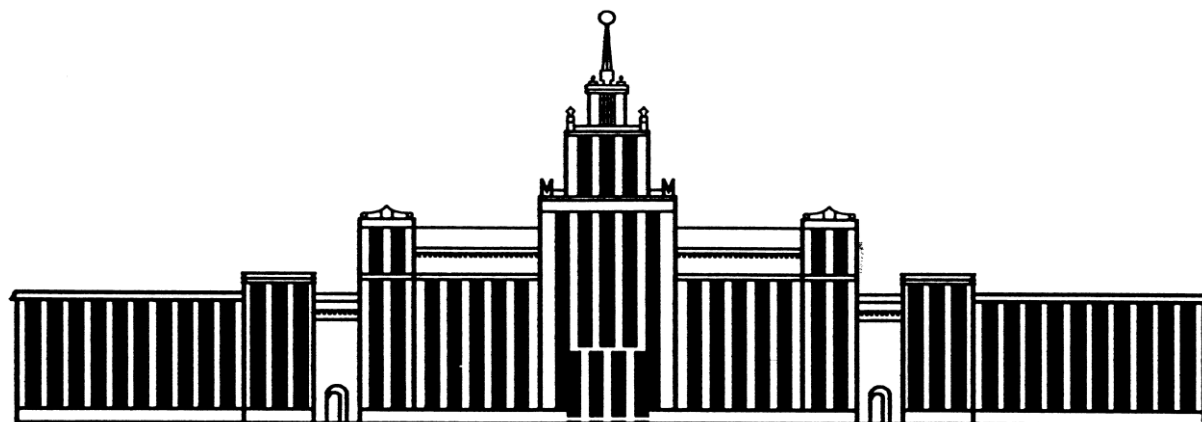


---

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---



---

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

664(07)  
Ш 66

Н.А. Шкаева, А.Э. Шкаев

**РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ.  
БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

---

Челябинск  
2020

---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Технология и организация общественного питания»

664(07)  
Ш 66

Н.А. Шкаева, А.Э. Шкаев

**РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ.  
БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2020

УДК [664:621.039] (075.8)  
Ш66

Одобрено  
учебно-методической комиссией  
Института спорта, туризма и сервиса

Рецензенты:

**Юсупова Р.Х.** – профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы  
ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ,  
**Самохвалов В.П.** – директор ЧОУ ДПО «Учебный центр Альфа»,  
преподаватель по радиоактивным материалам

**Шкаева, Н.А.**

Ш66 Радиационный мониторинг. Биологическая безопасность пищевых систем: учебное пособие / Н.А. Шкаева, А.Э. Шкаев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 67 с.

В учебном пособии рассмотрены вопросы радиационного мониторинга, обеспечения биологической безопасности пищевых продуктов.

Учебное пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения направлений: 19.03.04 (бакалавриат) и 19.04.04 (магистратура) «Технология продукции и организации общественного питания».

УДК [664:621.039](075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩЕПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
Глава 1. СИСТЕМА РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА .....	7
1.1. Методы и средства контроля радиационной обстановки окружающей среды .....	11
1.2. Методы организации радиационно-экологического мониторинга .....	12
1.3. Методика проведения радиационно-экологического мониторинга пищевых систем .....	14
Глава 2. РАДИАