплава тория с обогащенным ураном изготавливаются ТВЭЛы. В организм поступает через легкие, желудочно-кишечный тракт, кожу. Накапливается в костном мозге, селезенке. Биологический период полувыведения из большинства органов – 700 суток, из скелета – 68 лет.

Радий. Радий-226 является важнейшим радиоактивным продуктом распада урана-238. Период полураспада равен 1622 года. Это серебристо-белый металл. Широко применяется в медицине в качестве источника альфа-частиц для лучевой терапии. Поступает в организм через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и кожу. Большинство поступившего радия депонируется в скелете. Биологический период полувыведения из костей около 17 лет, из легких – 180 дней, из других органов выводится в первые двое суток. При попадании в организм человека вызывает повреждение костной ткани, красного костного мозга, что приводит к нарушению гемопоэза, переломам, развитию опухолей. В течение одних суток 1 г радия дает при распаде 1 мм^3 радона.

Радон. Радон-222 – бесцветный газ без запаха, продукт распада радия-226. Период полураспада – 3,83 суток. Радон – альфа-излучатель. Он образуется в месторождениях урана в радиоактивных рудах, содержится в природном газе, грунтовых водах и т.д. Может выходить и по трещинам горных пород, в плоховентилируемых шахтах, рудниках его концентрация может достигать больших величин. Радон встречается во многих строительных материалах. В атмосферу поступает также при вулканической деятельности, при производстве фосфатов, работе геотермальных энергетических станций.

В лечебных целях применяется в виде радоновых ванн при лечении заболеваний суставов, костей, периферической нервной системы, хронических гинекологических заболеваний и др. Применяется также в виде ингаляций, орошений, приема внутрь воды, содержащей радон. В организм поступает в основном через органы дыхания. Период полувыведения из организма в пределах суток. Радон дает $\frac{3}{4}$ годовой эквивалентной дозы от земных источников облучения, и около $\frac{1}{2}$ дозы от всех естественных источников радиации.

Калий. Калий-40 – серебристо-белый металл, в свободном виде не встречается, так как очень химически активен. Период полураспада $1,32 \times 10^9$ лет. При распаде излучает бета-частицу. Является типичным биологическим элементом. Потребность человека в калии – 2–3 мг на кг веса в сутки. Много калия содержится в картофеле, свекле, помидорах. В организме всасывается 100% поступившего калия. Он распределяется равномерно по

всем органам, относительно больше его в печени, селезенке. Период полувыведения около 60 суток.

Характеристика основных искусственных радионуклидов

Йод. Йод-131 образуется в реакциях деления урана и плутония, а также при облучении теллура нейтронами. Период полураспада 8,05 дней. Поступает в организм через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (всасывается 100% поступившего йода), кожу. Накапливается в основном в щитовидной железе, концентрация его в железе в 200 раз выше, чем в других тканях. Распадаясь, йод выделяет бета-частицу и 2 гамма-кванта. Период полувыведения из щитовидной железы 138 дней, из других органов 10–15 суток. Из организма беременной женщины йод через плаценту переходит к плоду.

Цезий. Цезий-137 вносит решающий вклад в суммарную эквивалентную дозу облучения. Цезий – серебристо-белый металл. Является источником бета- и гамма-излучений. Период полураспада цезия-137 – 30 лет. До аварии на ЧАЭС основным источником поступления цезия в окружающую среду являлись ядерные взрывы. Большая часть выпавшего цезия находится в форме, которая легко усваивается. В растениях в основном накапливается в соломе и ботве. В кишечнике человека всасывается 100% поступившего цезия. Накапливается он в основном в мышечной ткани. Период полувыведения из мышц – 140 суток.

Стронций. Период полураспада стронция-90 – 28,6 лет (у стронция-89 – 50,5 суток). Стронций-90 – бета-излучатель. Стронций легко усваивается растениями, животными, человеком. Концентратором стронция является кукуруза, содержание стронция в ней в 5–20 раз больше, чем в почве. В организме человека в зависимости от диеты усваивается в желудочно-кишечном тракте от 5% до 100% поступившего стронция (в среднем 30%). Накапливается в основном в скелете. Максимальная концентрация наблюдается у детей до 1 года. Период полувыведения стронция из мягких тканей составляет до 10 суток, из костей – до 8–10 лет и более.

Плутоний. Плутоний-239 является альфа-излучателем. Период полураспада его 24390 лет. Это серебристо-белый металл. Источником поступления плутония являются ядерные взрывы, а также реакторы АЭС, особенно аварийные выбросы. В почве находится в поверхностных слоях и донных отложениях водоемов. Поступает в организм через легкие и желудочно-кишечный тракт, причем усваивается из ЖКТ значительно меньше 1%. Накапливается в легких, печени, костной ткани. Период полувыведения из скелета составляет 100 лет, из печени – 40 лет.

Америций. Америций-241 – продукт распада плутония-241 (период полураспада ²⁴¹Pu составляет – 14,4 года). Период полураспада америция-241 составляет 432,2 года, при распаде выделяется альфа-частица. Америций растворяется в воде значительно лучше плутония, поэтому отличается

большей миграционной способностью. Накапливается до 99% в поверхностных слоях почвы, 10% америция находится в растворенной форме и легко усваивается растениями. Концентрируется у человека в скелете, печени, почках. Период полувыведения из скелета — до 30 лет, из печени — до 5 лет.

2. Миграция радионуклидов в природе

Радиоактивные вещества, прежде чем попасть в организм человека, проходят по сложным маршрутам в окружающей среде.

Очищение атмосферы от радионуклидов происходит под влиянием гравитационных сил (сил всемирного тяготения), а также под воздействием ряда метеорологических факторов (дождя, тумана, снега, града). Радионуклиды оседают на поверхность Земли, в основном на почвенный покров. Решающую роль в очищении тропосферы выполняют осадки (захват частиц падающими каплями). Оседание радионуклидов на растительный покров происходит и без осадков, в результате турбулентного движения воздушных потоков в атмосфере. Возможно поступление радионуклидов в почву после их сброса в гидрографическую сеть с паводковыми водами, при орошении полей и т.д.

Оседая на земную поверхность — почвенно-растительный покров, радиоактивные изотопы (как естественные, так и искусственные) включаются в биологический круговорот в системе почва — растения — животные — человек.

Попадая в почву, радионуклиды мигрируют в ней. Под миграцией радионуклидов в почве понимается совокупность процессов, приводящих к перемещению радионуклидов в почве и перераспределению их по глубине и в горизонтальном направлении.

Миграция радиоактивных веществ при их попадании в почву зависит от ряда условий: физико-химических свойств изотопов; физико-химических свойств почвы (типа почвы); характера движения грунтовых вод; кислотности среды; климатических условий; времени нахождения радионуклидов в почве и т.д. К движущим силам, приводящим к миграции радионуклидов в почвах, относятся:

- конвективный перенос (фильтрация атмосферных осадков в глубь почвы, капиллярный подток влаги к поверхности в результате испарения, термоперенос влаги под действием градиента температуры);
- диффузия свободных и адсорбированных ионов;
- перенос по корневым системам растений;
- перенос на мигрирующих коллоидных частицах;
- роющая деятельность почвенных животных;
- хозяйственная деятельность человека;
- ветровая эрозия почвы.

Различные почвы обладают разной емкостью поглощения радионуклидов. Высокой емкостью поглощения обладают черноземы, глинистые

почвы, сорбционная способность которых обусловлена наличием гумуса. Поглощительная способность дерново-подзолистых, песчаных почв значительно меньшая. Миграция радионуклидов вглубь почвы протекает крайне медленно. Основная масса радионуклидов до сих пор распределена в 10-сантиметровом слое почвы, а на пашне – в пахотном горизонте. В ближайшие 20–25 лет самоочищения почв в результате миграции радионуклидов в нижележащие горизонты не произойдет.

Радионуклиды и растительный мир. В растительные организмы радионуклиды попадают во время атмосферных осадков, при фотосинтезе (углерод и тритий участвуют в образовании углеводов, белков и других компонентов растительной ткани) и из почвы. В общем цикле круговорота радионуклидов в наземной среде важным является звено почва – растения. В результате загрязнения почвы радиоактивными веществами отмечается их поступление в наземную растительность.

Накопление радионуклидов растениями из почвы зависит от комплекса факторов: физико-химических свойств радионуклидов; агрохимической характеристики почвы; биологических особенностей растений; агротехники возделывания культур; климатических условий.

Радиоактивные изотопы, находящиеся в почве, как правило, переходят в корневую систему растений, аналогично стабильным изотопам тех же элементов. Из песчаных легких почв радионуклиды поступают в растения значительно легче, чем из тяжелых глинистых почв. Чем сильнее радиоизотоп фиксируется в почве, тем меньшее его количество попадает в растения. Так, например, овес, выращенный на песке, накапливает стронция-90 в несколько раз больше, чем овес, выращенный на суглинке. При этом из глинистого песка поступает 8–10%, а из тяжелых суглинков – всего 1% от всего стронция-90, попавшего в почву. Относительное накопление растениями различных изотопов из почв следующее: стронций > йод > барий > цезий > рубидий > церий > цирконий > плутоний. При одинаковой плотности загрязнения почвы стронцием и цезием, концентрация стронция в грубых кормах в 40–50 раз выше, чем цезия.

Такие изотопы, как стронций и цезий легко проникают через корневую систему во все органы растений. Другие же радионуклиды – церий, цирконий, плутоний – накапливаются в основном в корневой системе растений.

Многолетние луговые травы могут накапливать большое количество радиоактивных веществ, что превышает накопление однолетними сельскохозяйственными культурами. В лесной зоне наибольшей способностью задерживать радиоактивные вещества обладают хвойные породы деревьев, что связано с медленной сменой игл. Имеются там называемые растения – концентраторы, которые способны жадно захватывать радиоактивные вещества, усваивая их с большой площадью. Это лишайники, мхи, грибы, бобовые, злаки. Стронций-90 в 2–6 раз интенсивнее поглощается бобовыми

культурами, чем злаковыми. Наиболее интенсивно идет накопление радионуклидов в листьях и стеблях. Так, в созревших растениях фасоли стронций-90 распределяется следующим образом: в листьях 53–68%, в стеблях 15–28%, створках бобов 12–15%, в зерне 7–14%. Озимые культуры накапливают радионуклиды в меньших количествах, чем яровые. По количеству цезия-137 от меньшего к большему растения можно расположить в ряд: пшеница < ячмень < горох < гречка < овес < фасоль < картофель < морковь < свекла < бобы. Грибы накапливают радионуклиды на 1–2 порядка больше, чем их концентрация в почве. По накоплению цезия-137 в плодовых телах грибы делятся на 4 группы:

- слабонакапливающие (опенок осенний, строчок);
- средненакапливающие (подберезовик, белый гриб, лисичка, шампиньон, рядовка);
- сильнонакапливающие (груздь черный, рыжик, сыроежки всех видов);
- аккумуляторы (гриб польский, масленок, волнушка, козляк, моховик).

В шляпках накапливается цезия-137 в 1,5–3 раза больше, чем в ножках.

Из дикорастущих ягод сильнее всего концентрируют радионуклиды клюква, малина, черника, земляника (самая «чистая»). По накоплению цезия-137 ягоды располагаются в убывающем порядке: черника, голубика, брусника, клюква, земляника. Содержание радионуклидов на приусадебном участке в ягодах меньше, чем в лесу. Смородина (красная и черная) накапливает радионуклиды, крыжовник является наиболее «чистым».

Повышенное содержание стронция и цезия характерно для ароматической столовой зелени: в укропе, петрушке, шпинате, и особенно в щавеле. Лук, капуста, свекла накапливают радионуклидов меньше, чем огурцы, томаты, морковь.

По накоплению стронция-90 древесными растениями установлен следующий убывающий ряд: осина, береза, ольха, ель, сосна, дуб. Береза поглощает из почвы цезия-137 в 2–18 раз, а стронция-90 – в 13 раз больше, чем сосна.

При отмирании травянистой и древесной растительности, а также с пожнивными остатками радионуклиды возвращаются в процессы миграции.

Действие излучений на организм растений и животных. Первичные реакции в сложном растительном организме начинаются с действия радиации на биологически активные молекулы, входящие в состав практически всех компонентов живой клетки. Биологические процессы, вызванные облучением растений, связаны с множеством обменных реакций в клетках. В зависимости от дозы облучения и фазы развития растений в момент воздействия излучений у вегетирующих растений наблюдается значительная вариабельность изменений обменных процессов. Реакция

растительных объектов на действие гамма- и рентгеновского излучения проявляется в виде активации или подавления ростовых процессов, что вызывает изменение темпов клеточного деления.

При действии повреждающих доз излучений в растениях возникают различные морфологические аномалии. Так в листьях происходит увеличение или уменьшение количества и размеров, изменение формы, скручиваемость, асимметричность расположения листьев, утолщение листовой пластинки, опухоли, появление некротических пятен. При поражении стеблей наблюдается угнетение или ускорение их роста, нарушается порядок расположения листьев, изменяется цвет, появляются опухоли и аэральные корни. Наблюдается также угнетение или ускорение роста корня, расщепление главного корня, отсутствие боковых корней, появление вторичного главного корня, опухолей. Происходит также изменение цветков, плодов, семян — ускорение или задержка цветения, увеличение или уменьшение количества цветков, изменение цвета, размеров и формы цветков; увеличение или уменьшение количества плодов и семян, изменение их цвета и формы и т.д.

В ряде случаев действие больших доз облучения на растения повышает темпы развития их вследствие активации процессов старения — растение быстрее зацветает и созревает. Разнообразны и генетические повреждения. В результате мутаций, например, у пшеницы встречаются высокорослые, низкорослые, карликовые формы, растения с ветвящимися или стелющимся стеблями. При больших дозах возможна гибель растений.

При действии излучений в невысоких дозах (5–10 Гр для семян и 1–5 Гр для вегетирующих растений) наблюдается так называемая радиостимуляция — ускорение темпов роста и развития растений. Стимуляция наблюдается при действии гамма-, бета- и рентгеновских излучений (при действии альфа-излучений стимуляции не наблюдается).

При действии больших доз уменьшается не только количество зерна на урожае, но заметно изменяется и его качество — обычно зерно оказывается шуплым.

Таким образом, реакция растений на действие излучений сложна и разнообразна. Процессы, происходящие на молекулярном и клеточном уровне, в целом сходны у всех живых организмов. На более высоких уровнях организации проявляются только характерные для растений изменения, зависящие от особенностей структуры и функций различных тканей и органов растительного организма.

С травой и другими растениями радионуклиды попадают в организм животных, т.е. основным источником радиации является корм. Поступление через органы дыхания и через кожу играет незначительную роль. Попадшие в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) радионуклиды вступают в процессы метаболизма, включающие всасывание, перемещение по отдельным органам и тканям, депонирование и выведение. От интенсивности

этих процессов зависит, в конечном счете, накопление радионуклидов в продукции животноводства.

Интенсивность и величина всасывания радионуклидов в ЖКТ зависят от химической формы соединения, в которое включен радионуклид и его физико-химических свойств. Коэффициент всасывания различных радионуклидов различен у разных животных. Такие радионуклиды как йод-131, цезий-137, тритий всасываются в ЖКТ полностью, а стронций-90 — 6–16%. Всасывание зависит от возраста животных (у молодых особей всасывание в несколько раз больше).

Биологические эффекты действия радиации на животный мир изучены недостаточно. Известно, что очень высокие дозы приводят к гибели млекопитающих, меньшие — к заболеваниям, генетическим изменениям, половым расстройствам, неспособности к воспроизведению, выкидышам. Биологические эффекты, происходящие в клетках подразделяются на 2 группы: стохастические и нестохастические.

Стохастические эффекты признаются беспороговыми и могут наблюдаться в клетках животных после минимальных доз облучения. К ним относятся: 1) репродуктивная гибель клетки; 2) возникновение генных мутаций; 3) появление хромосомных aberrаций; 4) злокачественная трансформация клетки.

Нестохастические эффекты имеют пороговую дозу, ниже которой изменения отсутствуют. К нестохастическим реакциям относятся: 1) радиационная задержка и стимуляция деления клеток; 2) угнетение синтеза ряда веществ; 3) пострадиационное разрушение ДНК; 4) изменение проницаемости биологических мембран; 5) нарушение обмена кальция и функционирования ферментативных систем.

При действии радиационных излучений наблюдаются радиационные эффекты в тканях и органах животных. Прежде всего, наблюдается патология кроветворения и связанная с ней депрессия клеточных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов). Эти изменения характерны для клинического синдрома острой лучевой болезни. Под действием излучений меняется весь комплекс защитных механизмов и реакций организма (клеточных и гуморальных факторов иммунитета). При радиационных поражениях меняется естественная устойчивость к эндогенным (внутреннего происхождения) инфекциям. Негативное влияние гамма-излучений на воспроизводительную функцию сельскохозяйственных животных и качество потомства определяется в основном поражением эмбриона в период дифференцировки органов, а также семяродного эпителия яичек и яичников родителей.

По клиническому проявлению, характеру течения и исходу заболевания при общем облучении у животных различают острую и хроническую лучевую болезнь.

Из местных поражений возможно радиоактивное загрязнение кожных покровов с развитием бета-ожогов кожи, по тяжести поражения различают четыре степени: легкую, среднюю, тяжелую и крайне тяжелую.

3. Пути поступления радионуклидов в организм человека.

Пищевые цепочки

Радиоактивные вещества могут попадать в организм человека тремя путями: через органы дыхания (при вдыхании загрязненного радиоактивными аэрозолями воздуха), через желудочно-кишечный тракт (с продуктами питания и водой), через кожу (резорбция через кожу). С воздухом в организм человека поступает несколько более 1% радиоактивности. Примерно 5% попадает с питьевой водой. Основную опасность представляет поступление радионуклидов с пищей.

Наиболее важным и потенциально опасным является ингаляционное поступление радионуклидов. Этому содействует большая дыхательная поверхность альвеол, площадь которой достигает 100 м^2 и более (более чем в 50 раз превышает площадь кожи). Кроме того, этот путь опасен и из-за более высокого коэффициента захвата и усвоения изотопов из воздуха.

Радиоактивность воздуха может быть обусловлена содержанием в нем радиоактивных газов или аэрозолей в виде пыли, тумана, дыма. Доля радионуклидов, которые задерживаются в дыхательной системе, зависит от размера частиц, минутного объема легких и частоты дыхания.

