

### **Лабораторная работа 13. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА**

К основным источникам загрязнения окружающей среды искусственными (техногенными) радионуклидами относятся испытания ядерного оружия, работа предприятий радиационно-химической промышленности, аварии на предприятиях с ядерно-топливным циклом и атомных электростанциях.

Среди техногенных радионуклидов, поступивших в биосферу, особую опасность представляют биогенные радионуклиды, которые легко включаются в миграционные процессы компонентов биосферы (например, радиоактивные изотопы йода, цезия и стронция). Йод-131, имеющий период полураспада 8,06 суток, не включается в миграционные процессы, практически не поступает в растения через корневые системы. Цезий-137 и стронций-90 относятся к долгоживущим радионуклидам с периодом полураспада, составляющими соответственно 30 и 28 лет, при этом радиоактивный распад ядер цезия-137 сопровождается бета- и гамма-излучением, а стронция-90 – только бета-излучением. Цезий-137 является химическим аналогом калия, поэтому в биосфере мигрирует по калиевым каналам. Стронций-90 является химическим аналогом кальция, поэтому мигрирует по кальциевым каналам. Цезий-137 и стронций-90 включаются в почву во все почвенные процессы, легко поступают в корни растений по механизму ионно-обменных реакций, накапливаются в тканях и органах растений. С растительным кормом, эти радионуклиды поступают в организм животных, где цезий-137 распределяется в мышечной ткани и во внутренних органах, а стронций-90 накапливается преимущественно в костной ткани.

С продуктами питания растительного и животного происхождения радионуклиды поступают в организм человека, где включаются в процессы обмена веществ, в результате которых они могут накапливаться в тканях организма и выводиться из организма.

В настоящее время известно, что около 95 % радионуклидов поступает в организм человека с продуктами питания и около 4 % – с питьевой водой (через желудочно-кишечный тракт), и только до 1 % радиоактивных веществ попадает ингаляционным путем через органы дыхания.

С продуктами питания радионуклиды попадают в организм человека через следующие миграционные пищевые цепочки:

- 1) растительные продукты (овощи, фрукты, ягоды, хлеб) – человек;
- 2) растения – животное – молоко – человек;
- 3) растения – животное – мясо – человек;
- 4) вода – рыба (и другие обитатели водоемов) – человек;
- 5) питьевая вода – человек.

Радионуклиды, попавшие с продуктами питания и питьевой водой внутрь организма, претерпевают радиоактивный распад, который сопровождается выделением ионизирующего излучения, поэтому они являются источником внутреннего облучения организма. Установлено, что при внутреннем облучении организма человека спектр радиобиологических эффектов значительно разнообразнее, чем при внешнем облучении, т. е. внутреннее облучение в десятки и сотни раз опаснее, чем внешнее.

Для снижения доз внутреннего облучения необходимо контролировать содержание радионуклидов в продуктах питания и соблюдать элементарные санитарно-гигиенические требования.

Радиационный мониторинг продуктов питания показал, что до катастрофы на Чернобыльской АЭС в продуктах питания также находились цезий-137 и стронций-90, которые появились в биосфере при испытании ядерного оружия. Динамика среднего содержания стронций-90 и цезий-137 в продуктах питания населения бывшего СССР показана в таблицах приложения 6 и 7.

Согласно данным этих таблиц, содержание цезия-137 и стронция-90 в основных продуктах питания населения в 1983 году составляло сотые доли Бк/кг и Бк/л, при этом наблюдалось значительное снижение содержания радионуклидов по сравнению с 1963 годом. После катастрофы на Чернобыльской АЭС и до настоящего времени содержание радионуклидов в продуктах питания превышает дочернобыльский уровень в десятки и сотни раз. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 (РДУ) на хлеб составляют 40 Бк/кг, на молоко – 100 Бк/л, на говядину – 500 Бк/кг, на рыбу – 375 Бк/кг, на картофель – 80 Бк/кг, на капусту – 40Бк/кг (прилож. 1).

