

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, δ – 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}Cs в продукте питания, Бк/кг	Заключение об употреблении в пищу продукта питания
	^{137}Cs		^{40}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.

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 чернобыльской катастрофы и что являлось источником этого загрязнения?
12. Сколько Cs-137 и Sr-90 содержалось в продуктах питания до чернобыльской 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?