При вдыхании воздуха радиоактивные вещества, содержащиеся в нем (частицы радиоактивной пыли), задерживаются на всем протяжении дыхательного тракта от преддверия носа, носоглотки, полости рта до глубоких альвеолярных отделов легких. При этом между размером частицы и глубиной ее проникновения имеется зависимость. Чем меньший диаметр частиц, тем относительно меньше их задерживается в верхних дыхательных путях, бронхах и тем больше их проникает в альвеолярные отделы легких, т.е. в те области, где отсутствуют механизмы, которые способны выводить попавшие частицы в бронхи и трахею (т.е. наружу).

Дальнейшая судьба радионуклидов, отложившихся в дыхательных путях, также связана с размерами радиоактивных частиц, их физико-химическими свойствами и транспортабельностью в организме. Вещества, хорошо растворяющиеся, в основном быстро (за несколько десятков минут) всасываются в кровеносное русло. Этому содействует широкое развитие сети капилляров, через которые и происходит обмен газов в легких. Затем эти вещества в процессе обмена веществ откладываются в определенных органах и системах или выводятся из организма.

Вещества, слабо растворяющиеся или не растворяющиеся, оседают в верхних дыхательных путях и выделяются вместе со слизью, после чего с большой вероятностью попадают в ЖКТ, где всасываются кишечной стенкой.

Частицы, которые осели в альвеолярной части легочной ткани, либо захватываются фагоцитами и удаляются, либо мигрируют в лимфатические узлы легких, трахей, удаляясь из них в течение нескольких месяцев и даже лет.

Второй по значимости путь — **поступление радионуклидов с пищей и водой**. Питательные вещества вместе с фоновыми концентрациями естественных радиоактивных веществ могут быть загрязнены искусственными радионуклидами, которые из внешней среды по биологическим пищевым цепочкам попадают в растения, организм животных и, наконец, в продукты питания.

Дальнейшая судьба радиоактивных веществ зависит от их растворимости в кислой среде желудка. Многие растворимые соединения, а именно редкоземельные и трансурановые элементы, в частности соединения плутония, при щелочной среде кишечного сока превращаются в нерастворимые соединения. Возможно и обратное, когда плохо растворимые в воде вещества в жидкой среде ЖКТ превращаются в растворимые компоненты, которые хорошо всасываются в кровь через эпителий кишечника.

В организм поступает только некоторая часть радионуклидов, попавших в кишечник, большая часть их проходит «транзитом» и удаляется из кишечника. Коэффициент всасывания (резорбции) — это доля вещества, которая поступает из ЖКТ в кровь. Он равен для трития, натрия, криптона, йода, цезия, ксенона — 1,0; стронция — 0,3; теллура — 0,25; урана, радия — 0,2; бария, полония — 0,1; церия, висмута — 0,05; плутония — 0,0005. Радиоактивные вещества, которые в ЖКТ всасываются в количестве менее 1% (коэффициент всасывания менее 0,01) очень быстро удаляются с калом (в течение 1–4 суток).

Таким образом, в случае поступления радионуклидов в организм с продуктами питания и водой, когда отдельные участки кишечника поглощают значительную часть энергии излучаемых частиц, ЖКТ становится критическим органом.

Поступление радионуклидов через кожу. До недавнего времени считали, что неповрежденная кожа является эффективным барьером для радионуклидов. Резорбция через неповрежденную кожу в 200–300 раз меньше, чем из ЖКТ. Сейчас известен целый ряд радионуклидов, которые проникают через кожу в составе жидких или газообразных соединений (особенно через порезы, царапины, ссадины). Так, скорость проникновения паров оксида трития и газообразного йода через неповрежденную кожу сравнивается со скоростью проникновения этих веществ через дыхательные пути, а количество плутония, проникающего через кожу в виде водорастворимых соединений, не меньше, чем при поступлении через ЖКТ. При приеме радоновой ванны на протяжении 20 минут в организм проникает через кожу до 4% радона, содержащегося в воде. Хорошо проникает

через кожу молибден, церий, иттрий. Стронций, цезий, теллур через кожу всасывается медленно.

Пищевые цепочки. Радионуклиды в организм человека поступают через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (с водой и пищей) и через кожу. Большинство радионуклидов поступает с продуктами растениеводства и животноводства. Пути миграции радионуклидов в организм человека различны и осуществляются в основном по следующим пищевым цепочкам.

1. Атмосфера — почва — растения — человек (так поступают в организм человека радионуклиды с овощами, ягодами, злаками, грибами и т.д.).
2. Атмосфера — почва — растения — травоядные животные — молоко и мясные продукты — человек (из почвы радионуклиды поступают в корневую систему растений, а затем в вегетативные органы). Имеет место и поступление радионуклидов в организм животных с пищей, так корова слизывает за год до 600 кг земли, в т.ч. и загрязненной радионуклидами.
3. Атмосфера — растения — животные — молоко и мясные продукты — человек (в этом случае радионуклиды в растения поступают аэральным путем, а затем уже в организм животных).
4. Атмосфера — вода открытых водоемов — фито- и зоопланктон и другие обитатели водоемов — рыбы — человек. Ракообразные, моллюски, водоросли и вообще придонные животные загрязняются более сильно из-за сорбции радиоактивных веществ. В организм рыб радионуклиды поступают с пищей и через жабры.
5. Атмосфера — вода — человек (с водой поступает до 5% активности). Питьевая вода очищается довольно быстро, так как радиоактивные частицы оседают на дно водоемов.

Мясомолочные продукты — основные поставщики радиоактивности в организм человека. Если до аварии на ЧАЭС активность цезия-137 в молоке не превышала 0,3 Бк/л, то в мае 1986 г. на юге Гомельской области она составляла 330000 Бк/л. Загрязнение молока осенью 1986 г. в Гомельской области составило 3577 Бк/кг (по РДУ-96 уровень содержания цезия-137 в молоке не должен превышать 114 Бк/л, в мясе — 600 Бк/кг). Из-за глобальных выпадений при испытаниях ядерного оружия на Новой Земле олениводы приполярной тундры получили дозы в 100–1000 раз большие, чем остальное население (ягель, которым питаются олени, является концентратом радиоактивных веществ).

Внешнее и внутреннее облучение. Существует два различных пути, при помощи которых излучение достигает ткани организма и воздействует на них.

Первый путь — **внешнее облучение** от источника, расположенного вне организма. Оно вызывается гамма-излучением, рентгеновским излучением, нейтронами, которые глубоко проникают в организм, а также бета-лучами с высокой энергией, способными проникать в поверхностные слои

кожи. Источниками фонового внешнего облучения являются космические излучения, гамма-излучающие нуклиды, которые содержатся в породах, почве, строительных материалах (бета-лучи в этом случае можно не учитывать в связи с низкой ионизацией воздуха, большим поглощением бета-активных частиц минералами и строительными конструкциями).

Значительная часть суммарной дозы внешнего облучения обусловлена естественными источниками радиации, она образуется за счет гамма-излучающих веществ, содержащихся в поверхностном слое пород и почв. Годовая эквивалентная доза, обусловленная гамма-излучением естественных радионуклидов, содержащихся в почве, оценивается путем умножения средней мощности поглощенной дозы в воздухе на относительное время нахождения человека на открытой местности (равное 0,2) и на коэффициент, равный 0,7 (отношение мощности эквивалентной дозы к поглощенной дозе в воздухе для средних значений гамма-излучения).

$$D = 50 \text{ нГр/час} \times 0,7 \text{ Зв/Гр} \times 8760 \text{ часов в год} \times 0,2 = 61 \text{ мкЗв/год.}$$

Доза внешнего облучения, которая обусловлена бета-частицами естественных радионуклидов, содержащихся в почве и воздухе, составляет $7 \text{ мкЗв/год} = 0,007 \text{ мЗв/год}$.

Второй путь – **внутреннее облучение** от ионизирующих излучений радиоактивных веществ, находящихся внутри организма (поступивших при вдыхании, приеме пищи и воды, проникновении через кожу). В организм попадают как естественные, так и искусственные радиоизотопы. Подвергаясь в тканях тела радиоактивному распаду, эти изотопы излучают альфа-, бета-частицы, гамма-лучи.

Опасность внутреннего облучения. Существует ряд особенностей, которые делают внутреннее облучение во много раз более опасным, чем внешнее (при одних и тех же количествах радионуклидов):

1. При внутреннем облучении увеличивается время облучения тканей организма, так как при этом время облучения совпадает со временем нахождения РВ в организме (при внешнем облучении доза определяется временем нахождения в зоне радиационного воздействия).
2. Доза внутреннего облучения резко возрастает из-за практически бесконечно малого расстояния до тканей, которые подвергаются ионизирующему воздействию (так называемое контактное облучение).
3. При внутреннем облучении исключается поглощение альфа-частиц роговым слоем кожи (альфа-активные вещества становятся наиболее опасными).
4. За небольшим исключением РВ распределяются в тканях организма неравномерно, а выборочно концентрируются в отдельных органах, еще более усиливая их облучение.
5. В случае внутреннего облучения нет возможности использовать методы защиты, которые разработаны для внешнего облучения (экра-

нирование, сокращение времени нахождения в поле действия РВ, удаление от источника облучения).

За счет естественной радиоактивности (фона природных изотопов и космических излучений) индивидуальная эквивалентная доза составляет 2,4 мЗв/год, в т.ч. за счет внешнего облучения 0,8 мЗв/год, за счет внутреннего облучения 1,6 мЗв/год.

4. Типы распределения радионуклидов в организме

Судьба радионуклидов, попавших в организм, зависит от их свойств и химической природы. Различные вещества по разному накапливаются и выводятся из организма. Одни из них в виде растворов выводятся с мочой, другие могут задерживаться в организме на различные сроки.

Существуют три основных типа распределения радионуклидов в организме: скелетный, ретикулоэндотелиальный, диффузный (равномерный).

Наиболее важным и потенциально опасным является **скелетный тип (остеотропные вещества)**. Он характерен для щелочноземельных металлов — кальция, стронция, бария, радия, а также иттрия, циркония, цитратов плутония. Эти радионуклиды накапливаются в минеральной части скелета, т.е. в костной ткани. Они концентрируются по соседству с красным костным мозгом, самым радиочувствительным органом человеческого тела. При этом поражается система кроветворения, страдает иммунитет и могут развиваться злокачественные перерождения крови — лейкозы.

Ретикулоэндотелиальный тип распределения характерен для радионуклидов редкоземельных элементов — лантана, церия, празеодима, прометия, а также цинка, америция, тория, плутония, калифорния и др. Все они концентрируются в селезенке, лимфатических узлах, где образуются лейкоциты (лимфоциты). В результате уменьшения количества лимфоцитов снижается иммунитет.

Равномерное (диффузное) распределение характерно для щелочных элементов — лития, калия, натрия, цезия, рубидия, а также для трития, азота, углерода, полония и некоторых других элементов. Цезий, калий, рубидий накапливаются в основном в мышечной ткани.

Для изотопов германия, висмута, урана, кадмия, мышьяка, платины, рутения и других характерен **почечный тип** распределения радионуклидов. В почках откладывается до 5% от общего количества радионуклидов, поступивших в организм человека.

По **печеночному типу** распределяются такие радионуклиды, как лантан, церий, прометий, нитраты плутония и др. В печени накапливается до 60% этих радионуклидов.

Известны случаи высокой избирательности накопления радионуклидов. Так по **тиреотропному (щитовидному) типу** накапливается йод, астат, рений, теллур, технеций. Йод избирательно накапливается в щитовидной железе, концентрация его в железе в 100–200 раз больше, чем в других

тканях. При облучении в больших дозах происходит дегенерация, потеря функции щитовидной железы и склероз сосудов ее. В дальнейшем увеличивается частота доброкачественных и злокачественных опухолей железы.

Следствием большой неоднородности накопления радионуклидов в тканях являются специфически формирующиеся патологические процессы, например, цирроз печени, очаги склероза в легких и изменения в костной ткани, в том числе образование остеосарком.

Выведение радионуклидов из организма. Попавшие в организм радионуклиды участвуют в обмене веществ по принципу, аналогичному тому, как это происходит для их стабильных изотопов. Выводятся они из организма через те же самые выделительные системы, что и их стабильные носители.

Основное количество радиоактивных веществ выводится через желудочно-кишечный тракт и почки, в меньшей степени — через легкие и кожу. У кормящих матерей часть радионуклидов выделяется с молоком (йод-131). Скорость выведения радионуклидов зависит от их природы, возраста, функционального состояния организма, особенностей поступления и распределения в организме радионуклидов и от других факторов. Наиболее быстро выводятся радионуклиды, депонирующиеся в тканях, где скорость обмена веществ высокая. Так, остеотропные радионуклиды выводятся медленнее, потому что в костной ткани обмен веществ ниже, чем в мягких тканях. Кроме того, они способны включаться непосредственно в костную ткань, замещая там кальций (к ним относятся стронций-90, барий-140). Свободные радионуклиды быстрее выводятся из организма (йод-131, рутений-106, цезий-137). Связанные с тканевыми структурами (белком) и находящиеся в коллоидном состоянии радионуклиды выводятся медленнее (лантан-140, церий-144, прометий-147). Цезий-137 выводится из организма быстрее, чем стронций-90, а йод-131 быстрее, чем цезий-137.

Различны также пути выведения. При хроническом поступлении большая часть йода-131 и цезия-137 выводится через почки, тогда как стронций-90, барий-140, кобальт-60, рутений-106 выводятся в основном через желудочно-кишечный тракт.

Поскольку различные ткани по-разному связывают один и тот же радионуклид, то и скорость выведения из этих тканей различна. Скорость выведения характеризуется биологическим периодом полувыведения. Биологический период полувыведения — это время, за которое из организма выводится половина радионуклидов, поступивших в организм.

Биологический период полувыведения йода-131 из целостного организма 138 суток, щитовидной железы — 138, печени — 7, селезенки — 7, скелета — 12 суток. Биологический период полувыведения для цезия-137 из организма равен 70 суткам, из мышц, легких и скелета — 140 суток. Биологический период полувыведения стронция-90 из мягких тканей — 5–8 суток, из костей — до 150 суток (16% выводится с периодом полувыведения

равным 3360 суток). Радий-226 выводится из скелета человека с периодом полувыведения 17 лет, из легких — 180 суток.

5. Этапы действия ионизирующих излучений на человека. Радиационные повреждения на различных уровнях биологической организации организма

Под биологическим действием ионизирующих излучений понимают связанную с облучением совокупность морфологических и функциональных изменений в живом организме.

Ионизирующие излучения обладают высокой биологической активностью. Они способны вызывать ионизацию любых химических соединений биосубстратов, образование активных радикалов и этим индуцировать длительно протекающие реакции в живых тканях. Воздействуя на живой организм, ионизирующее излучение вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений в клетках, тканях, органах и организме в целом. Результатом биологического действия радиации является нарушение нормальных биохимических процессов с последующими функциональными и морфологическими изменениями в клетках и тканях организма, вплоть до его гибели.

Влияние радиации на вещество — это серия актов взаимодействия фотонов или частиц высокой энергии с атомами (молекулами) вещества.

Воздействие ионизирующих излучений на биологические объекты подразделяют на 5 этапов:

1. Физический этап. Первичным пусковым моментом, инициирующим многообразные процессы, происходящие в организме, является ионизация и возбуждение атомов и молекул. Физический этап заключается в передаче энергии фотона или частицы одному из электронов атома. Для ионизации большинства элементов, входящих в состав биологического субстрата необходимо поглощение энергии в 10–12 эВ. Ионам и возбужденным атомам свойственна повышенная химическая реактивность, они способны вступать в такие реакции, которые невозможны для обычных атомов. Длительность этапа 10^{-12} – 10^{-8} с.

2. Физико-химический этап взаимодействия излучения с веществом протекает в зависимости от состава и строения облучаемого вещества. Принципиальное значение имеет наличие в облучаемой ткани воды и кислорода. В основе первичных радиационно-химических изменений молекул лежат 2 механизма, обозначаемые как прямое и косвенное действие радиации.

Под **прямым действием** радиации понимают передачу энергии излучения непосредственно молекуле, которая испытывает превращения. Ионизирующие излучения (точнее — электроны, образовавшиеся в момент облучения) взаимодействуют непосредственно с биомолекулами, в результате чего происходит перенос части кинетической энергии на биомолеку-

лы. Это приводит их в ионизованное или возбужденное состояние. При ионизации и возбуждении сложных молекул происходит их диссоциация (распад) в результате разрыва их химических связей. Прямое воздействие радиации может вызвать расщепление молекулы белка, разрыв наименее прочных связей, отрыв радикалов и другие денатурирующие явления. В первую очередь разрушаются ферменты и гормоны.

Под **косвенным действием** понимают изменения молекул клеток и тканей, обусловленные продуктами радиационного разложения (радиолиза) воды и растворенных в ней веществ, а не энергией излучения, поглощенной самими молекулами. В организме косвенное действие осуществляется через продукты радиолиза воды, которая в живой клетке составляет 60–70 и даже 90% ее массы. Именно в воде растворены белки, нуклеиновые кислоты, ферменты, гормоны и другие жизненно важные вещества, являющимися основными компонентами клетки, которым легко может быть передана энергия, первоначально поглощенная водой.

При взаимодействии ионизирующих излучений (гамма-квантов, заряженных частиц) с атомами происходит ионизация и возбуждение атомов. При радиолизе воды под действием излучения из молекулы воды выбивается электрон и образуется положительно заряженный ион воды. «Вывранный» электрон присоединяется к нейтральной молекуле воды, образуя отрицательный ион воды. Ионы воды, которые при этом образовались, в свою очередь распадаются (диссоциируют), с образованием свободных радикалов водорода и гидроксида. Обладая большой химической активностью, свободные радикалы взаимодействуют друг с другом (происходит рекомбинация, восстановление воды, образуются молекулы водорода и молекулы воды, выделяется кислород, являющийся сильным окислителем, и пероксид водорода). При наличии в среде растворенного кислорода возможна реакция образования гидропероксидного радикала.

Пероксидные вещества обладают сильными окислительными и токсическими свойствами. Вступая в соединения с органическими веществами и прежде всего с молекулами, получившими высокую химическую активность в результате ионизации или возбуждения, они вызывают значительные химические изменения в клетках и тканях (деполимеризацию нуклеиновых кислот, нарушение проницаемости клеточных мембран, повышение проницаемости стенок кровеносных сосудов, сопровождающееся кровотечениями и кровоизлияниями в ткани и органы).