В Республики Беларусь производство сельскохозяйственной продукции осуществляется при плотности загрязнения почвы цезием-137  $1 - 40 \text{ Ки/км}^2$  ( $37 - 1480 \text{ кБк/м}^2$ ) и стронцием-90  $0,15 - 3 \text{ Ки/км}^2$  ( $5,55 - 111 \text{ кБк/м}^2$ ). Поэтому поступление цезий-137 и стронций-90 в сельскохозяйственную продукцию неизбежно, что требует обязательного радиационного контроля не только сельскохозяйственного сырья, но и конечных продуктов питания.

Радиационный контроль на территории Республики Беларусь проводится в целях ограничения и минимизации последствий облучения населения республики от загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами в результате аварии на Чернобыльской АЭС и выбросов АЭС сопредельных государств. Под *радиационным контролем* понимается комплекс административных, организационно-технических, санитарно-гигиенических мероприятий и правовых мер, направленных на снижение воздействия на население и другие категории облучаемых лиц радиационного фактора.

Измеряемыми параметрами объектов радиационного контроля являются следующие:

1) *мощность эффективной дозы и плотность потока бета-частиц* – для внешнего облучения (определяется при помощи дозиметров);

2) *концентрация радионуклидов в объектах контроля* (вода, воздух, почва, продукты питания, организм человека и др.) – для внутреннего облучения (определяется при помощи радиометров).

Оценка радиационной обстановки производится путем сравнения результатов измерений и расчетов с системой следующих Республиканских нормативов:

1) Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде;

2) Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах;

3) Нормативы на содержание цезия-137 в продукции лесного хозяйства;

4) Временные допустимые уровни содержания радионуклидов цезия в лекарственно-техническом сырье.

Радиационный контроль проводится на следующих территориях (зонах):

1. *Зона А* – территория, относящаяся к зонам радиоактивного загрязнения в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

2. *Зона Б* – территория вероятного радиационного воздействия выбросов АЭС сопредельных государств (30-ти километровые зоны вокруг Игналинской, Смоленской и Чернобыльской АЭС).

3. *Зона В* – остальная территория республики.

Радиационный контроль осуществляется в три этапа:

1) при производстве продукции;

2) при переработке продукции;

3) при реализации продукции.

Система радиационного контроля в Республике Беларусь представляет собой трехуровневую структуру, состоящую из государственного контроля и надзора, ведомственного контроля, общественного контроля.

В настоящее время основной вклад в дозы внутреннего облучения вносят молоко и продукты его переработки (до 60 %), а также лесные продукты питания – грибы, ягоды и мясо диких животных.

Оценка величины и прогноз доз облучения жителей Республики Беларусь осуществляется на основании данных радиационного контроля продуктов питания и радиационной обстановки, а также результатов измерения содержания радионуклидов в организме человека. При определении дозы внутреннего облучения от инкорпорированных радионуклидов, во-первых, определяют активность радионуклида в организме, во-вторых, производят последующий расчет дозы облучения с учетом метаболизма радионуклида за определенный промежуток времени. При хроническом употреблении продуктов питания, содержащих цезиум-137, расчет индивидуальных доз внутреннего облучения осуществляется по формуле:

$$D_{\text{внутр}} = \delta \cdot \sum m_i \cdot q_i,$$

где,  $\delta$  – пересчетный коэффициент  $1,3 \cdot 10^{-8}$  Зв/Бк;

$m_i$  – годовое потребление  $i$  продукта питания (определяется на основании анкетирования населения);

$q_i$  – удельная активность  $i$  продукта питания (или содержание цезия).

Активность радионуклида определяется прямым измерением содержания радионуклида в организме (органе) путем регистрации проникающего излучения, исходящего из тела человека. Для этой цели используют *спектрометры излучения человека* (СИЧ) различной модификации и радиочувствительности, которые могут регистрировать наличие в организме цезия-137, а также наличие в органах йода-131 (щитовидная железа), кобальта-60, марганца-54, хрома-51 (легкие), стронция-90 (костная ткань).

Для оценки уровня внутреннего облучения населения проживающего на территориях радиоактивного загрязнения используются переносные энергоселективные счетчики излучения. В зависимости от содержания цезия-137 в организме определяют категорию и делают заключение. Например, 1-я категория соответствует содержанию 7400 Бк (безопасно); 2-я категория – 7400 – 26000 Бк (повышено); 3-я категория – 26000 – 112000 Бк (повторное измерение через три месяца); 4-я категория – более 112000 Бк (направление на медицинское обследование).