Свободные радикалы вступают также в реакции с органическими молекулами, что приводит к образованию новых радикалов, которые могут вступать в реакцию с биологическими молекулами и приводить впоследствии к радиобиологическому поражению клеточных структур.

Таким образом, при радиолизе воды образуются ионы, свободные радикалы, окислители (перекись водорода — H_2O_2 , атомарный кислород и др.). Свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической ак-

тивностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, окисляя и разрушая их, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму — токсины. Это приводит к нарушению жизнедеятельности отдельных функций или систем и организма в целом.

Индукированные свободными радикалами химические реакции развиваются с вовлечением многих сотен и тысяч молекул, не затронутых непосредственно излучением. В этом и заключается специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты, которая заключается в том, что вызываемый ими эффект обусловлен не столько количеством поглощаемой энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которую эта энергия передается. Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул обуславливают специфику действия ионизирующего излучения.

3. Этап биомолекулярных повреждений. В результате прямого и косвенного действия излучений происходят изменения белков, липидов и углеводов. Поражаются липиды клеточных мембран, нарушая проницаемость их. Повреждаются микромолекулы ферментов, нарушается синтез РНК, тормозится синтез ДНК, наблюдаются одонитчатые и двунитчатые разрывы нитей ДНК, приводящие к хромосомным aberrациям. Имеют место генные мутации, их появление в клетках означает, что клетка содержит генетический материал, отличный от генетического материала, содержащегося в исходных (нормальных) клетках. Повреждаются структурные элементы клетки — ядра, хромосомы, митохондрии, лизосомы, хромосомы, нарушается синтез АТФ (аденозинтрифосфата). Поражение ядра приводит к синтезу измененных белков (в результате нарушения РНК), которые впоследствии приводят к образованию злокачественных опухолей, вторичных радиотоксинов, вызывающих старение организма и лучевую болезнь. Повреждение лизосом приводит к цитолизу, высвобождению ферментов, способных вызывать изменения нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов. Нарушение структуры и функций митохондрий снижает уровень энергических процессов клетки. К числу наиболее радиочувствительных процессов в клетке относится окислительное фосфорилирование, которое ведет к нарушению системы генерирования АТФ, что в дальнейшем ведет к нарушению энергетики клетки и лучевой болезни.

4. Этап ранних биологических и физиологических эффектов. На процесс радиационного поражения влияет ряд факторов: доза и вид облучения, время экспозиции, мощность поглощенной дозы и др. Очень большие дозы вызывают гибель клеток, в результате огромных нарушений всех субклеточных структур и невозможности их восстановления. При маленьких дозах цитолиз не происходит, но снижается репродуктивная способ-

ность. Клетка, утратившая способность делиться, не всегда имеет признаки повреждений, она может еще долго жить и после облучения. Различные клетки обладают разной радиочувствительностью. Наибольшей радиочувствительностью обладают делящиеся клетки. Это кроветворные клетки костного мозга, зародышевые клетки семенников и яичников, клетки эпителия тонкого кишечника. Сюда же относят и лимфоциты, которые, несмотря на их дифференциацию и неспособность к делению, обладают высокой радиочувствительностью.

Группы клеток образуют ткани, из которых состоят органы и системы органов. Ткань – это не просто сумма клеток, это уже система, имеющая свои функции, не сводимые к функции отдельных клеток. Более подвержены радиации ткани, клетки которых активно делятся. Поэтому быстрее повреждается красный костный мозг, желудочно-кишечный тракт. Хотя нервная ткань принадлежит к достаточно устойчивым структурам, в функциональном отношении ЦНС радиочувствительна, так как самые ранние реакции организма на общее облучение проявляются в расстройстве подвижности и уравниваемости процессов возбуждения и торможения нервной системы. Половые железы очень чувствительны к радиации. Яичники взрослых женщин содержат большое число незаменимых яйцеклеток, находящихся на разных стадиях развития. В результате репродуктивной гибели яйцеклеток может наступить стойкое бесплодие.

Гибель отдельных органов может наступить в результате развития злокачественных новообразований (опухолей) – рака щитовидной железы, молочной железы, легких и т.д.

5. Этап отдаленных биологических эффектов. К ним относятся стойкие нарушения функций отдельных органов и систем, сокращение продолжительности жизни, соматические эффекты (лейкозы, злокачественные новообразования, катаракта и др.), изменения генетической характеристики в результате мутаций. Особенно опасно накопление мутаций в генофонде, в результате чего генофонд будет не в состоянии обеспечить воспроизводство нации.

Радиационные повреждения на различных уровнях биологической организации организма. Различают следующие радиационные повреждения:

- **на молекулярном уровне:** повреждаются микромолекулы ферментов, нарушается синтез РНК, тормозится синтез ДНК, возникают односторонние и двусторонние разрывы нитей ДНК, нарушается обмен веществ;
- **на субклеточном уровне:** повреждаются клеточные мембраны, что приводит к нарушению функционирования клеток; повреждаются все структурные элементы клеток – ядра, хромосомы, лизосомы, митохондрии, нарушается синтез АТФ (что ведет к нарушению энергетики клетки);

- **на клеточном уровне** происходит остановка деления и гибель клеток, трансформация клеток в злокачественные;
- **на уровне тканей и органов** происходит повреждение красного костного мозга, желудочно-кишечного тракта, центральной нервной системы. В результате нарушения кроветворения (особенно образования лейкоцитов), снижается иммунная защита, падает сопротивляемость организма к различным инфекциям. Возникают анемии различного типа, атрофические и гипопластические состояния ЖКТ, стерильность (полная или частичная). Усиливаются склеротические процессы (циррозы печени, нефросклерозы, пневмосклерозы, атеросклероз и т.д.). Возникают различные дисгормональные состояния. Причиной гибели могут быть злокачественные опухоли, дисгормональные опухоли (матки, яичников, предстательной железы, половых органов и т.д.);
- **на организменном и популяционном уровнях:** сокращение продолжительности жизни или смерть; изменение генетической характеристики в результате мутаций. Сюда же можно отнести и лейкозы. Эта болезнь характеризуется избыточным содержанием в крови неполноценных белых кровяных клеток. Белые клетки, циркулирующие в крови, сами по себе не делятся, образуются они в результате активного деления стволовых клеток костного мозга и лимфатических узлов. Изменение в одной или более стволовых клетках буквально наводняет неполноценными белыми клетками весь организм, что собственно и представляет собой лейкоз (белокровие), или рак крови.

6. Клинические проявления действия радиации на организм человека. Ближайшие и отдаленные последствия облучения.

Факторы, влияющие на степень тяжести лучевых поражений. Действие ионизирующих излучений на организм человека зависит от следующих факторов:

Величина дозы. Предельно допустимой дозой при однократном облучении (в течение 3–4 суток) является 0,5 Гр, а при многократном (за 10–30 суток) – до 1 Гр. При больших дозах возникает острое лучевое поражение, степень тяжести которого увеличивается с увеличением дозы.

Время облучения. Чем больше продолжительность времени, в течение которого получена одна и та же доза облучения, тем легче протекает лучевое поражение. Экспериментально подтверждено, что в облученном организме ежедневно восстанавливается 1,5–3%, в течение месяца – около 50%, в течение 2-х месяцев – 85% лучевого повреждения.

Возраст облучаемых. Наиболее чувствительны к облучению дети и старики, более устойчивы – люди среднего возраста. У детей еще не выработались защитные механизмы против неблагоприятных факторов внеш-

ней среды, в том числе и радиации; у стариков они уже истощились. Как уже отмечалось, наиболее подвержены действию радиации клетки, которые активно делятся. А наибольшее деление клеток происходит в растущем организме, поэтому воздействие радиации на детский организм особенно опасно. Большую опасность у женщин представляет 8–15 неделя беременности, когда происходит закладка органов плода.

Вид ионизирующих излучений. Биологическое действие излучений в основном определяется их ионизирующей способностью. Для сравнения биологического действия разных видов ионизирующих излучений в радиобиологии введено понятие «относительной биологической эффективности».

Состояние организма в момент облучения. Перегревание, острая кровопотеря, шок, беременность у женщин содействуют более тяжелому течению лучевых поражений.

Индивидуальная радиочувствительность. Разные люди обладают различной индивидуальной чувствительностью к неблагоприятным факторам внешней среды, в том числе и к радиационным воздействиям.

Половые различия. Замечено, что женщины более устойчивы к радиационному воздействию, чем мужчины (это относится и к животным, самцы более чувствительны к действию радиации).

Распределение поглощенной дозы в организме. Поступая в организм человека радионуклиды накапливаются в определенных органах. Так, иод-131, являясь тиреотропным элементом (концентрация его в щитовидной железе в 200 раз выше, чем в других тканях), дает большую дозу внутреннего облучения. Происходит дегенерация, нарушение функций щитовидной железы (гипер- и гипофункции), склероз сосудов, а в дальнейшем увеличивается частота доброкачественных и злокачественных опухолей железы, происходит нарушение ее функций.

Радиочувствительность тканей, органов и систем организма. Радиочувствительность различных органов и систем организма разная. Основные проявления лучевого поражения связаны с поглощенной дозой в критических органах. Критические органы — органы, ткани, части тела, облучение которых причиняет наибольший ущерб здоровью человека, т.е. это органы первыми выходящие из строя.

Наиболее чувствительным к действию радиации является система кроветворения, а именно красный костный мозг, основным предназначением которого является выработка зрелых клеток крови. В результате облучения происходит быстрое опустошение красного костного мозга, так как происходит резкое торможение клеточного деления. Уменьшается количество форменных элементов в периферической крови. В результате снижения количества эритроцитов развивается анемия (малокровие), замедляются процессы репарации (восстановления) и наблюдается дефицит кислорода. Уменьшается количество лейкоцитов, развивается лейкопения,

что приводит к подавлению иммунологических реакций. Снижение количества тромбоцитов ведет к развитию геморрагического синдрома (кровотечений, кровоизлияний).

Другой системой с высокой степенью самовосстановления, а значит и высокой радиочувствительностью является тонкий кишечник и желудок. В результате облучения происходит опустошение ворсинок и крипт кишечника, оголение ворсинок.

Поражение красного костного мозга и тонкого кишечника является важным само по себе. Но оно сопровождается и общими нарушениями, в большей или меньшей степени нарушается согласованность структур и деятельность всех частей тела. Так, поражение костного мозга ведет к уменьшению количества циркулирующих в крови лейкоцитов, а это в свою очередь ослабляет систему защиты от микробов, в том числе и от нормальных обитателей кожи и слизистых оболочек. Поражение слизистой оболочки кишечника приводит к увеличению ее проницаемости, потере белков, солей, жидкости (нарушению баланса жидкости и электролитов), проникновению микробов в кровь, развитию воспалительных процессов (вплоть до общего заражения крови — сепсиса). Микробы и их токсины еще более ослабляют организм, усиливают результаты лучевого поражения.

Ближайшие и отдаленные последствия облучения. Ближайшие последствия — это первичная реакция и поражение организма, наступающее в течение нескольких недель после острого облучения (однократного кратковременного облучения). Они могут быть общими и местными. К общим относится, например, острая лучевая болезнь. Локальные (местные) лучевые поражения включают лучевые ожоги кожи, помутнение хрусталика (лучевую катаракту), выпадение волос (эпиляцию), стерилизацию и др.

Кожа отличается относительно высокой радиопоражаемостью. Наибольшей чувствительностью к радиационному воздействию обладают клетки волосяных фолликулов, в результате чего происходит выпадение волос. Лучевые ожоги включает субэритематозную, эритематозную, буллезную и язвенно-некротическую формы.

Хрусталик является наиболее уязвимой для радиации частью глаза, особенно чувствительна его периферическая часть.

Клетки половых желез высокочувствительны к ионизирующему излучению. Яичники женщин содержат овоциты, которые гибнут при дозе в 4 Гр, что вызывает стойкое бесплодие. У мужчин постоянная стерильность наступает при дозе в 4–6 Гр.

Отдаленные последствия — изменения в организме, возникающие в отдаленные сроки (через годы) после облучения. Они могут быть соматическими, когда изменения возникают в самом облучаемом организме, и генетическими, которые наблюдаются в организме потомков облученного человека.

Различают неопухолевые и опухолевые формы отдаленных последствий.

Неопухолевые формы включают три вида патологических процессов:

1. **Гипопластические состояния** — развиваются главным образом в кроветворной ткани, слизистых оболочках органов пищеварения, дыхательных путей, в коже и других органах. Основными нарушениями являются: гипо- или гиперхромные анемии, лейкопения, атрофия слизистой оболочки желудка, кишечника, гипо- или анацидный гастрит, атрофия половых желез и бесплодие (стерильность).

2. **Склеротические процессы.** Происходит обширное и раннее повреждение сосудистой сети облученных органов, развитие очаговых или диффузных разрастаний соединительной ткани на месте погибших паренхиматозных клеток. Основные нарушения: цирроз печени, нефросклероз, пневмосклероз, атеросклероз, лучевые дерматиты, лучевые катаракты, некрозы костной ткани, поражения нервной системы.

3. **Дисгормональные состояния** развиваются без видимой дозовой зависимости. К проявлениям дисгормональных состояний относятся ожирение, гипопизарная кахексия, несахарный диабет, кистозные изменения яичников, патологические сдвиги в половых циклах, гиперплазия слизистой оболочки матки, паренхимы молочных желез (что может привести к развитию опухолей), поражения щитовидной железы (гипотиреозизм, новообразования), сахарный диабет и др.

Опухолевые формы. К ним относятся опухоли костей, печени, почек, легких, кожи, матки, яичников, предстательной железы, желез внутренней секреции. И, наконец, имеются опухоли сложного генеза — лейкозы, опухоли молочных желез.

Наиболее часто наблюдаются **лейкозы**, развитие которых происходит через 5–25 лет после облучения. Частота лейкозов у облученных по сравнению с необлученными возрастает в 5–10 раз.

Позже возникают другие раковые заболевания (рак щитовидной железы, молочной железы, яичников, желудка и легких), главным образом в результате общего лучевого воздействия. Опухоли кожи и костей являются результатом местного облучения — внешнего (кожа) или внутреннего (кости). При хроническом облучении малыми дозами развитие злокачественных опухолей в 3–10 раз ниже, чем при однократном воздействии той же дозы. Детский организм в силу анатомо-физиологических особенностей и большой чувствительности к действию ионизирующего излучения в большей степени подвергается риску (что видно на примере рака щитовидной железы у детей). Сокращается и время появления раковых новообразований у детей по сравнению со взрослыми.

Возникновение *катаракты (помутнения) хрусталика* — типичное отдаленное последствие тотального облучения организма или местного облучения глаза и хрусталика.

К отдаленным последствиям облучения относится также *нефросклероз*, развивающийся в результате повреждения почечной ткани и замещения ее соединительной тканью. Стойкое повышение АД, характерное для лучевого поражения, в значительной степени зависит от развития нефросклероза.

Радиобиологические эффекты облучения живого организма делятся на пороговые (нестохастические) и беспороговые (стохастические). Радиационными эффектами нестохастического характера следует считать, прежде всего, острую лучевую болезнь, местные повреждения кожи (ожоги), лучевую катаракту, стерилизацию, дистрофические повреждения различных тканей. При этом имеется определенное пороговое значение дозы облучения (например, при одноразовом воздействии радиации в 100 рад), ниже которого видимого действия радиации не наблюдается.

Такие нарушения, как опухоли различной локализации, лейкозы, генетические эффекты, умственная отсталость, уродства носят стохастический беспороговый характер. Вероятность возникновения этих поражений существует при самых минимальных дозах облучения.

Генетические повреждения, вызываемые при облучении ионизирующими излучениями. Генетические повреждения — это передаваемые по наследству повреждения генетического кода в половых клетках. Известно, что элементарной единицей наследственности является ген, который имеет строго определенную структуру и функцию. Все гены клеток организма создают общий генотип индивидуума и этим обеспечивают жизнедеятельность организма как целого.

Мутацией называют изменения в гене или хромосоме. Перед последующим делением клетки измененная хромосома воспроизводит копию самой себя, т.е. происшедшие в ней изменения передаются хромосомам последующих поколений клетки. Таким путем наследуется мутированный ген, он приобретает постоянный характер. Организм, в котором проявляются признаки мутированного гена, принято называть мутантом. Если же мутация произошла в половой клетке, то развивающийся организм будет иметь новые наследственные признаки.

Различают генные, хромосомные и геномные мутации. Генные мутации — это мутации, возникающие в результате изменения лишь одного гена (их называют еще точковыми). Хромосомные мутации — это изменения в структуре хромосом. Все виды хромосомных мутаций, связанных с нарушением структуры хромосом, называют хромосомными aberrациями (отклонениями). Геномные мутации, или мутации кариотипа, это мутации, связанные с изменением числа хромосом.

Появление мутаций в соматических клетках ведет к возникновению соматических эффектов радиации. Одно из проявлений соматических мутаций – злокачественный рост клеток. Мутации соматических клеток по наследству не передаются. Мутации в соматических клетках под действием радиации приводят к нарушениям иммуногенеза. В лимфоидной ткани после облучения могут появляться клетки с хромосомными aberrациями, т.е. они уже являются мутантами и могут вырабатывать антитела против нормальных антигенов хозяина.

Генетические последствия облучения могут наблюдаться при любой дозе. Не установлен дозовый порог, ниже которого излучение не вызывает мутаций.

Мутации приводят к наследственным заболеваниям. Около 10% новорожденных имеют те или иные наследственные нарушения. Среди аутосомных доминантных генных мутаций известны: аниридия, нейрофиброматоз, мышечная дистрофия, поликистоз почек и др. Среди аутосомных рецессивных генных мутаций наиболее часто встречаются микроцефалия, гидроцефалия, идиотия, ихтиоз, миопатия, гемофилия. Мутации могут привести к различным порокам развития и уродствам: гетерохромии (разной окраски радужной оболочки глаз), порокам сердца, дальтонизму, многопалости, «заячьей губе», «волчьей пасти». Мутации могут быть причиной задержки физического и умственного развития. Некоторые относят болезнь Дауна к заболеваниям, вызванным радиацией.

Генные мутации и хромосомные aberrации могут привести к самопроизводным выкидышам. Но даже если дети с наследственными дефектами рождаются живыми, вероятность дожить до года в пять раз меньше, чем для нормальных детей.

Риск генетических повреждений в первых двух поколениях (уродства, умственная неполноценность) составляет 40% от риска рака (рак со смертельным исходом составляет 4,5–7,1% на каждый Зв дозы). По мнению специалистов хроническое облучение при дозе в 1 Гр приводит к появлению 2000 случаев серьезных генетических заболеваний на миллион новорожденных.

8. Острая и хроническая лучевая болезнь, формы, степени тяжести, периоды.

Острая лучевая болезнь (ОЛБ) – это общее нарушение жизнедеятельности организма, характеризующееся глубокими функциональными и морфологическими изменениями всех его систем и органов в результате поражающего действия различными видами ионизирующих излучений при превышении допустимой дозы (или – комплексная реакция организма на воздействие больших доз ионизирующих излучений).

Развернутый симптомокомплекс ОЛБ человека возникает при облучении его в дозах, превышающих 1 Гр. Как уже отмечалось, тяжесть забо-

левания зависит от дозы облучения, ее мощности, вида излучения и особенностей организма.

Формы ОЛБ. В зависимости от тяжести клинических проявлений (а это значит, в зависимости от величины поглощенной дозы излучения) различаются следующие формы ОЛБ: костно-мозговая, переходная, кишечная, токсическая, мозговая.

Костно-мозговая форма ОЛБ возникает при облучении дозами в 1–6 Зв. Ведущую роль в клинической картине играет поражение кроветворной функции костного мозга. Эта форма по тяжести течения подразделяется на степени:

- I степень (легкая) возникает при дозе 1–2 Зв (100–200 Р);
- II степень (средняя) – 2–4 Зв (200–400 Р);
- III степень (тяжелая) – 4–6 Зв (400–600 Р).

Переходная форма ОЛБ возникает при дозе облучения в 6–10 Зв. Для нее характерны поражения кроветворной системы и кишечника. Ее оценивают по тяжести течения как IV степень (крайне тяжелую).

Кишечная форма ОЛБ развивается при облучении в дозе 10–20 Зв (1000–2000 Р). Преобладает поражение тонкого кишечника. Наблюдается денатурация слизистой оболочки тонкого кишечника, потеря жидкости, белков, солей. Картина осложняется микробной инвазией. Желудок, толстый кишечник, прямая кишка подвергаются таким же изменениям, но в меньшей степени. Как правило, исход смертельный (через 8–16 суток).

Токсическая (токсемическая) форма ОЛБ развивается при облучении дозой в 20–30 Зв. При этом наблюдается тяжелая интоксикация, почечная недостаточность (азотемия, олигурия), нарушение сердечной деятельности, падение артериального давления. Смерть в первые 5–7 суток при явлениях отека мозга.

Церебральная (нервная) форма ОЛБ наблюдается при дозе свыше 80 Зв. В результате прямого повреждающего действия облучения на ЦНС (повреждение нервных клеток и сосудов мозга) наблюдается отек мозга, нарушение функций жизненно важных центров (дыхания и кровообращения), развивается коллапс, судороги. Смерть наступает на 1–2 сутки после облучения.

Костно-мозговая форма ОЛБ имеет явно выраженную клиническую картину, которая состоит из ряда симптомов, развивающихся последовательно и характеризующихся определенной периодичностью течения. Различают следующие четыре периода ОЛБ:

1. Период первичной общей реакции на облучение (начальный). Начинается в ближайшие часы после облучения. Длится от нескольких часов (при легкой степени) до нескольких суток. Происходят нарушения нервно-рефлекторной регуляции со стороны ЦНС и появляются симптомы прямого повреждающего действия излучения на лимфоидную ткань и костный мозг. Характерными клиническими симптомами являются: тошнота,

рвота, головная боль, головокружение, потеря аппетита, слабость, сонливость, шаткая неуверенная походка, повышение температуры, покраснение лица, потливость. Со стороны сердечно-сосудистой системы: тахикардия, аритмия, лабильность артериального давления (АД) с тенденцией к снижению (вплоть до коллапса). В тяжелых случаях — понос, что является признаком повреждающего лучевого действия на эпителий кишечника. Со стороны почек — полиурия, белок и глюкоза в моче. В крови — лимфопения.

2. Скрытый период, или период мнимого благополучия. Длится от 10–15 дней (при тяжелой форме) до 4–5 недель. При больших дозах может отсутствовать. Симптомы первичной реакции, обусловленные нервно-регуляторными нарушениями, ослабевают и даже исчезают. Может оставаться лабильность пульса и АД, утомляемость, потливость. В это же время нарушения в организме нарастают: опустошается костный мозг, повреждается эпителий кишечника, подавляется сперматогенез, развиваются поражения кожи (отечность, краснота, иногда пузыри), начинается выпадение волос. Прогрессирует лимфопения. Развивается тромбоцитопения.

3. Период разгара болезни или выраженных клинических проявлений. Продолжительность от одной (при легкой степени) до 2–3 недель. Ухудшается самочувствие, повышается температура, появляются головные боли, головокружение, бессонница, развивается резкая слабость. Расстройство функции кишечника — рвота, исчезает аппетит, развивается понос с кровянистыми выделениями, масса тела снижается на 25–30%. Нарушается проницаемость сосудов и свертываемость крови, что сопровождается кровотечениями и кровоизлияниями в кожу, слизистые оболочки, в жизненно-важные органы. Продолжается выпадение волос, наступает облысение. Количество лимфоцитов и тромбоцитов в крови снижается (до их полного исчезновения из русла крови), уменьшается количество лейкоцитов. Глубокое поражение кроветворной и иммунной систем приводит к развитию инфекционных осложнений (некротические пневмонии и др.), которые могут привести к гибели организма.

4. Период восстановления при благоприятном исходе начинается на 2–5 месяце после облучения и длится от 3–6 месяцев (при легкой степени) до 1–3 лет. Самочувствие улучшается, падает температура. Отступают нарушения нервно-регуляторного порядка, уменьшаются головные боли, улучшается сон. Восстанавливается функция ЖКТ, прекращается рвота и понос, заживают изъязвленные участки слизистых, исчезают геморрагические признаки, медленно восстанавливаются функции кроветворения. На местах облысения через 2–6 месяцев после облучения начинается рост волос. Может сохраниться на длительное время нейроциркуляторная дистония гипотонического типа, нервная истощаемость, эндокринные расстройства, недостаточность функции кроветворения.

Хроническая лучевая болезнь, ее характеристика. Хроническая лучевая болезнь (ХЛБ) — самостоятельная нозологическая (нозологическая —

учение о болезнях) форма лучевого поражения, развивающаяся в результате продолжительного облучения организма малыми дозами в 1–5 мЗв в сутки (0,1–0,5 бэр в сутки) после достижения суммарной дозы в 0,7–1 Зв (70–100 бэр). Облучение может быть общим или местным, внешним или внутренним. ХЛБ, как и ОЛБ, характеризуется фазностью течения, особенностями проявления, связанными с неравномерностью облучения, и также имеет отдаленные последствия.

ХЛБ при внешнем облучении представляет собой сложный клинический синдром (совокупность симптомов) с вовлечением большинства органов и систем, характеризующийся периодичностью течения. Для заболевания характерно постепенное развитие и продолжительный период нарастания нарушений функций организма. Обычно ХЛБ развивается через 2–3 года от начала лучевого действия.

Механизм развития ХЛБ приблизительно такой же, как и при ОЛБ: поражается весь организм, но прежде всего, наблюдается угнетение кроветворения. Своеобразие ХЛБ состоит в том, что в активно пролиферирующих тканях (пролиферация – разрастание ткани организма путем размножения клеток) благодаря интенсивным процессам клеточного обновления длительное время сохраняется возможность морфологического восстановления тканевой организации. В то же время такие стабильные системы, как нервная, сердечно-сосудистая и эндокринная, отвечают на хроническое лучевое воздействие сложным комплексом функциональных реакций и крайне медленным нарастанием дистрофических изменений.

Для ХЛБ характерны: **астенический синдром** (вялость, потеря аппетита, быстрая утомляемость, бессонница, снижение трудоспособности); **нарушение гемопоэза** (умеренно выраженные лейкопения, тромбоцитопения, анемия); **периодически обостряющийся геморрагический синдром; упадок питания и т.д.**

В течении ХЛБ выделяют 4 нечетко разграниченных периода: начальных функциональных нарушений, собственно заболевания, восстановления и последствий. Сроки развития ХЛБ, степень ее тяжести зависят от скорости накопления дозы излучения и индивидуальных особенностей организма; чем быстрее происходит накопление дозы и менее устойчив к воздействию излучения организм, тем быстрее появляется заболевание и тем тяжелее оно протекает.

Строго разграничить заболевание по степени тяжести трудно, однако условно выделяют ХЛБ легкой (I), средней (II), тяжелой (III) и крайне тяжелой (IV) степени, последние три наблюдаются крайне редко.

Легкая степень ХЛБ характеризуется сравнительно небольшими функциональными изменениями со стороны системы крови, а также сердечно-сосудистой системы, увеличением количества эритроцитов, гемоглобина, а затем их уменьшением. Позднее развивается лейкопения, кото-

рая носит нестойкий, умеренно выраженный характер. Уменьшается и количество тромбоцитов.

Длительное и систематическое воздействие ионизирующего излучения приводит к астенизации организма (астения — состояние бессилия, общей слабости). Появляется быстро наступающее утомление, плохое самочувствие, слабость, недомогание, головные боли, нарушение сна. Астеническое состояние, как правило, сопровождается различными вегетативными расстройствами (сосудистой дистонией, падением АД и др.). Могут наблюдаться нарушения функции анализаторов (обонятельного, вкусового, вестибулярного, слухового, зрительного, осязательного), что выражается в повышении порога ощущений.

Отмечается волнообразность симптомов, они то увеличиваются, то уменьшаются. Трудоспособность длительное время не нарушается. После длительного (7–8 недель) лечения может наступить полное выздоровление. Доза облучения не превышает 1,5 Зв.

Средняя степень ХЛБ помимо более выраженных функциональных нарушений, характерных для легкой степени (сильной головной боли, увеличением утомляемости и т.д.), характеризуется отчетливыми деструктивными изменениями в организме, преимущественно в органах кроветворения (снижение количества эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов, тромбоцитов, увеличение проницаемости капилляров и их хрупкости), что проявляется кровоточивостью десен, слизистой оболочки носа и т.д. Явления астенизации прогрессируют, наблюдается потеря веса, снижается аппетит, развивается потливость, акроцианоз. Нередко отмечается стойкая сосудистая гипотония, тенденция к брадикардии, циркуляторные нарушения. Иногда появляются трофические изменения кожных покровов и ногтей. Снижается сопротивляемость инфекциям (грипп, ангина и т.д.). Наступает длительная полная потеря трудоспособности. Доза облучения в пределах 2–2,5 Зв.

Тяжелая степень ХЛБ характеризуется тяжелым состоянием больных. Отмечаются выраженные деструктивные изменения. Дистрофические изменения наблюдаются и в таких радиорезистентных тканях, как соединительная, мышечная. У больных ухудшается самочувствие, развивается резкая слабость, стойкое понижение АД, им нужен постельный режим. Ткани утрачивают способность к нормальной регенерации, выявляются глубокие обменно-трофические нарушения в различных органах, в частности, глубокое подавление гемопоэза. Вследствие ослабления иммунологической реактивности организма возможны инфекционно-септические осложнения. Температура тела повышается, усиливаются кровотечения (носовые, кишечные, из полости рта). Заболевание может закончиться смертью по причине гематологических или инфекционных осложнений. Доза облучения превышает 2,5 Зв.

Крайне тяжелая степень ХЛБ характеризуется более глубоким характером всех изменений в организме. Заболевание, как правило, оканчивается смертью. Для терминального периода характерны глубокие деструктивные изменения в кроветворной системе, ЖКТ и общее истощение (кахексия).

ЗАНЯТИЕ №7

(семинар №4)

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ:

1. Изучить основные регламентирующие документы по радиационной безопасности.
2. Изучить концепцию проживания населения на загрязненных радионуклидами территориях.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕТОД: семинарское занятие.

МЕСТО: учебный класс

Вопросы семинарского занятия:

1. Радиационная безопасность, ее принципы и мероприятия.
2. Основные регламентирующие документы по радиационной безопасности (НРБ-2000, ОСП-2002 и др.).
3. Классификация зон радиоактивного загрязнения. Пути снижения внешнего облучения.
4. Фармакохимическая защита от ионизирующих излучений.
5. Пути снижения внутреннего облучения. Мероприятия по ускорению выведения радионуклидов из организма.
6. Пути снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства.
7. Виды деятельности на территориях с радиоактивным загрязнением.
8. Концепция проживания населения на загрязненных радионуклидами территориях.

Рефераты:

1. Гигиенические аспекты радиационной безопасности.
2. Основы безопасной жизнедеятельности на загрязненных радионуклидами территориях.

ЛИТЕРАТУРА для самостоятельной работы студентов:

а) основная

1. Ветрова В.Т., Колесник А.В. и др. Курс радиационной безопасности. – Мн.: Ураджай, 1995. – С. 116–146.

2. Галицкий Э.А., Забелин Н.Н. и др. Основы радиационной безопасности. – Гродно, ГрГУ, 2001. – С. 142–166.
3. Дарашкевіч М.П., Гапановіч Л.Б. Асновы радыяцыйнай бяспекі. – Мн.: Выш. шк., 1995. – С. 77–91, 108–123.
4. Хлопцев А.Ф., Щигельский О.А. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2003. – С. 98–118.
5. Хлопцев А.Ф., Тарасова И.П. Радиационная безопасность. – Витебск: Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2004. – С. 81–97.

б) дополнительная:

1. Ковалев С.Д. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязненных радионуклидами: Уч. пособие. – Мн., 1997.
2. Кульменева Л.Г., Котов Н.Н. Радиобиология: Уч. пособие. – Мн.: Нар. асвета, 1998.
3. Люцко А.М. Радиационная безопасность. Вучэб. дапам. – Мн.: Нар. Асвета, 1994.
4. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К СЕМИНАРУ

1. Радиационная безопасность, ее принципы и мероприятия

Радиационная безопасность – это комплекс мероприятий (административных, технических, санитарно-гигиенических и др.), ограничивающих облучение и радиоактивное загрязнение лиц из персонала и населения, а также окружающей среды до наиболее низких значений, достигаемых средствами, приемлемыми для общества. Радиационная безопасность населения – состояние защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного воздействия ионизирующих излучений.

Основными принципами обеспечения радиационной безопасности при практической деятельности являются:

- **принцип нормирования** – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;
- **принцип обоснования** – запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза превышает риск возможного вреда, причиненного превышающим естественный радиационный фон облучением;
- **принцип оптимизации** – поддержание на достижимо низком уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз об-

лучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Радиационная безопасность обеспечивается:

- проведением комплекса мероприятий, организационного, инженерно-технического, медико-профилактического, агротехнического, воспитательного и образовательного характера;
- осуществлением органами государственной власти и управления, общественными объединениями, другими юридическими лицами и гражданами мероприятий по соблюдению правил, норм и нормативов в области радиационной безопасности;
- информированием населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению радиационной безопасности;
- обучением населения в области обеспечения радиационной безопасности.

Безопасного облучения, как мы уже выяснили не бывает. Если бы радиобиология имела доказательства о существовании некоторого порога, ниже которого облучение безопасно, необходимо было бы просто всеми допустимыми средствами защиты этого порога придерживаться.

К мероприятиям радиационной безопасности относятся:

- 1) меры по минимизации внешнего облучения;
- 2) меры по уменьшению поступления радионуклидов в организм человека;
- 3) меры по усилению выведения радионуклидов из организма;
- 4) меры по уменьшению радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды.

2. Основные регламентирующие документы по радиационной безопасности (НРБ-2000, ОСП-2002 и др.).

Нормы радиационной безопасности. Для того, чтобы предупредить соматические и свести к минимуму генетические последствия облучения, необходимо ограничивать дозы внешнего и внутреннего облучения населения при добыче, транспортировке, хранении, применении радиоактивных веществ, при использовании ядерных реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских аппаратов и других источников ионизирующих излучений. Нормирование или регламентация ионизирующих излучений – задача радиационной гигиены, изучающей влияние радиоактивного излучения на здоровье человека с целью выработки противорадиационной защиты. Правомерно ли говорить о нормировании ионизирующих излучений, если общеизвестно их вредное биологическое действие? Ответ конечно утвердительный, ибо все живое постоянно подвергается воздействию «радиационного фона» и, кроме того, в связи с бурным техническим прогрессом расширяются радиационные контакты человека. Ионизирующие излучения должны быть разумно нормированы и иметь узаконенную систему регламентации, т.е. должны быть обеспечены необходимые меры

радиационной безопасности для лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений, для всего населения и объектов окружающей среды.

Вопросам гигиенического нормирования (регламентации) ионизирующих излучений в нашей стране занимается НКРЗ – Национальная комиссия по радиационной защите, действующая в качестве консультативного органа при Министерстве здравоохранения. В ее функции входит обобщение и анализ отечественных и зарубежных исследований по вопросам обеспечения радиационной безопасности в различных отраслях народного хозяйства, а также систематическое совершенствование законодательных актов, регламентирующих радиационное воздействие на человека и окружающую среду.

Основными документами, регламентирующими действие ионизирующих излучений являются: Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» от 5.01.1998 г.; «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-2000), принятые 25.01.2000 г.; «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП 2002). В этих документах представлены санитарно-гигиенические нормативы, регламентирующие радиационную безопасность человека. В них излагаются основные требования по обеспечению радиационной безопасности, которые распространяются на все предприятия, учреждения и другие организации, которые производят, обрабатывают, применяют, хранят или транспортируют естественные и искусственные радиоактивные вещества, а также перерабатывают или обезвреживают радиоактивные отходы.

Закон «О радиационной безопасности населения» определяет основы правового регулирования в области обеспечения радиационной безопасности населения, направлен на создание условий, обеспечивающих охрану жизни и здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения. Рассмотрим основные положения этого Закона.

Устанавливаются следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Республики Беларусь в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

- для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 зиверта (0,1 бэр) или эффективная доза за период жизни (70 лет) равна 0,07 зиверта (7 бэр); в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,001 зиверт (0,1 бэр);
- для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 зиверта (2 бэр) или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 зиверту (100 бэр); допустимо облучение в размере годовой эффективной дозы до 0,05 зиверта (5 бэр) при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,02 зиверта (2 бэр).