Проведение СИЧ-измерений жителей, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях Гомельской и Могилевской областей, показало, что накопление цезия-137 в организме детей Гомельской области в 1996г находилось на достаточно высоком уровне и составляло 200–7300 Бк/кг. Такое содержание цезия в организме формируют внутреннюю дозу облучения 0,017 – 0,63 мЗв. При содержании цезия-137 в организме детей более 50 Бк/кг наступают патологические нарушения жизненно важных систем и органов. При выявлении накопления цезия-137 у детей 15–20 Бк/кг необходимо проводить защитные мероприятия, обеспечивающие выведение цезия-137 из организма.

Дозы внутреннего облучения населения Могилевской области, установленные на основании проведенных СИЧ-измерений, в 2001 году составляли 0,05 мЗв/год у 70 % жителей, а в 2005 году такие дозы регистрировались у 66 % жителей. Удельный вес доз, превышающих 0,1 мЗв, снизился с 26 % в 2001 году до 9 % в 2005 году. Результаты СИЧ-измерений сельских жителей в 2005 году показали, что средние дозы внутреннего облучения были невысокие и изменялись у взрослых в пределах 0,014 – 0,33 мЗв/год и у детей – 0,0002 – 0,14 мЗв/год.

Годовая эффективная доза внешнего облучения жителей определяется по формуле:

$$E = 8760 \cdot F \cdot V_e (P_m - P_o),$$

где  $E$  – годовая эффективная доза внешнего облучения для человека конкретного населенного пункта;

8760 – количество часов в году;

F – обобщенный коэффициент защищенности, равный 0,4 для возраста человека более 17 лет;

V – поправочный коэффициент, учитывающий возрастную зависимость дозы облучения, который равен 1 для человека старше 17 лет;

$e = 6,5 \cdot 10^{-6}$  мЗв/мкР – дозовый коэффициент перехода от экспозиционной дозы в воздухе к эффективной дозе в организме взрослого человека;

$P_m$  – измеренное значение мощности эффективной дозы в конкретном населенном пункте, мкР/ч;

$P_0$  – среднее значение мощности экспозиционной дозы (МЭД) в населенном пункте до аварии на ЧАЭС, мкР/ч.

Мощность экспозиционной дозы определяется при помощи дозиметров различных модификаций прямым методом.

### **З а д а н и е 2.1. Радиационный мониторинг продуктов питания**

**Цель работы:** определить содержание цезия-137 в основных продуктах питания.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-01, пробы продуктов питания (хлеб, молоко, говядина, картофель, рыба, овощи и фрукты), весы лабораторные, Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в продуктах питания.

**Выполнение работы:** **1.** Включите радиометр тумблером «сеть». Выдержите радиометр во включенном состоянии 10–15 мин. Обратите внимание на контрольный индикатор «Режим», он должен мигать. **2.** Измерьте радиационный фон детектора. Для этого чистый пустой сосуд Маринелли поместите в блок детектирования, закройте его и запустите прибор на измерение кнопкой «Пуск». Измерение фона производится по двум каналам одновременно. Количество импульсов, регистрируемых детектором в единицу времени в отсутствие источников ионизирующих излучений, называется радиационным фоном детектора. Он обусловлен космическими лучами (свинцовый домик задерживает только часть космических излучений), ионизирующим излучением природных радионуклидов, которые в ничтожно малых количествах присутствуют в любом веществе и в том числе материалах счетчиков и защиты и самопроизвольными разрядами в блоках детектирования. При измерении активности проб радиометр регистрирует импульсы, как создаваемые попадающим в детектор от пробы излучением, так и фоновые. Поэтому перед измерением проб обязательно измеряется радиационный фон детектора, значение которого учитывается при определении активности пробы. От величины радиационного фона зависит чувствительность счетчика: чем ниже фон, тем выше чувствительность. **3.** Через 10 минут нажмите кнопку «Стоп» (измерение фона заканчивается или при достижении заданной точности, равной 3%, или после нажатия кнопки «Стоп»). Измеренные значения записываются в долговременную память прибора и в дальнейшем учитываются при измерении удельной активности проб, т.е. нет необходимости измерять фон перед измерением каждой пробы. Фон автоматически вычитается при измерении активности пробы. **4.** Подготовьте пробу (продукт питания) к измерению. Для этого в сосуд Маринелли поместите измеряемую пробу и взвесьте. Кнопкой «объем» добейтесь свечения диода, соответствующего объему измеряемой пробы. На цифровом наборном поле наберите число, соответствующее массе пробы и нажмите кнопку **В**, а затем кнопку «Пуск». **5.** Измерение заканчивается или автоматически при достижении заданной погрешности, или после нажатия кнопки «стоп». Остановка прибора сопровождается звуковым сигналом. На индикаторе информации слева высвечиваются изменяющиеся значения удельной активности цезия-137 в пробе (Бк/кг), а справа – абсолютная статистическая погрешность измерения в Бк/кг. Для перевода результата измерения в кюри на килограмм нажмите кнопку **Ед. изм.** **6.** Для вывода