Регламентируемое значение основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при медицинском облучении (дозы при медицинском обследовании и лечении). Указанные значения пределов доз облучения являются исходными при установлении допустимых уровней облучения организма человека и отдельных его органов.

НРБ-2000 применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения. Требования и нормативы, установленные НРБ-2000, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для местных распорядительных и исполнительных органов, граждан, проживающих на территории Республики Беларусь.

НРБ-2000 устанавливает следующие две категории облучаемых лиц:

- персонал (профессиональные работники), непосредственно работающие с источниками ионизирующих излучений, или лица, которые по роду своей деятельности могут подвергаться облучению;
- население – все население страны, включая лиц из персонала вне сферы и условий их деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- **основные пределы доз (ПД);**
- **допустимые уровни** монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДООА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;
- **контрольные уровни** (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.).

Предел дозы (ПД) – величина эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Основные пределы доз облучения (эффективная доза): для персонала 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год; для населения – 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

Предел годового поступления (ПГП) – допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при мо-

номорфном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами изложены в «Основных санитарных правилах работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП 2002), которые регламентируют основные требования по обеспечению радиационной безопасности. В этих правилах содержатся требования по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения, а также по охране окружающей среды от загрязнения радиоактивными веществами.

ОСП 2002 содержат требования к размещению учреждений и предприятий для работы с радиоактивными источниками, к организации работы с ними, к вентиляции, водоснабжению и канализации, к обезвреживанию радиоактивных отходов и дезактивации, к радиационному контролю и др.

В ОСП-2002 изложены **санитарно-законодательные положения**, регулирующие обеспечение радиационной безопасности с учетом следующих правил:

1. Распространение государственного санитарного надзора на все виды работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.
2. Обеспечение их учета и сохранности.
3. Ответственность администрации за обеспечение радиационной безопасности на объекте.
4. Обязательное оповещение о радиационной опасности.
5. Обязательное применение средств защиты от лучевого воздействия.
6. Изолированное расположение радиоактивных объектов.
7. Ограничения при доступе к работе с радиоактивными веществами.
8. Обязательное осуществление радиационного контроля.
9. Строгое соблюдение требований и правил по охране труда, технике безопасности, пожарной безопасности, производственной санитарии.

В случае аварии на АЭС может произойти выброс радионуклидов в атмосферу, и поэтому возможны следующие виды радиационного воздействия на население:

- а) внешнее облучение при прохождении радиоактивного облака;
- б) внутреннее облучение при вдыхании радиоактивных продуктов деления;
- в) контактное облучение из-за радиоактивного загрязнения кожи;
- г) внешнее облучение, обусловленное радиоактивным загрязнением поверхности земли, зданий и т.д.;
- д) внутреннее облучение при употреблении загрязненных продуктов и воды.

В зависимости от обстановки для защиты населения могут быть приняты следующие меры: ограничение пребывания на открытой местности,

герметизация жилых и служебных помещений на время формирования радиоактивного загрязнения территории, применение лекарственных препаратов, препятствующих накоплению радионуклидов в организме, временная эвакуация населения, санитарная обработка кожных покровов и одежды, простейшая обработка продуктов питания (обмыв, удаление поверхностного слоя и др.), исключение или ограничение употребления в пищу загрязненных продуктов.

3. Классификация зон радиоактивного загрязнения. Пути снижения внешнего облучения.

В 1991 г. принят Закон «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС». Этот закон устанавливает правовой режим территорий Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и направлен на снижение радиоактивного воздействия на население и экологические системы, на проведение природно-восстановительных и защитных мероприятий, на рациональное использование природного, хозяйственного и научного потенциала этих территорий. Закон регулирует режим территорий радиоактивного загрязнения, условия проживания, осуществление хозяйственной деятельности на этих территориях.

При классификации территорий и зон радиоактивного загрязнения приняты следующие критерии:

- 1) возможность проживания населения (величина эффективной эквивалентной дозы облучения);
- 2) уровень загрязнения территории и отдельных экологических систем;
- 3) возможность получения экологически чистой продукции и сырья.

Территории радиоактивного загрязнения – это часть земель, на которых в результате катастрофы возникло продолжительное загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами с плотностью загрязнения радионуклидами цезия-137, стронция-90, плутония-241 соответственно $1,0 - 0,15 - 0,01$ Ки/км² и более, а также другие территории, на которых средняя эффективная эквивалентная доза облучения населения может превышать 1мЗв/год и земли, на которых невозможно получение чистой продукции.

Территория в зависимости от плотности загрязнения почв радионуклидами и степени воздействия на человека (величины эффективной эквивалентной дозы) радиации относятся к следующим зонам:

1. Зона эвакуации (отчуждения) – территории вокруг ЧАЭС, из которой было эвакуировано население (30-ти км зона).
2. Зона первоочередного отселения – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 40 Ки/км² и выше.
3. Зона дальнейшего отселения – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 15 до 40 Ки/км², на которой

среднегодовая эффективная доза облучения человека может превысить 5 мЗв/год (0,5 бэр в год).

4. Зона с правом на отселение – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 5 до 15 Ки/км², на которой среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения 1 мЗв/год (0,1 бэр в год).
5. Зона проживания с периодическим радиационным контролем – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 1 до 5 Ки/км², где среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения не превышает 1 мЗв/год (0,1 бэр в год).

В других разделах и статьях Закона дан правовой режим территорий радиоактивного загрязнения, изложены требования по использованию территорий радиоактивного загрязнения (перечислены виды деятельности в каждой из зон), установлены регламенты захоронения радиоактивных отходов (порядок приема их, выбора места расположения могильников радиоактивных отходов, контроль за захоронением и т.д.), определен порядок радиационного контроля на территориях радиоактивного загрязнения.

Пути снижения внешнего облучения. Внешнее облучение – облучение от источника радиоактивного облучения, находящегося вне организма. Внешнее облучение обычно наблюдается при прохождении радиоактивного облака, а также обусловлено радиоактивным загрязнением поверхности земли, зданий, сооружений и т.д.

Для снижения внешнего облучения используются различные физические и химические методы. Основными способами защиты от внешнего облучения являются: 1) защита временем; 2) защита расстоянием; 3) применение защитных экранов; 4) фармакохимическая защита.

Защита временем – это ограничение времени пребывания в зоне повышенной радиации, тем самым ограничение получаемой дозы. Так, при дезактивации крыши машинного участка Чернобыльской АЭС продолжительность работы в поле излучения ограничивалась 60–90 с (уровень радиации на крыше превышал 170 Р/час). Учитывая то, что доза накапливается со временем, необходимо так организовать работу, чтобы время контакта с источником облучения было бы минимальным.

Защита расстоянием предполагает увеличение расстояния до источника радиации. Излучение точечного источника распространяется во все стороны. Интенсивность облучения снижается с увеличением расстояния до источника по закону обратных квадратов, т.е. интенсивность облучения убывает пропорционально квадрату расстояния до источника. При увеличении расстояния до источника в 2 или 3 раза интенсивность излучения уменьшается соответственно в 4 и 9 раз. Для увеличения расстояния от источника до оператора на атомных предприятиях широко используют дистанционные манипуляторы.

Следующим способом защиты является *экранирование*. Использование защитных экранов позволяет человеку находиться и даже длительно работать вблизи источника радиации, оставаясь в безопасности. Для защиты от радиации используют поглотители такой толщины, которые позволяют ослабить излучение до безопасного уровня. Защитные свойства материалов определяются коэффициентом ослабления. Слой половинного ослабления (т.е. толщина вещества, которое ослабляет радиацию в 2 раза) для фотонов с энергией 1 МэВ составляет для свинца 1,3 см, для бетона – 13 см. Активная зона ядерного реактора на АЭС для защиты от гамма-излучения окружена бетонной стеной такой толщины, чтобы в рабочих помещениях радиация не превышала допустимую величину. Ведь в конце работы реактора РБМК-1000 в нем содержится 1500 МКи продуктов распада ядерного горючего. Источник радиации активностью в 1 Ки на расстоянии в 1 м создает мощность дозы в 1 Р/час. Для защиты от радиоактивного облака нужно было использовать защитные свойства зданий. Внешнее гамма-излучение на первом этаже каменного дома снижается в 10 раз, в подвале 2-х этажного каменного дома – в 100 раз, в подвале многоэтажного каменного дома – в 400 раз.

Ни свинец, ни бетон, ни барит (серноокислый барий) не могут полностью поглотить жесткие гамма- и рентгеновские лучи. Серьезные трудности существуют в защите от потока нейтронов (бетонная и свинцовая защита в этом случае мало эффективна). Наиболее целесообразно использовать в этом случае богатые водородом материалы – воду, парафин, пластики.

4. Фармакохимическая защита от ионизирующего излучения

Фармакохимическая противолучевая защита – способ защиты от ионизирующего излучения с помощью введения в организм незадолго до начала лучевого воздействия химических (лекарственных) препаратов синтетического, животного или растительного происхождения или комплексов, ослабляющих повреждающее действие на организм ионизирующего излучения. Химические вещества «вмешиваются» в ту последовательность реакций, которая разворачивается в облучаемом организме, прерывают эти реакции либо ослабляют их. Они повышают радиорезистентность или снижают чувствительность организма к поражающему действию ионизирующего излучения.

Вещества, обладающие радиозащитным эффектом, называются радиопротекторами. Фармакохимические противолучевые средства принадлежат к различным классам химических соединений. Наиболее часто применяются биогенные амины, в частности аминотиолы (гистамин, ацетилхолин, цистамин, цистафос). Биогенные амины оказывают противолучевое действие как на клеточном и субклеточном уровнях, так и при облучении всего организма.

Реакция организма на облучение очень сложная, и универсального механизма защиты не существует. Концентрация серотонина и мексалина не должна превышать 10–60 мг/кг, цистамина – 120–180 мг/кг, цистофоса – 300–400 мг/кг и т.д. Количественным показателем эффективности радиопротекторов является так называемый фактор изменения дозы (ФИД), который определяется отношением равноэффективных доз: в числителе – дозы излучения при использовании радиопротектора, в знаменателе – дозы излучения без использования радиопротектора. Величина ФИД для отдельных радиопротекторов составляет 1,5–2,0, а при использовании многокомпонентных радиопротекторов достигает 3–4.

Защита от внутреннего облучения очень сложная. Радионуклиды, накапливаясь в отдельных органах, длительно (иногда годами и десятилетиями) излучают фотоны и частицы. Поэтому предварительное применение радиопротекторов, даже наиболее длительно действующих, бессмысленно. Химическая профилактика в этих условиях преследует цель не допущения всасывания радионуклида внутрь организма. Так, при йодной профилактике насыщают организм стабильным йодом (или в виде йодистого калия или 5% йодной настойки – по 5 капель на стакан молока), пока существует опасность проникновения в организм радиоактивного йода.

Ряд веществ содействует мобилизации защитных функций организма в отношении неблагоприятных факторов внешней среды (так называемые вещества – адаптогены). К ним относятся препараты элеутерококка, женьшеня, китайского лимонника, аралии маньчжурской, родиолы розовой и других растений. Они эффективны как при остром, так и при пролонгированном и фракционированном облучении, хотя и при дозах радиации ниже абсолютно смертельных.

К группе веществ природного происхождения, обладающих противолучевой активностью, относятся многие продукты нормального обмена веществ: витамины и их биологически активные формы – коферменты, нуклеиновые кислоты и их производные, многие растительные фенольные соединения, аминокислоты, некоторые углеводы и липиды. Хорошие результаты даст использование аминокислотных комплексов, АТФ, меллитин-полипептида из пчелиного яда, состоящего из 26 аминокислотных остатков.

Довольно часто говорят о защитном действии алкоголя. Действительно, молекулы спирта легко окисляются и способны эффективно захватывать свободные радикалы, которые образуются при радиоллизе воды, но защитное действие не проявляется при хроническом облучении организма. То есть, в данном случае алкоголь может принести только вред. Определенное защитное действие оказывает красное вино, в котором присутствуют фенольные соединения (антоцианы, катехины). Они обладают антиокислительной активностью и могут создавать нерастворимые комплексы с ионами металлов, в том числе и радиоактивными (стронцием-90, цезием-

137 и др.). Связывание металлов в комплексы предотвращает проникновение радионуклидов из пищевода в кровь и ускоряет их выведение вместе с экскрементами. Однако такой эффект может наблюдаться при однократном поступлении радионуклидов и при условии приема вина не позднее 1–1,5 часа после поступления радионуклидов в организм.

5. Пути снижения внутреннего облучения. Мероприятия по ускорению выведения радионуклидов из организма.

Внутреннее облучение – облучение организма, происходящее от источника радиоактивного излучения (радиоактивного вещества), находящегося внутри организма. Оно продолжается непрерывно до тех пор, пока находящееся в организме радиоактивное вещество не распадется или же не будет выведено из организма.

В условиях проживания на загрязненной радионуклидами территории следует учитывать основные принципы снижения внутреннего облучения:

- уменьшение поступления радионуклидов в организм;
- усиление выведения радионуклидов из организма;
- использование радиопротекторных свойств пищи;
- обогащение рациона минеральными солями с целью замещения радионуклидов в организме и восполнения дефицита микроэлементов.

Поступление радионуклидов в организм происходит через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (с водой и пищей) и через кожу.

Для защиты от внутреннего облучения при вдыхании радиоактивных аэрозолей необходимо проводить следующие мероприятия:

- сократить до минимума пребывание на загрязненной радионуклидами (аэрозолями) территории;
- обязательно защищать органы дыхания, для чего использовать респираторы, противогазы, ватно-марлевые повязки;
- защищать кожу и волосные покровы от попадания радиоактивной пыли (использовать головные уборы, косынки);
- укрыться в жилых домах во время рассеивания радиоактивных веществ;
- принять меры защиты от проникновения радионуклидов в дом с воздухом (закрыть форточки, уплотнить рамы и дверные приемы);
- систематически проветривать помещение (в основном с целью снижения концентрации радона);
- поддерживать чистоту помещения, ежедневно производить влажную уборку;
- следить за чистотой одежды и обуви, чаще стирать белье, верхнюю одежду хранить отдельно от домашней;
- обувь регулярно мыть, входя в помещение менять обувь;

- строго соблюдать правила личной гигиены (ежедневно принимать душ, еженедельно мыться в бане);

Для защиты органов дыхания можно использовать подручные средства. Так, мужской платок, сложенный в 16 слоев защищает органы дыхания от аэрозолей в 17 раз; женский платок в 4 слоя защищает в 3 раза; два слоя туалетной бумаги снижают поступление аэрозолей в 12 раз.

Для уменьшения поступления радионуклидов с пищей следует соблюдать следующие гигиенические требования:

- не пить воду из открытых источников, воду хранить в закрытых емкостях;
- пищу принимать в закрытых помещениях, а хранить ее в герметической таре;
- ограничить употребление «местных» продуктов, особенно содержащих большое количество радионуклидов – продуктов «концентратов»: грибы (особенно маслята, моховики, говорушки, горькушки), бобовые (фасоль, горох);
- не употреблять овощи, которые росли в открытом грунте и собраны после поступления радионуклидов в окружающую среду;
- не пить молоко от коров, которые продолжают пастись на загрязненных пастбищах;
- полнее очищать корнеплоды (овощи) от частиц земли, тщательно их мыть;
- снимать кожуру овощей и фруктов, не употреблять кочерыжки от капусты;
- овощи предварительно замачивать в воде на несколько часов;
- готовить «вторичные» бульоны: мясо вымачивают в течение 2–4 часов в холодной воде (10% растворе поваренной соли); воду сливают, заливают новую порцию и доводят до кипения, после чего воду опять сливают и варку ведут в третьей порции воды;
- широко использовать засолку и маринование овощей, фруктов, грибов (рассол и маринад в пищу не употреблять). Содержание радионуклидов снижается при этом в 1,5–2 раза;
- исключить из меню мясокостные бульоны, особенно кислые, так как стронций преимущественно переходит в бульон в кислой среде; исключить из меню холодец;
- проводить рациональную кулинарную обработку пищевых продуктов (приготавливать отварные, а не жареные или тушеные продукты);
- удалять внутренности, сухожилия, головы рыбы и птицы;
- употреблять общеукрепляющие средства, витамины (как в виде натуральных продуктов – овощей, фруктов, ягод, так и в виде аптечных препаратов);

- увеличить употребление таких минеральных веществ, как калий, кальций, фосфор (наличие их в достаточном количестве в продуктах приводит к уменьшению накопления в организме человека радионуклидов: цезия, стронция и др.). Богаты калием фасоль, горох, картофель, шавель, томаты, крупа овсяная и пшеничная, капуста, редис, черная смородина. Кальций содержится в молочных продуктах, фасоли, горохе, крупе овсяной, гречневой, перловой, моркови, капусте. Фосфором богаты яйца, крупа гречневая, овсяная, перловая, горох, фасоль, хлеб ржаной;
- не рекомендуется употреблять вареные яйца, так как в скорлупе накапливается стронций-90, при варке переходящий в белок яиц;
- проводить техническую кулинарную обработку продуктов. Творог содержит цезий-137 в 4–6 раз, сыр – в 10 раз, масло – в 50 раз меньше, чем молоко, из которого они произведены. Отварная рыба содержит цезий-137 в 10 раз меньше, картофель отварной – в 1,7 раза меньше, чем до варки.

Мероприятия по ускорению выведения радионуклидов из организма. Время пребывания радионуклидов в организме определяется, с одной стороны, периодом полураспада, с другой – скоростью процессов их выведения из организма через кишечник, потовые железы, легкие, с желчью.

При отсутствии поступления извне радионуклиды удаляются из мышечной и нервной ткани за 5–30 дней, из печени, почек, селезенки – за 1–2 месяца, из лимфатических узлов – за 2–3 года. Усилить выведение радиоактивных веществ из организма можно регулярным дополнительным введением жидкости (морсы, соки, компоты и т.д.). Рекомендуется применять настои трав и плодов, обладающих слабым мочегонным действием (ромашки, зверобоя, бессмертника, тысячелистника, мяты, шиповника, укропа, тмина, зеленого чая). Для регулярного опорожнения кишечника используют продукты, содержащие клетчатку (хлеб грубого помола, пшено, гречку, перловку, овсянку, капусту, свеклу, морковь). Можно принимать отвары льна, крапивы, ревеня.