на индикатор результатов содержания калия-40 в пробе нажмите кнопку **Ф** и удерживайте ее. **7.** Показания прибора, т. е содержание цезия-137 и калия-40, запишите в таблицу 19.

Таблица 19. Содержание цезия-137 и калия-40 в продуктах питания

Продукт питания	Содержание радионуклидов в продукте питания				Предельно-допустимое содержание $^{137}\text{Cs}$ в продукте питания, Бк/кг	Заключение об употреблении в пищу продукта питания
	$^{137}\text{Cs}$		$^{40}\text{K}$			
	Бк/кг	Погрешность измерения, Бк/кг	Бк/кг	Погрешность измерения, Бк/кг		
1...						

Полученный результат сравните с предельно допустимым уровнем содержанием цезия-137 для конкретного продукта питания (прилож. 1) и сделайте заключение о пригодности каждого продукта питания для использования.

### Задание 2.2. Расчет доз внутреннего и внешнего облучения человека

**Цель:** определить годовую эффективную дозу внутреннего и внешнего облучения.

**Материалы и оборудование:** дозиметры (МКС-АТ6130, ДБГ-06Т и ДРГ-01Т, АНРИ-01-02 «СОСНА», РКСБ-104), таблица годового потребления продуктов питания, результаты содержания цезия-137 в продуктах питания, калькулятор.

**Выполнение работы:** **1.** Используя данные задания 2.1, а именно содержание цезия-137 в продуктах питания и данные таблицы приложения 8 – Годовое потребление продуктов питания – рассчитать дозу внутреннего облучения по формуле, приведенной на стр.16. **2.** При помощи дозиметра определить мощность экспозиционной дозы. Для этого лучше использовать ДБГ-06Т, АНРИ-01-02 «СОСНА» или РКСБ-104. При пользовании дозиметрами следует выполнять следующие требования: 1) располагать дозиметр на расстоянии 1 м от поверхности земли или пола; 2) в одной точке производить 3-5 измерений и находить среднее значение; 3) измерение не осуществлять в непосредственной близости у зданий и около больших деревьев.

Дозиметр **ДБГ-06Т** обеспечивает измерение мощности дозы в двух режимах работы: **"Измерение"** и **"Поиск"**. В режиме **"Измерение"** дозиметр обеспечивает измерение мощности эквивалентной дозы окружающей среды в диапазоне от 0,10 до 99,99 мкЗв/ч или мощности экспозиционной дозы в диапазоне от 0,010 до 9,999 мР/ч, в режиме **"Поиск"** – от 1,0 до 999,9 мкЗв/ч или от 0,10 до 99,99 мР/ч соответственно. Время измерения в режиме работы **"Измерение"** не превышает 40 с, в режиме работы **"Поиск"** – 4 с. Регистрация уровней мощности эквивалентной дозы и экспозиционной дозы осуществляется двумя отдельными группами газоразрядных счетчиков с различными корректирующими фильтрами. Каждая группа включает два газоразрядных счетчика СБМ-20.