Особенно нужно отметить роль **пектинов** в выведении радионуклидов. Пектины – полисахариды растительного происхождения, они способны связывать и выводить из организма металлы, в том числе стронций, цезий и др. Пектины содержатся в соках с мякотью, яблоках, персиках, крыжовнике, клюкве, абрикосах, сливе, черной смородине, вишне, черешне, клубнике, дыне, зефире, джемах, мармеладе и др. Пектиносодержащие продукты улучшают перистальтику кишечника, которая ускоряет выведение ненужных веществ из организма.

Способствуют выведению радионуклидов из организма **катехины** – дубильные вещества, **антоцианы** – красящие вещества. Их много в чае, соках. Поистине уникальными радиопротекторными свойствами обладает грецкий орех. Ядра ореха снижают пероксидное окисление липидов. В их

состав входит калий, кальций, магний, фосфор, железо, марганец, медь, цинк и другие микроэлементы. Они богаты витаминами Е, В₁, В₆, дубильными веществами. Толченые ядра с медом увеличивают мочеотделение и обладают желчегонным действием, способствуют выведению радионуклидов (особенно цезия).

При радиационном поражении особая роль отводится режиму питания. При избыточном потреблении пищи в организм попадает и большее количество радионуклидов. В условиях действия малых доз радиации в результате перекисидного окисления липидов в организме образуются ядовитые вещества (токсины). При действии радиации необходимо обеспечить организм достаточным количеством белков. Белки обладают радиопротекторными свойствами, они повышают устойчивость к хроническому внутреннему облучению, снижают всасывание радионуклидов, повышают устойчивость организма к инфекции. Радиозащитным действием обладают продукты, богатые полинасыщенными жирными кислотами. Они регулируют процессы перекисидного окисления липидов (растительные масла, рыба, орехи, семена тыквы, подсолнечника).

К веществам, снижающим радиационное воздействие на организм принадлежат витамины. Особенно большая роль отводится витамину А. Недостаток его сказывается на нервной и иммунной системах. Витамин А и витамин Е способствуют нормализации метаболических процессов и уменьшению перекисидного окисления липидов, способствуют стабилизации клеточных мембран. Витамин С способствует усилению окислительно-восстановительных способностей клетки, улучшает тканевое дыхание. Витамины групп В улучшают метаболизм, антитоксическую функцию печени. Недостаток витаминов и белков отражается на функции защиты организма от вредоносных факторов внешней среды.

6. Пути снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства

Основные дозовые нагрузки на население, связанные с аварией на ЧАЭС, обусловлены потреблением сельскохозяйственных продуктов, производимых на загрязненных территориях. Чтобы сократить поступление радионуклидов в организм человека необходимо снижать интенсивность их поступления в растения.

Накопление радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур можно снизить путем использования различных агрохимических и агротехнических приемов:

1. Общепринятые (традиционные) мероприятия в агропромышленном производстве, направленные на сохранение и увеличение плодородия почвы, рост урожайности и одновременно способствующие уменьшению перехода радиоактивных веществ из почвы в растение.

2. Специальные приемы (уменьшающие поступление радионуклидов в растения, но уменьшающие урожайность растений и ухудшающие плодородие почвы).

1. Основным *агрохимическим* способом уменьшения поступления радионуклидов в растения является химизация земледелия. В первую очередь это внесение удобрений и различных химических мелиорантов, улучшающих физико-химические свойства почвы и увеличивающих ее плодородие. Вносятся органические удобрения, минеральные удобрения, проводится известкование почвы и другие агрохимические приемы. Фосфорные и калийные удобрения уменьшают переход радионуклидов в растения в 2 и более раз. Известкование почвы уменьшает поступление радионуклидов в продукцию растениеводства в 1,5–3 раза.

Снижение концентрации радионуклидов в урожае при внесении удобрений обусловлено рядом причин, основными из которых являются:

- улучшение условий питания растений, а отсюда и увеличение биомассы, что приводит к «разбавлению» радионуклидов в урожае;
- усиление антагонизма между ионами радионуклидов и ионами солей вносимых удобрений (цезий – калий, стронций – кальций);
- образование плохо растворимых соединений радионуклидов с удобрениями.

Снижает переход радионуклидов в растения и применение микроэлементов (бора, молибдена), сапропеля и др. Обычно используют некорневую подкормку микроэлементами.

Основным агротехническим приемом для ограничения перехода радионуклидов в растение является пахота почв, что приводит к перераспределению радионуклидов в корнеобитаемом слое почвы. Радионуклиды перемещаются в глубину, а большинство растений обладает мелкой корневой системой.

II. К *специальным приемам* относятся следующие:

- механическое удаление верхнего загрязненного слоя почвы;
- глубокая вспашка с захоронением загрязненного верхнего слоя почвы;
- фитомелиорация загрязненных почв;
- внесение в почву специальных мелиораторов, связывающих радионуклиды в труднодоступные для растений формы;
- специальный подбор сельскохозяйственных растений (сельскохозяйственных культур и их сортов) для выращивания на загрязненных территориях.

Механическое удаление верхнего загрязненного слоя почвы – трудоемкий и дорогостоящий способ, который можно использовать на ограниченных площадях.

Наиболее эффективным приемом считается двухъярусная глубокая вспашка, когда верхний слой толщиной в 4–6 см укладывается на глубину 40–80 см, что снижает поступление радионуклидов в растения в 3–10 раз.

В результате аккумуляции радионуклидов растениями концентрация их в фитомассе может быть больше, чем в почве. Этот прием очищения почвы называется фитомелиорацией почв.

Одним из способов, ограничивающих аккумуляцию растениями радионуклидов, является перевод последних в трудноусвояемые формы путем внесения в почву химических реагентов.

Особое место отводится **подбору культур**. Концентрация цезия-137 в сельскохозяйственных культурах распределяется следующим образом:

- зерновые, бобовые и зернобобовые (люпин > овес > гречка > горох > ячмень > просо > соя > фасоль);
- овощные и картофель (капуста > картофель > свекла > морковь > огурцы > томаты);
- травы (овсяница > костер > клевер > тимopheевка).

По концентрации стронция-90 овощные культуры располагаются в следующем порядке: свекла > огурцы > морковь > капуста > томаты > картофель; травы располагаются в следующем порядке: разнотравье > осоки > ежа сборная > мятлик.

Озимые культуры накапливают радионуклидов меньше, чем яровые. По аккумуляции цезия и стронция зерновые и бобовые культуры разделяются на группы:

- 1) слабонакапливающие (ячмень > пшеница > овес);
- 2) средненакапливающие (крупяные: просо > чумиза > гречка);
- 3) сильдонакапливающие (зернобобовые: фасоль > горох > бобы).

Из технологических приемов следует использовать переработку растениеводческой продукции: получение растительного масла из подсолнечника и сои, крахмала и спирта из картофеля, сахара из сахарной свеклы.

Концентрация радионуклидов уменьшается при консервировании продукции, засолке и других видах обработки. При переработке зерна в муку много радионуклидов удаляется вместе с оболочками. Дезактивацию растительного сырья можно проводить путем различного рода помывок (при поверхностном загрязнении растений).

Пути снижения содержания радионуклидов в продукции животноводства. Мероприятия по уменьшению содержания радионуклидов в продукции животноводства можно разделить на 4 группы:

- 1) приемы, используемые при содержании животных на лугах и пастбищах;
- 2) изменения в режиме кормления животных;
- 3) перепрофилирование отраслей животноводства;
- 4) технологическая переработка продуктов животноводства.

Корм — основной источник поступления радионуклидов в организм животных. В лугопастбищной растительности накапливается радионуклидов больше, чем в кормах искусственных сенокосов. Поступают радионук-

лиды в организм животных также с почвой (в год крупный рогатый скот получает 600 кг загрязненной почвы, овцы — 75 кг).

Для защиты организма животных используют временное прекращение выпаса животных и перевод их на стойловое содержание (этот прием эффективен в отношении короткоживущих радионуклидов — йода-131). Количество цезия-137 в молоке при этом снижается в 3–5 раз, в мясе — в 2–3 раза. При отсутствии запаса «чистых» кормов возможно 4–8-дневное голодание животных.

В дальнейшем можно преобразовывать естественные сенокосы в искусственные, применять подбор возделываемых трав и специальную агротехнику их воздействия, проводить мелиорацию лугов и пастбищ. Применение всех этих мер может снизить содержание радионуклидов в молоке и мясе соответственно в 10 и 20 раз.

Изменение рациона кормления животных включает переход на использование «чистых» кормов; подбор кормов с минимальным содержанием радионуклидов (злаковые); обогащение рациона кормовыми добавками, которые избирательно связывают радионуклиды цезия и способствуют их удалению из организма (аммониево-железо-гексоцианоферрат, соли лития и др.); насыщение рациона минеральными веществами, особенно с содержанием кальция и калия, микроэлементами, белково-витаминными препаратами.

Учитывая то, что наиболее «чистое» мясо производится в свиноводстве и птицеводстве необходимо перепрофилировать животноводство с крупного рогатого скота на свино- и птицеводство. При относительно высоких плотностях радиоактивного загрязнения целесообразно организовывать звероводческие хозяйства. При загрязнении почвы цезием-137 с плотностью в 15–40 Ки/км², где невозможно получение «чистого» молока производят переспециализацию с молочного на мясное производство.

Технологические приемы по снижению радионуклидов в животноводческой продукции делится на обычные и специальные. Технологическая переработка молока на сливки, творог, сыр, масло сопровождается переходом радионуклидов в обрат, сыворотку, пахту со снижением радионуклидов в конечном продукте в 10–50 раз. Используют также переработку молока и сливок на стуженные и сухие. Практически не остается радионуклидов в топленом масле. Для лучшей очистки молока от стронция-90 добавляют лимонную, уксусную и соляную кислоты, которые образуют со стронцием-90 растворимые в воде соли и нерастворимые, выпадающие в осадок.

Для уменьшения концентрации радионуклидов в мясе вываривают его в воде и удаляют бульон (в бульон переходит до 80% цезия-137). Мясо вымачивают также в воде с последующим посолом (содержание радионуклидов снижается на 80–90%). Перетопка сала сопровождается удалением 95% цезия-137 в шварку.

Среди специальных приемов очистки молока применяют ионно-обменные смолы (пирофосфат и циацит), хорошо поглощающие ионы цезия и стронция, 80–90% которых удаляется вместе со смолами при тонкой фильтрации молока. Такой же эффект дает сепарирование молока. Применяют также электродиализ.

Технологическая переработка продукции животноводства с целью уменьшения содержания радионуклидов экономически менее выгодна, чем использование приемов по ограничению накопления радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства.

7. Виды деятельности на территории с радиоактивным загрязнением

Виды деятельности в зоне эвакуации (отчуждения). В зоне эвакуации (отчуждения) разрешается только хозяйственная деятельность, связанная с обеспечением радиационной безопасности, предотвращением переноса радиоактивных веществ, выполнением природоохранных мероприятий, а также научно-исследовательских и экспериментальных работ.

Данная зона защищается от несанкционированного проникновения в нее людей, всех видов наземного транспорта и другой техники.

В зоне эвакуации (отчуждения) запрещается:

- 1) постоянное проживание населения, несанкционированное пребывание людей;
- 2) несанкционированный въезд всех видов транспортных средств и другой техники, а также сплав леса;
- 3) привлечение к работе лиц без медицинского заключения и их согласия;
- 4) вывоз без специального разрешения строительных материалов и конструкций, машин и оборудования, домашних вещей, древесины, почвы, торфа, глины, песка, других полезных ископаемых, растительных кормов, лекарственных растений, грибов, ягод и иных продуктов побочного лесопользования (за исключением образцов для научных целей).

Не допускается любая иная деятельность, не санкционированная уполномоченным на то органом.

Пребывание на территории зоны эвакуации (отчуждения) допускается только при наличии специального разрешения. Контрольно-пропускной режим и порядок допуска лиц устанавливаются Советом Министров Республики Беларусь.

Виды деятельности в зоне первоочередного отселения. В зоне первоочередного отселения научная и хозяйственная деятельность осуществляется с соблюдением санитарных правил и норм радиационной безопасности с учетом специально разработанных технологий и методик, направленных на обеспечение производства продукции и товаров, содержание радионуклидов в которых не превышает республиканских допустимых уровней.

В зоне первоочередного отселения без специального разрешения республиканского органа государственного управления по чрезвычайным ситуациям или уполномоченных им органов запрещается:

- 1) вывоз древесины, почвы, торфа, глины, песка, других полезных ископаемых, за исключением образцов для научных целей;
- 2) все виды лесопользования, в том числе заготовка древесины, кормов, грибов, дикорастущих плодов, ягод, лекарственного и технического сырья, охота, рыбная ловля, все виды водопользования, за исключением пожаротушения;
- 3) прогон и выпас домашних животных;
- 4) проезд всех видов транспорта вне дорог и водных путей общего пользования, а также сплав леса;
- 5) вход и въезд на территорию лиц, чья деятельность непосредственно не связана с выполнением работ на ней;
- 6) проведение любых видов работ, связанных с нарушением почвенного покрова, если это может привести к переносу радионуклидов.

Не допускается также и любая деятельность, не санкционированная уполномоченным на то органом.

На территории зоны первоочередного отселения допускается пребывание людей только по специальному разрешению. Контрольно-пропускной режим и порядок допуска лиц устанавливаются республиканским органом государственного управления по чрезвычайным ситуациям. Срок пребывания людей в зоне контролируется по времени; условия труда и соблюдение техники безопасности регламентируются соответствующими правилами и нормами.

Виды деятельности в зоне последующего отселения. В зоне последующего отселения хозяйственная деятельность, функционирование всех видов транспорта, сооружений, инженерных коммуникаций и сетей должны вестись с соблюдением норм радиационной безопасности, правил безопасности и физической защиты при работе с источниками ионизирующего излучения и санитарных правил работы с радиоактивными веществами, а также инструкций и регламентов, исключающих распространение радионуклидов на другие территории и обеспечивающих радиационную безопасность людей.

Порядок переселения жителей зоны последующего отселения, виды хозяйственной деятельности и контроля за ней определяются Советом Министров Республики Беларусь.

На территории зоны последующего отселения запрещается:

- 1) заготовка грибов, дикорастущих плодов, ягод, лекарственного и технического сырья, охота, рыбная ловля без специального разрешения уполномоченного на то органа;
- 2) производство и заготовка продукции с содержанием радионуклидов, превышающим республиканские допустимые уровни;

- 3) любая деятельность, ухудшающая радиационную и экологическую ситуацию;
- 4) применение пестицидов без специального разрешения уполномоченного на то органа.

Реализация пищевого сырья и продуктов питания, произведенных в зоне последующего отселения, разрешается только после проведения радиометрического контроля и при условии непревышения республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов.

На территории зоны последующего отселения, с которой отселено население, требования к условиям пребывания людей такие же, как и в зоне первоочередного отселения.

Виды деятельности в зоне с правом на отселение. На территории зоны с правом на отселение производство сельскохозяйственной и лесной продукции ведется с постоянным радиометрическим контролем. Продукты питания и сырье для них должны иметь сертификат (маркировку) с указанием места их производства, содержания радионуклидов. Проводятся мероприятия по реализации повышенных требований к инженерному обеспечению и благоустройству населенных пунктов, к чистоте атмосферного воздуха, к условиям труда и быта, к организации отдыха и питания людей, к созданию условий для воспитания, обучения и оздоровления детей.

На территории зоны с правом на отселение **запрещается:**

- 1) производство и заготовка продукции с содержанием радионуклидов, превышающим республиканские допустимые уровни;
- 2) любая деятельность, ухудшающая радиационную и экологическую ситуацию;
- 3) природопользование, не отвечающее требованиям норм радиационной безопасности.

Реализация продукции, произведенной в указанной зоне, допускается только после проведения радиометрического контроля и при соблюдении республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов.

Виды деятельности в зоне проживания с периодическим радиационным контролем. На территории зоны проживания с периодическим радиационным контролем проводятся мероприятия по реализации повышенных требований к инженерному обеспечению и благоустройству населенных пунктов, к условиям труда и быта, к организации отдыха и питания людей, к созданию условий для воспитания, обучения и оздоровления детей.

На территории зоны проживания с периодическим радиационным контролем **запрещается:**

- 1) любая деятельность, ухудшающая радиационную и экологическую ситуацию;
- 2) природопользование, не отвечающее требованиям норм радиационной безопасности.

С целью снижения риска заболеваемости населения и уменьшения доз облучения на территориях радиоактивного загрязнения осуществляют-
ся следующие меры:

- 1) периодический контроль радиоактивного загрязнения почвы, воды, воздуха, продуктов питания, сырья, жилых и производственных помещений, а также медико-биологический и радиоэкологический мониторинг;
- 2) дезактивация территории специализированными подразделениями (в случае необходимости).

8. Концепция проживания населения (радиационной защиты)

а) основные защитные мероприятия

В концепцию проживания на территориях, загрязненных радионуклидами, входит планирование и реализация комплекса необходимых мероприятий по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы и по радиационной защите. Целью этой концепции является формулировка принципов и критериев для обоснования практически защитных мероприятий, позволяющих максимально уменьшить возможные отрицательные последствия аварии на ЧАЭС на здоровье населения, компенсировать нанесенный ущерб.

Основные принципы и критерии, заложенные в концепции проживания, следующие:

1. Человек, проживающий на загрязненных территориях или проживавший там не менее установленного минимального срока, имеет право на возмещение ущерба в виде определенных Законом льгот, компенсаций и гарантий.
2. Основным показателем для принятия решений о необходимости проведения защитных мероприятий, их характере и масштабах, а также возмещении ущерба является доза облучения, вызванная радиоактивностью в результате аварии на ЧАЭС.
3. Установить, что допустимое превышение (над уровнем естественного и техногенного и радиационного фона для данной местности) радиоактивного облучения населения от выпадений ЧАЭС определяется величиной 1 мЗв (0,1 бэр) в год – среднегодовой эффективной эквивалентной дозой облучения.

В соответствии с рекомендациями МКРЗ концепция исходит из признания **трех этапов развития ядерной аварии** – раннего, промежуточного и восстановительного:

- ранний этап ограничен временем выброса радиоактивных веществ;
- промежуточный этап охватывает период времени до окончания формирования следа радиоактивного выпадения и характеризуется началом стабилизации радиационной обстановки;
- восстановительный этап продолжается в течение времени, необходимого для постепенной отмены мероприятий по радиационной защите и соз-

дания условий для возвращения к обычному укладу жизни населения, проживающего на загрязненных территориях.