**1.** Подготовьте дозиметр к работе:

– включите дозиметр и проведите контроль работоспособности прибора. Для чего установите переключатель поддиапазонов в положение **«мкЗв/ч»** или **«Р/ч»**, а переключатель режимов работы – в положение **«контр.»**. Осуществите сброс показаний нажатием кнопки **Сброс**. На цифровом табло при правильном функционировании счетных устройств дозиметра и пригодности источника питания должно устойчиво отображаться число 0515 (без учета запятых).

**2.** Выполните измерения в следующем порядке:

– установите переключатель режимов работы в положение **«Поиск»**, переключатель поддиапазонов измерения – в положение **«мкЗв/ч»**. Произведите сброс показаний

нажатием кнопки **Сброс**, Определите направление излучения по максимальным показаниям на цифровом табло, ориентируя дозиметр в пространстве. Режим **«Поиск»** является индикаторным режимом и предназначен для быстрого обнаружения и локализации источников гамма-излучения;

– переведите переключатель режима работы в положение **«Измер.»** для повышения точности измерения. В этом режиме на цифровом табло отображаются нули во всех разрядах и мигает запятая в младшем разряде. Отсчет показаний производится в конце цикла измерения в момент прекращения мигания запятой. Показания на цифровом табло сохраняются до момента нажатия кнопки **Сброс** и запуска дозиметра на новый цикл измерения;

- произведите измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения окружающей среды (гамма-фона) в контрольных точках, указанных преподавателем (дозиметр при этом необходимо располагать горизонтально, так, чтобы центр детектора был направлен вниз, на высоте 1 м от поверхности. Результаты запишите в отчет по работе.

Прибор **АНРИ-01-02 «Сосна»** предназначен для индивидуального пользования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Измеряет мощность дозы гамма-излучения, плотность потока бета-излучения с загрязненных поверхностей, объемную активность радионуклидов в веществах.

Диапазон измерения мощности дозы гамма-излучения составляет от 0,010 до 9,999 мР/ч, полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – от 0,10 до 99,99 мкЗв/ч. Время измерения – около 20 с. Дозиметр-радиометр выполнен в виде портативного, носимого на ремешке или в кармане одежды, прибора. Корпус изготовлен из ударопрочной пластмассы и состоит из двух частей, соединенных между собой винтами. В верхней части на лицевой панели расположены органы управления и индикации, отсек элемента питания с крышкой. К нижней части корпуса крепится поворотная задняя крышка, являющаяся экранирующим фильтром.

В качестве детекторов излучения использованы два газоразрядных счетчика СБМ-20.

**1.** Включите прибор, для чего выключатель питания переведите в положение **«Вкл.»**. На лицевом табло должно индицироваться **«0.000»** или **«0000»**. Включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом.

**2.** Убедитесь в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переведите переключатель режима работы в положение **«МД»**, нажмите кнопку **Контр.** и удерживайте ее в таком состоянии до конца проверки, а затем кратковременно нажмите кнопку **ПУСК**. При этом должен начаться отсчет чисел. Через 20 с отсчет чисел должен прекратиться, окончание отсчета должно сопровождаться коротким звуковым сигналом, а на табло должно индицироваться **«1.024»**. Если при проведении контрольного теста индицируемое число отличается от указанного выше, то прибор неисправен.

**3.** Измерьте мощность дозы гамма-излучения, при этом убедитесь, закрыта ли задняя крышка прибора, при необходимости плотно закройте ее и зафиксируйте фиксатором; для работы в режиме **«Поиск»** переведите переключатель режима работы в положение **«1»** (крайнее правое положение). Нажмите на кнопку **ПУСК**. Прибор начнет отсчет импульсов, число которых индицируется на цифровом табло. Через каждые 10 импульсов прибор будет подавать звуковой сигнал. При естественном фоновом излучении прибор должен подавать 1–6 звуковых сигналов в минуту. С увеличением мощности экспозиционной дозы гамма-излучения пропорционально возрастает частота подачи звуковых сигналов. Для работы в режиме **«Измер.»** переведите переключатель режима работы в положение **«МД»** (крайнее левое положение). Нажмите кнопку **ПУСК**. При этом на цифровом табло должно появиться **«0. 0. 0. 0.»** и начаться отсчет импульсов. Через 20 с измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло появится результат в миллирентгенах в час. Значение мощности дозы в

миллирентгенах в час следует перевести в микрорентгены в час, для чего измеренное значение умножить на 1000. Для повторного измерения необходимо снова нажать кнопку ПУСК. Результаты измерений запишите в отчет по работе.