Концепция формировалась исходя из того, что в настоящее время мы находимся в восстановительном периоде. Мероприятия, выполненные на раннем и промежуточном этапах, позволили существенно снизить дозы облучения населения.

Принципы защиты населения в период восстановительного этапа включают:

- дальнейшее уменьшение радиационного риска путем снижения индивидуальных и коллективных доз облучения населения. Защитные меры должны быть оптимизированы таким образом, чтобы они приносили больше пользы, чем ущерба;
- обоснованное снижение доз облучения населения от других источников ионизирующих излучений (медицинское облучение, естественные радионуклиды, включая радон и его дочерние продукты);
- ограничение действия на население неблагоприятных нерадиационных факторов окружающей среды;
- медицинскую, психологическую, экономическую и правовую защиту населения;
- социальную защиту и формирование здорового образа жизни населения.

В концепции также отмечается, что:

- государство должно гарантировать проведение специальных мероприятий по получению чистой сельхозпродукции;
- с целью снижения доз внутреннего облучения необходимо периодически пересматривать допустимые уровни радиоактивного загрязнения пищевых продуктов и пищевого сырья;
- с целью снижения влияния неблагоприятных нерадиационных факторов окружающей среды необходимо вводить соответствующие экологические стандарты Республики Беларусь;
- государство должно осуществлять комплекс спецпрограмм по оздоровлению населения;
- необходимо осуществлять психологическую защиту населения путем организации системы образования, психологической поддержки, обеспечения населения достоверной информацией по обеспечению безопасной жизнедеятельности.

Концепция подчеркивает важность и необходимость проведения научных и организационных работ по реабилитации загрязненных радионуклидами территорий.

К мерам радиационной защиты относятся:

- проведение в случае необходимости радиационного контроля окружающей среды и продуктов питания;

- мероприятия, направленные на снижение содержания радионуклидов в воздухе, воде, почве;
- сельхозмероприятия, направленные на снижение содержания радионуклидов в продукции;
- снижение дозовых нагрузок при рентгенодиагностике и от воздействия радона, поступающего в помещения из окружающей среды.

Все эти мероприятия должны быть направлены на постоянное снижение дозовых нагрузок и уровней загрязнения продуктов питания при одновременном ослаблении ограничений, нарушающих привычный образ жизни. Оптимизацию достижения этих целей следует проводить с учетом непревышения средней эффективной эквивалентной дозы в 5 мЗв (0,5 бэр) со снижением вплоть до 1 мЗв (0,1 бэр) в год.

Кроме мероприятий **радиационной защиты** необходимо проводить и **следующие мероприятия**:

- улучшение медико-санитарного обследования, в том числе и специализированное медицинское наблюдение за группами людей повышенного риска, санитарно-курортное лечение и оздоровление;
- обеспечение полноценным питанием (включая необходимые витамины, макро- и микроэлементы), санитарно-курортным лечением и оздоровлением;
- меры снижения социально-психологической напряженности (дезадаптации);
- социально-экономические и правовые меры (компенсации, льготы, гарантии и пр.).

б) контрмеры, направленные на получение чистой продукции

В основе контрмер лежат два главных положения: — **первое** — охрана здоровья человека путем снижения радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции; **второе** — возвращение к обычному виду землепользования, насколько это возможно.

Выделяют **следующие контрмеры** в сельском хозяйстве для обеспечения жизнедеятельности при загрязнении радионуклидами окружающей среды (формы хозяйствования):

В первые недели после выпадения радионуклидов:

1. Избегать прямого загрязнения сельскохозяйственных продуктов (укрыть открытые запасы продовольствия и кормов водонепроницаемыми средствами; эффективность до 100%).
2. Переводить животных с пастбищного на стойловое содержание со снабжением их чистыми кормами (эффективность до 100%).
3. Задерживать уборку продовольственных и фуражных культур до полного распада короткоживущих радионуклидов.
4. Запретить охоту, рыбную ловлю, потребление овощей из наземных источников и атмосферных осадков.

5. Перерабатывать загрязненное молоко в продукты длительного хранения (мясо, сыры, обезжиренного молочного порошка и др.), которые можно хранить до распада йода-131.
6. Добавлять стабильный йод в корма.

После выпадения радионуклидов:

1. Проведение дезактивации земель путем механической обработки почвы (глубокая вспашка, обычная вспашка отвальным, удаление поверхностного слоя почвы дорожно-строительными механизмами);
2. Проведение мероприятий по изменению землепользования:
 - подбор растений, слабо накапливающих радионуклиды (рапс и др.);
 - выращивание культур, загрязнение которых при переработке снижается (сахарная свекла, рапс, подсолнечник);
 - запрещение производства пищевых продуктов и переход на выращивание технических культур (лен, садовые растения, растения для производства технических масел и спиртов);
 - использование загрязненных земель для немолочного животноводства или выращивание животных, не предназначенных для немедленного убоя;
 - замена растениеводства на мясное животноводство (период полувыведения из организма животных радионуклидов непродолжителен);
 - замена сельхозпроизводства на лесное хозяйство (при большом загрязнении территорий долгоживущими радионуклидами).
3. Применение мелиорантов и использование удобрений для снижения перехода радионуклидов из почвы в растения:
 - известкование кислых почв. Эффективность зависит от исходного pH почвы, наблюдается снижение перехода стронция-90 до 2–3 раз, цезия-137 – до 3 раз;
 - внесение сапропеля. Эффективность высокая, снижение до 6 раз по цезию и до 5 раз по стронцию;
 - применение калийных удобрений при загрязнении радиоцезием. Снижает переход цезия в 5 раз;
 - применение алюмосиликатов при загрязнении радиоцезием. Эффективность невысокая, снижает переход радиоцезия до 2 раз;
 - при загрязнении радиостронцием применение органических удобрений, таких как навоза. Эффективность высокая, снижение перехода до 5 раз;
 - при загрязнении радиостронцием внесение растворимых фосфатных удобрений. Эффективность высокая, переход радиостронция снижается до 10 раз.
4. Увеличивание высоты стерни при скашивании фуражных культур (с увеличением высоты срезания стеблей при уборке, избавляемся от нижней части растений, которые обычно бывают загрязнены почвенной пылью).
5. Варьирование времени забоя скота в зависимости от вида выпавших радионуклидов (когда пик активности минует или содержание радионуклидов в организме понижается).

6. Обязательное применение химических связывающих веществ (фиксаторов) для снижения усвоения радиоцезия в ЖКТ (применение берлинской лазури через добавки в концентраты является эффективным методом, переход радиоцезия в молоко и мясо можно снизить более чем на 90 %).
7. Введение в организм жвачных животных медленно растворяющихся боллусов берлинской лазури. *Боллус* – это соединение калий аммониевой соли *феррогексацианидной кислоты (берлинская лазурь)*. При применении этого метода можно добиться снижения загрязнения молока и мяса в 2–5 раз. Боллусы (2–3 шт.) вводятся в рубец животному и уже на 10-ый день после обработки животных приносят положительный эффект.
8. Введение берлинской лазури в состав соли-лизунца (2,5% и более). Этот прием наиболее эффективен при низком содержании солей натрия в местных растительных кормах (широко используется в Скандинавских странах после Чернобыльской катастрофы).
9. Добавление глинистых минералов или цеолитов в рацион животных. Такие глинистые минералы, как бентонит, вермикулит, морденит, а также цеолиты связывают радиоцезий в ЖКТ и снижают его усвоение. В ряде мест с успехом используется для связывания радиоцезия пищевая добавка – гумалит.
10. Увеличение в рационе животных для снижения усвоения радиоцезия в ЖКТ доли растительных волокон (сено, силос).
11. Обеспечение более высокого содержания кальция в рационе для снижения содержания радиостронция в молоке (давать животным соли кальция или богатые кальцием натуральные корма).
12. Добавление в рацион альгината для снижения усвоения радиостронция в ЖКТ. Альгинат обычно извлекается из морских водорослей (ламинарии).

**в) выведение радионуклидов из пищевых продуктов
при технологической и кулинарной обработке**

В случае, если сельскохозяйственные продукты загрязнены короткоживущими радионуклидами, рекомендуется их консервация путем замораживания и изготовления консервов или сухопродуктов, что даст возможность сохранить продовольствие в течение времени, достаточно для распада радиоактивных веществ.

Многие из обычно применяемых на практике способов обработки и технологической переработки продуктов, а также способов приготовления пищи могут обеспечить значительное снижение загрязнения пищевых продуктов и, следовательно, внутренней дозы облучения. Следует помнить, что обезвреживание продуктов приводит к увеличению их удельной активности, хотя при дальнейшей кулинарной обработке прежний уровень загрязнения продукта будет восстановлен.

Выделяются три категории приемов обработки сырья с целью снижения загрязнения:

- очистка поверхности путем мытья, ополаскивания и применения щеток;
- избирательное удаление наиболее загрязненных частей продукта, например, снятие кожуры, листьев, удаление костей;
- глубокая переработка такими методами, как вымачивание, маринование, изготовление сыров и производства растительного масла.

ЗАНЯТИЕ №8

ИТОГОВОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ: 1. Оценить полученные студентами знания по радиационной безопасности.

ВРЕМЯ: 2 учебных часа (80 мин).

МЕТОД: компьютерное тестирование.

МЕСТО: компьютерный класс.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предназначены для замены традиционной формы проведения зачета по радиационной безопасности тестированием. Перечень тестов позволяет студентам самостоятельно подготовиться к сдаче зачета в тестовой форме.

Весь материал распределен по четырем разделам:

1. Радиоактивность и свойства ионизирующих излучений.
2. Дозиметрия ионизирующих излучений, методы дозиметрии.
3. Действие радиации на организм человека.
4. Нормы и правила радиационной безопасности. Обеспечение безопасной жизнедеятельности на территориях, загрязненных радионуклидами.

После каждого раздела даны ответы к тестовым заданиям. В тестовых формах А (закрытых тестах) из предлагаемых четырех вариантов ответов необходимо выбрать только один вариант и наиболее полный ответ.

Раздел № 1. Радиоактивность, свойства ионизирующих излучений

1. Для понятия «атом» несправедливо утверждение:
 - а) носитель химических свойств элемента;
 - ☒ б) разрушается в химических реакциях;
 - в) состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов;
 - г) наименьшая частица химического элемента.
2. Химический элемент – это:
 - а) вид атомов с одинаковой массой;
 - ☒ б) вид атомов с одинаковым зарядом ядра;

- в) мельчайшая, химически неделимая частица вещества;
 г) электронейтральная частица, состоящая из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов.
3. Ядро атома имеет:
 а) положительный заряд;
 б) отрицательный заряд;
 в) электрически нейтрально;
 г) у различных ядер заряд разного знака.
4. По современным данным пространство вокруг ядра, в котором наиболее вероятно нахождение электрона называется:
 а) орбита; в) траектория,
 б) орбиталь; г) путь пробега.
5. Энергетический уровень который ближе всего расположен к ядру обозначается:
 а) цифрой 1 или буквой K;
 б) цифрой 7 или буквой Q;
 в) цифрой 7 или буквой K;
 г) цифрой 1 или буквой Q.
6. Между ядром и электронами действуют:
 а) силы разрыхления; в) ядерные силы;
 б) силы притяжения; г) термоядерные силы.
7. Наиболее прочная связь электронов с ядром наблюдается на:
 а) Q-уровне; в) O-урвне;
 б) M-урвне; г) K-урвне.
8. Атомное ядро состоит из:
 а) электронов и нейтронов;
 б) нейтронов и протонов;
 в) протонов и электронов;
 г) нуклидов и изотопов.
9. Атомная масса равна:
 а) числу протонов в ядре;
 б) числу нейтронов в ядре;
 в) суммарному числу протонов и нейтронов;
 г) суммарному числу протонов и электронов.
10. Разновидности атомов одного и того же элемента, имеющие одинаковый заряд ядер, но разное массовое число называются:
 а) нуклиды; в) позитроны;
 б) изотопы; г) нуклоны.
11. Изотопы элемента различаются по:
 а) числу нейтронов; в) атомному номеру;
 б) числу электронов; г) числу протонов.
12. Каково число электронов в изотопе урана $^{235}_{92}\text{U}$:
 а) 235; в) 143 (235 - 92);

- б) 92; г) $327 (235 + 92)$.
13. Ядро атома радия $^{226}_{88}\text{Ra}$ содержит:
- а) 226 протонов и 88 нейтронов;
 б) 88 протонов и 138 нейтронов;
 в) 88 протонов и 226 нейтронов;
 г) 226 протонов и 138 нейтронов.
14. Сколько электронов содержится в электронной оболочке атома, если в атомном ядре имеется 7 протонов и 9 нейтронов?:
- а) 0; в) 16;
 б) 7; г) 9.
15. Каково максимальное количество энергетических уровней в атоме:
- а) 2; б) 7;
 в) 5; г) 9.
16. Какое максимальное число электронов может размещаться на третьем энергетическом уровне:
- а) 2; в) 32;
 б) 8; г) 18.
17. По какой формуле определяется максимальное число электронов на каждом энергетическом уровне (где n – номер уровня):
- а) $2n$; в) $2n + 2$;
 б) $2n^2$; г) $2n^2 - 2$.
18. Количество протонов в ядре атома цезия $^{137}_{55}\text{Cs}$ равно:
- а) $137 - 55 = 82$; б) 55;
 в) $137 + 55 = 192$; г) 137.
19. Выберите верное утверждение:
- а) ядерные силы действуют между нуклонами;
 б) ядерные силы значительны только на больших расстояниях;
 в) Кулоновскими силами называются силы притяжения в ядре;
 г) ядерные силы не обладают свойством насыщения.
20. Наибольшую стабильность имеют ядра с:
- а) четным количеством протонов и нечетным количеством нейтронов;
 б) четным количеством протонов и четным количеством нейтронов;
 в) нечетным количеством протонов и нечетным количеством нейтронов;
 г) нечетным количеством протонов и четным нейтронов.
21. Выберите утверждения, верные для элементарной частицы – протона:
- а) масса протона в 1839 раз больше массы электрона;
 б) масса протона в 1836 раз больше массы электрона;
 в) электрический заряд отрицательный;
 г) протон электрически нейтрален.
22. Выберите утверждения верные для элементарной частицы – протона:
- а) число протонов не постоянно для данного химического элемента;
 б) число протонов определяет заряд ядра;

- в) число протонов называют массовым числом.
г) число протонов в атоме равно числу нейтронов.
23. Выберите утверждения верные для элементарной частицы — электрона:
- а) электрон электрически нейтрален;
 - б) элементарный заряд электрона положительный;
 - в) число электронов в атоме равно числу протонов;
 - г) число электронов в атоме равно числу нейтронов.
24. Выберите утверждения верные для элементарной частицы — электрона:
- а) число электронов в атоме равно числу нейтронов;
 - б) электрон носитель наименьшей массы в атоме;
 - в) электрон входит в состав атомного ядра;
 - г) число электронов в атоме равно атомной массе.
25. Выберите верные утверждения:
- а) при первичной ионизации образуются положительные ионы;
 - б) при первичной ионизации образуются отрицательные ионы;
 - в) при вторичной ионизации образуются положительные ионы;
 - г) при ионизации образуются нейтральные ионы.
26. Какие из перечисленных видов излучений обладают наибольшей ионизирующей способностью:
- а) альфа-излучение;
 - б) бета-излучение;
 - в) гамма-излучение;
 - г) нейтронное излучение.
27. Какие из перечисленных видов излучений обладают наибольшей проникающей способностью:
- а) альфа-излучение;
 - б) бета-излучение;
 - в) гамма-излучение;
 - г) нейтронное излучение.
28. Наиболее опасно при внутреннем облучении:
- а) альфа-излучение;
 - б) бета-излучение;
 - в) гамма-излучение;
 - г) нейтронное излучение.
29. Нейтронное излучение чрезвычайно опасно вследствие:
- а) высокой ионизирующей способности;
 - б) высокой проникающей способности;
 - в) высокого заряда частиц;
 - г) не опасно.
30. К электромагнитным излучениям относятся:
- а) α -излучение;
 - б) β -излучение;
 - в) нейтронное излучение;
 - г) гамма- и рентгеновское излучение.
31. Поток электромагнитных волн (квантов), который испускается в процессе радиоактивного распада при изменении энергетического состояния ядра называется:
- а) α -излучение;
 - б) β -излучение;
 - в) γ -излучение;
 - г) нейтронным излучением.

32. Гамма-излучение по своим свойствам близко к:
а) α -излучению; в) рентгеновскому излучению;
б) β -излучению; г) нейтронному излучению.
33. Цезий при распаде испускает:
а) альфа-лучи; в) рентгеновские и гамма-лучи;
б) бета- и гамма-лучи; г) все указанные излучения.
34. Стронций при распаде испускает:
а) альфа-лучи; в) гамма-лучи;
б) бета-лучи; г) альфа-, бета-, гамма-лучи.
35. Гамма-излучение представляет собой:
а) поток электронов;
б) кванты электромагнитного излучения;
в) поток ядер гелия;
г) поток тепловых нейтронов.
36. Что такое альфа-излучение?
а) поток электронов;
б) поток протонов;
в) поток нейтронов;
г) среди указанных ответов нет правильного.
37. Какое вещество используется в качестве ядерного горючего?
а) кадмий; в) графит;
б) цезий; г) уран.
38. Мощность дозы – это:
а) доза, отнесенная к массе облучаемого вещества;
б) доза, отнесенная к объему облучаемого вещества;
в) доза, отнесенная ко времени;
г) доза, отнесенная к площади облучаемого вещества.
39. Что не относится к космогенным радионуклидам?:
а) углерод-14; в) натрий-22;
б) тритий (^3H); г) свинец-206.
40. Какие радионуклиды не входят в семейство урана?
а) радий-226; в) полоний-214;
б) радон-222; г) бериллий-7.