Комбинированный прибор для измерения ионизирующих излучений **РКСБ-104** предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. В приборе предусмотрена подача звукового сигнала при превышении порогового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, установленного потребителем. Диапазон измерений: мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – от 0,1 до 99,99 мкЗв/ч; Прибор выдает прерывистый звуковой сигнал после окончания цикла измерения. Портативный, переносный, состоит из корпуса и крышки, скрепленных между собой. К крышке крепятся еще две легкоъемные крышки – отсека питания и крышка-фильтр. На лицевой панели окно для индикатора и три тумблера – для включения прибора и выбора режима работы.

2. Подготовьте прибор к работе:

- снимите заднюю крышку-фильтр, установите на кодовом переключателе «S4» движки S4.1–S4.6 (нумерация движков начинается снизу) в положение «1», S4.7 и S4.8 – в положение «0» и установите на место крышку-фильтр;

- переведите органы управления прибора – тумблеры S2 и S3 в верхнее положение. При этом прибор должен начать регистрировать внешний радиационный фон, индикация символов «:» и «v» (батарея питания разряжена) на табло индикатора должна отсутствовать;

- через 28 с после включения прибор должен выдать прерывистый звуковой сигнал, при этом на табло индикатора должно индицироваться 4-разрядное число, значащая часть которого, умноженная на пересчетный коэффициент 0,01 при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы в верхнем положении тумблера S3, дает измеренную величину в микрозивертах в час (мкЗв/ч). Время индикации числа на табло – около 14 с, после чего звуковой сигнал должен прекратиться, а прибор автоматически повторить цикл измерения. Результат измерения запишите в отчет по работе.

3. Расчет эффективной дозы внешнего облучения производится согласно формулы, приведенной на стр. 17. Среднее значение мощности экспозиционной дозы до аварии на ЧАЭС в г. Горки составляло 10 мкР/час.

4. По полученному расчету сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Назовите источники загрязнения окружающей среды техногенными радионуклидами.
2. Какие техногенные радионуклиды наиболее опасны для человека?
3. Назовите период полураспада цезия-137 и стронция-90 и вид излучения, сопровождающего радиоактивный распад этих радионуклидов.
4. Аналогами каких химических элементов являются цезия-137 и стронция-90?
5. Расскажите миграционные цепочки этих радионуклидов в биосфере и сфере агропромышленного производства.
6. Назовите пути поступления радионуклидов в организм человека.
7. С какой целью осуществляется радиационный контроль продуктов питания?
8. Назовите объекты и параметры контроля.
9. Какие основные Республиканские нормативы вы знаете?
10. На каких территориях осуществляется радиационный контроль?
11. Регистрировалось ли содержание цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания до чернойбыльской катастрофы и что являлось источником этого загрязнения?
12. Сколько Cs-137 и Sr-90 содержалось в продуктах питания до чернойбыльской катастрофы?

13. Во сколько раз содержание Cs-137 в продуктах питания в настоящее время может превышать дочернобыльский уровень?
14. При какой плотности загрязнения почвы в Республике Беларусь осуществляется производство сельскохозяйственной продукции?
15. Какие радионуклиды называются инкорпорированными?
16. Где в организме человека накапливаются Cs-137 и Sr-90?
17. По какой формуле можно рассчитать индивидуальную эффективную дозу внутреннего облучения?
18. Как определяется эффективная доза внешнего облучения?
19. Для каких целей используют спектрометры излучения человека?
20. Для каких целей используют дозиметры?
21. Какие марки дозиметров вы знаете?
22. Назовите правила измерения эффективной дозы при помощи дозиметров?