Раздел № 2. Дозиметрия ионизирующих излучений, методы дозиметрии

1. Количество радиоактивного вещества определяется:
а) единицами массы;
б) единицами объема;
в) активностью данного вещества;
г) единицами массы, объема, активности.
2. Выберите верное утверждение:
а) чем больше ядер распадается в единицу времени, тем выше активность;

- в) рентген(Р);
г) зиверт(Зв).
- удельной активности:
в) Ки/м³, Бк/м³;
г) Зв/м³, Ки/м³.
- утверждение:
- онный эффект – это изменение, возникающее в окружающей среде;
онный эффект – это изменение, возникающее в живых организмах;
онный эффект – это изменение, возникающее в окружающей среде и в живых объектах;
онный эффект – это самопроизвольное превращение одного нуклида в другой.
- доза рассчитывается для:
излучений;
α-излучений и γ-излучений;
α-излучений;
β-излучений.
- ния экспозиционной дозы:
в) Зв, бэр;
г) Бк/л, Бк/кг.
- ния мощности экспозиционной дозы:
в) Зв/час;
г) Р/час.
- ния поглощенной дозы:
в) Гр, рад;
г) Бк/кг, Бк/л.
- поглощенной дозы в Международной системе единиц принят:
в) рад;
г) Зв.
- в) бэр/час;
г) Р/час.
- осительной биологической эффективности используют:
коэффициент накопления;
коэффициент радиационного риска;
коэффициент качества;

г) коэффициент количества.

13. Поглощенная доза рассчитывается для:

- ☒ а) рентгеновских и γ -излучений;
- б) α - и β -излучений;
- в) α -, β - и γ -излучений;
- г) нейтронного излучения.

14. Выберите правильное утверждение:

- а) эквивалентная доза – это количественная характеристика рентгеновского и γ -излучения;
- б) эквивалентная доза – это величина энергии, поглощенной в единице объема (массы) облучаемого вещества;
- ☒ в) эквивалентная доза – это произведение поглощенной дозы излучения в биологической ткани на коэффициент качества этого излучения для данной биологической ткани;
- г) эквивалентная доза – это произведение поглощенной дозы излучения в биологической ткани на коэффициент радиационного риска.

15. Единицы измерения эквивалентной дозы:

- а) Кл/кг, Р;
- ☒ в) Зв, бэр;
- б) Гр, рад;
- г) Бк/кг.

16. Единицы измерения эффективной эквивалентной дозы:

- а) Кл/кг, Р; б) Гр, рад; ☒ в) Зв, бэр; г) Бк/кг.

17. На основе какого метода работают почти все современные дозиметрические приборы:

- ☒ а) ионизационного;
- б) химического;
- в) фотографического;
- г) люминесцентного.

18. По какому принципу дозиметрические приборы подразделяются на индикаторы, радиометры, рентгенометры, дозиметры:

- а) по типу датчика;
- ☒ б) по функциональному назначению;
- в) по характеру электрических сигналов;
- г) по типу детектора.

19. Дозиметрический контроль включает в себя:

- а) контроль радиоактивного облучения населения;
- б) контроль радиоактивного загрязнения среды;
- в) контроль активности радионуклида;
- ☒ г) контроль радиоактивного облучения населения и контроль радиоактивного загрязнения среды.

20. Контроль радиоактивного облучения населения может быть:

- ☒ а) только групповой;
- б) групповой и индивидуальный;
- в) только индивидуальный;
- г) общественный.

Раздел № 3. Действие радиации на организм человека

1. Радиационный фон – это:
 - а) ионизирующие излучения от природных источников космического происхождения;
 - б) ионизирующие излучения от искусственных радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека;
 - в) ионизирующие излучения от природных источников земного происхождения;
 - г) от всех перечисленных выше источников.
2. Радиационный фон может быть:
 - а) естественным и искусственным;
 - б) искусственным и технологически измененным;
 - в) технологически измененным;
 - г) естественным, искусственным и технологически измененным.
3. Источниками естественного радиационного фона не могут быть ионизирующие излучения от:
 - а) космических источников;
 - б) естественных источников земного происхождения;
 - в) искусственных источников земного происхождения;
 - г) радионуклидов естественного происхождения находящихся внутри организма человека.
4. Интенсивность космического излучения зависит от:
 - а) высоты над уровнем моря;
 - б) географической широты;
 - в) высоты над уровнем моря и географической широты;
 - г) ни от чего не зависит.
5. Какой из изотопов урана наиболее распространен в земной коре:
 - а) уран-233; б) уран-235; в) уран-238; г) уран-231.
6. Какие радионуклиды не входят в семейство урана-238:
 - а) Ra-226; в) Rn-222;
 - б) Po-214; г) Be-7.
7. Какие радионуклиды не относятся к космогенным:
 - а) углерод-14; в) натрий-22;
 - б) водород-3; г) рубидий-87.
8. Какие вещества не образуются при радиолизе воды:
 - а) свободные радикалы;
 - б) окислители (H_2O_2 , O_2);
 - в) диоксид азота (NO_2);
 - г) все перечисленные вещества.
9. Радиоактивные вещества, заброшенные в верхние слои атмосферы постепенно концентрируются между:
 - а) 30-50° сш;
 - б) 30-50° юш;
 - в) 30-50° сш и юш.
 - г) на экваторе.
10. Под миграцией радионуклидов в почве понимают:
 - а) перераспределение радионуклидов по глубине;
 - б) перераспределение радионуклидов в горизонтальном направлении;

- ☒ в) перераспределение радионуклидов по глубине и в горизонтальном направлении;
 г) перераспределение радионуклидов в вертикальном направлении.
11. Какие почвы обладают более высокой емкостью поглощения радионуклидов:
- ☒ а) черноземы;
 б) дерново-подзолистые;
 в) песчаные;
 г) супесчаные.
12. Какие почвы обладают менее высокой емкостью поглощения радионуклидов:
- а) глинистые; ☒ б) песчаные; в) дерново-подзолистые; г) супесчаные.
13. Выберите лишнее. Накопление радионуклидов растениями из почвы зависит:
- а) от физико-химических свойств радионуклидов;
 б) от агрохимической характеристики почвы;
 в) от биологических особенностей растений;
☒ г) от сил всемирного тяготения.
14. Из каких почв радионуклиды легче попадают в растения:
- а) из глинистых; ☒ б) из песчаных; в) дерново-подзолистых; г) супесчаных.
15. Наиболее интенсивно накопление радионуклидов идет:
- ☒ а) в листьях и стеблях;
 б) в генеративных органах растений;
 в) равномерно во всех органах и тканях.
16. Какие культуры накапливают радионуклиды в меньших количествах:
- ☒ а) озимые; б) яровые; в) все одинаково.
17. К растениям-концентраторам относятся:
- а) бобовые; ☒ б) лишайники, мхи и грибы; в) зерновые.
18. Где меньше содержание радионуклидов:
- ☒ а) на приусадебном участке; б) в лесу; в) на земле сельхозпредприятий; г) везде одинаково.
19. Оседание радионуклидов на растительный покров происходит под влиянием (под действием):
- а) гравитационных сил;
 б) метеорологических факторов;
 в) турбулентного движения воздушных масс в атмосфере;
☒ г) всех перечисленных факторов.
20. Радиостимуляция растений наблюдается при действии:
- а) α -, β - и γ -излучений;
☒ б) α -, β - и рентгеновских излучений;
 в) β -, γ - и рентгеновских излучений;
 г) нейтронного излучения.
21. Радионуклиды в организм человека поступают через:
- а) органы дыхания и ЖКТ; б) кожу и ЖКТ; ☒ в) органы дыхания, ЖКТ и кожу; г) органы дыхания и кожу.
22. Большинство радионуклидов в организм человека поступают:
- ☒ а) с пищей; б) с воздухом; в) с водой; г) через кожу.

23. Наиболее важным и потенциально опасным является поступление радионуклидов:

- а) ингаляционное (с воздухом); б) алиментарное (с пищей); в) через кожу; г) через кожу.

24. Доля радионуклидов, которые задерживаются в дыхательной системе зависит от:

- а) минутного объема легких и частоты дыхания; б) размера частиц; в) минутного объема легких, частоты дыхания, размера частиц.

25. При вдыхании воздуха радиоактивные вещества, содержащиеся в нем, задерживаются:

- а) на всем протяжении дыхательного тракта; б) в полости носа и носоглотки; в) в альвеолярных отделах легких.

26. Основные типы распределения радионуклидов в организме человека это:

- а) скелетный, ретикулоэндотелиальный и щитовидный;
б) скелетный, ретикулоэндотелиальный и равномерный (диффузный);
в) равномерный (диффузный), скелетный и щитовидный;
г) почечный, печеночный и щитовидный.

27. Распределение радионуклидов считается диффузным если более половины радионуклидов сконцентрировано (расположено):

- а) в скелете; б) во всех органах равномерно; в) щитовидной железе; г) красном костном мозге.

28. Из какой ткани организма человека радионуклиды медленнее всего выводятся:

- а) мышечной; б) костной; в) кожи; г) из легких.

29. Скорость выведения радионуклидов из организма человека зависит от:

- а) периода полураспада радионуклидов;
б) периода полувыведения;
в) химической природы радионуклида;
г) периода полураспада и периода полувыведения.

30. Выберите правильную последовательность этапов воздействия ионизирующих излучений на биологические объекты:

- а) физический, физико-химический, этап биомолекулярных повреждений, этап ранних биологических и физиологических эффектов, этап отдаленных биологических эффектов;
б) физико-химический, физический, этап ранних биологических и физиологических эффектов, этап биомолекулярных повреждений, этап отдаленных биологических эффектов;
в) этап ранних биологических и физиологических эффектов, этап биомолекулярных повреждений, этап отдаленных биологических эффектов, физико-химический, физический;
г) физико-химический, этап биомолекулярных повреждений, этап отдаленных биологических эффектов, этап ранних биологических и физиологических эффектов, физический этап.

31. На каком этапе воздействия ионизирующих излучений на биологические объекты происходит передача энергии фотона или частицы одному из электронов атома:

- а) на этапе отдаленных биологических эффектов;
- ☒ б) на физическом этапе;
- в) на этапе боимолекулярных повреждений.

32. На каком этапе воздействия ионизирующих излучений на биологические объекты могут разрушаться ферменты и гормоны:

- а) на физическом;
- ☒ б) на физико-химическом;
- в) на этапе отдаленных биологических эффектов;
- г) на этапе ранних биологических и физиологических эффектов.

33. Наименьшей радиочувствительностью обладают:

- а) гонады (яички и яичники);
- б) красный костный мозг;
- в) эпителий кишечника;
- ☒ г) щитовидная железа.

34. Выберите правильную последовательность уровней биологической организации на которых происходят радиационные повреждения:

- а) клеточный, субклеточный, молекулярный, тканевой, органный, организменный, популяционный;
- б) популяционный, клеточный, субклеточный, молекулярный, тканевой, органный, организменный;
- ☒ в) молекулярный, субклеточный, клеточный, тканевой, органный, организменный, популяционный.

35. Ионизирующие излучения достигают ткани организма человека в процессе:

- ☒ а) внешнего и внутреннего облучения;
- б) внешнего облучения;
- в) внутреннего облучения.

36. Какое облучения для человека считается наиболее опасным:

- а) внешнее;
- ☒ б) внутреннее;
- в) все виды облучения одинаково опасны.

37. Способность организма реагировать на малые дозы радиации называется:

- ☒ а) радиочувствительностью;
- б) радиоустойчивостью;
- в) радиорезистентностью;
- г) радионасыщенностью.

38. Способность организма переносить высокие уровни облучения называется:

- а) радиочувствительностью;
- ☒ б) радиоустойчивостью;
- в) биологическим эффектом;
- г) радиорезистентностью.

39. Кто наиболее устойчив к радиационному воздействию?:

- а) мужчины; б) женщины; в) дети; г) старики.

40. Какой процент облученных тканей организма восстанавливается в течение 2-х месяцев:

- а) 85%; б) 100%; в) 50%; г) 75%.

Раздел 4. Гигиенические аспекты радиационной безопасности

1. Что не относится к принципам радиационной безопасности:

- а) принцип обоснования;
б) принцип нормирования;
в) принцип восстановления;
г) принцип оптимизации.

2. Принцип нормирования – это:

- а) непревышение годовой дозы в один зиверт;
б) непревышение дозы в 1 Ки/кг;
в) непревышение пределов индивидуальных доз облучения (0,1 бэр/год);
г) непревышение годовой дозы в 100 рентген.

3. Годовая эквивалентная доза для населения составляет:

- а) 1 Зиверт; б) 0,1 бэр;
б) 100 бэр; г) 50 бэр.

4. Годовая эквивалентная доза для персонала (профессиональных работников) равна:

- а) 0,1 бэр; б) 100 бэр;
б) 10 бэр; г) 2 бэра.

5. Какой из классов нормативов не устанавливается для категорий облучаемых:

- а) допустимые уровни воздействия облучения;
б) летальные и полулетальные дозы;
в) контрольные уровни;
г) основные пределы доз.

6. Что не относится к допустимым уровням воздействия радиации:

- а) ДОО – допустимые объемные активности среднегодовые;
б) ПДД – предельно допустимые дозы;
в) ДУА – допустимые удельные активности среднегодовые;
г) ППТ – пределы годового поступления.

7. Взвешивающие коэффициенты для гонад (при расчете эффективной дозы):

- а) 0,12; б) 0,20;
б) 0,10; г) 0,05.

8. Взвешивающие коэффициенты для красного костного мозга (при расчете эффективной дозы):

- а) 0,01; в) 0,05
б) 0,12; г) 0,20.

9. Взвешивающие коэффициенты для щитовидной железы (при расчете эффективной дозы):

- а) 0,20;
- б) 0,12;
- в) 0,05;
- г) 0,10.

10. При какой плотности по цезию территория считается загрязненной:

- а) свыше 1 Ки/км²;
- б) свыше 1 мКи/км²;
- в) свыше 5 Ки/км²;
- г) свыше 15 Ки/км².

11. Что не относится к критериям деления на зоны радиоактивного загрязнения?

- а) возможность проживания населения;
- б) уровень загрязнения территории радионуклидами;
- в) возможность отселения населения;
- г) возможность получения экологически чистой продукции и сырья.

12. Какие из перечисленных зон не выделяются на территориях, загрязненных радионуклидами:

- а) зона первоочередного отселения;
- б) зона проживания с правом на отселение;
- в) зона последующего отселения;
- г) зона эвакуации (отчуждения).

13. Какие удобрения не применяются при загрязнении почвы радиоактивным стронцием?

- а) калийные;
- б) органические;
- в) фосфатные;
- г) доломитовая мука.

14. Какие мероприятия не относятся к специальным приемам снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства?

- а) механическое удаление верхнего загрязненного слоя почвы;
- б) глубокая вспашка с захоронением загрязненного слоя почвы;
- в) специальный подбор сельскохозяйственных растений;
- г) внесение органических и неорганических удобрений.

15. Какие классы нормативов не устанавливаются для категории облучаемых лиц:

- а) основные пределы доз;
- б) допустимые уровни;
- в) контрольные уровни;
- г) допустимое загрязнение.

16. Какое мясо является наиболее «грязным»?:

- а) мясо птицы;
- б) мясо кролика;
- в) свинина;
- г) говядина.

17. В каких сельскохозяйственных культурах содержание цезия-137 наибольшее?:

- а) фасоль;
- ☒ б) овес;
- в) ячмень;
- г) гречиха.

18. В каких овощах содержание цезия-137 наибольшее?:

- ☒ а) капуста;
- б) свекла;
- в) морковь;
- г) томаты.

19. Какие вещества не способствуют выведению радионуклидов из организма?

- а) катехины;
- ☒ в) адаптогены;
- б) антоцианы;
- г) пектины.

20. Какие мероприятия не снижают внутреннее облучение?:

- а) уменьшающие поступление радионуклидов в организм;
- ☒ б) усиливающие выведение радионуклидов из организма;
- в) использующее действие алкоголя;
- г) использующие минеральные соли и радиопротекторные свойства пищи.

ОТВЕТЫ ПО РАЗДЕЛАМ

Раздел 1				Раздел 2		Раздел 3				Раздел 4	
1	б	21	б	1	в	1	г	21	в	1	в
2	б	22	б	2	а	2	г	22	а	2	в
3	а	23	в	3	а	3	в	23	а	3	в
4	б	24	б	4	а	4	в	24	в	4	в
5	а	25	а	5	в	5	в	25	а	5	б
6	б	26	а	6	б	6	г	26	б	6	б
7	г	27	в	7	а	7	г	27	б	7	в
8	б	28	а	8	г	8	в	28	б	8	б
9	в	29	б	9	в	9	в	29	г	9	в
10	б	30	г	10	а	10	в	30	а	10	а
11	а	31	в	11	а	11	а	31	б	11	в
12	б	32	в	12	в	12	б	32	б	12	б
13	б	33	б	13	а	13	г	33	г	13	а
14	б	34	б	14	в	14	б	34	в	14	г
15	в	35	б	15	в	15	а	35	а	15	г
16	г	36	г	16	в	16	а	36	б	16	г
17	б	37	в	17	а	17	б	37	а	17	б
18	в	38	а	18	б	18	а	38	б	18	а
19	а	39	г	19	г	19	г	39	б	19	в
20	б	40	г	20	б	20	б	40	а	20	б

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Организационно-методические рекомендации	4
Занятие №1. Назначение и принцип работы бета-радиометра РУБ-01 П6	7
Назначение и принцип работы радиометра РУБ-01 П6	8
Работа органов управления	9
Подготовка радиометра к работе	10
Определение радиационного фона блока детектирования и проверка работы радиометра	11
Порядок работы радиометра	12
Занятие №2. Порядок проведения измерения активности проб внешней среды с помощью радиометра РУБ-01 П6	14
Порядок работы радиометра	15
Измерение объемной активности проб воды	16
Измерение удельной активности проб вязких и сыпучих веществ	17
Измерение активности проб почвы	17
Измерение вклада калия-40	18
Занятие №3. Бытовые дозиметры	19
Дозиметр бытовой «Мастер-1»	20
Прибор комбинированный РКС-107	21
Прибор для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104 «Радиян» его назначение, порядок работы	28
Занятие №4 (семинар №1). Радиоактивность и свойства ионизирующих излучений	38
Занятие №5 (семинар №2). Дозиметрия ионизирующих излучений, методы дозиметрии	49
Занятие №6 (семинар №3). Действие ионизирующих излучений на организм человека	62
Занятие №7 (семинар №4). Гигиенические аспекты радиационной безопасности	95
Занятие №8. Итоговое тестирование по радиационной безопасности	120

Учебное издание

**ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Корректор Л.В. Приставко
Компьютерный дизайн Т.Е. Сафралкова

Подписано в печать **15.03.2006**. Формат 60х84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,84. Уч.-изд. л. 7,58.
Тираж **120** экз. Заказ **30**.

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования
«Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»
Лицензия ЛВ № 02330/0056790 от 01.04.2004.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»
210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.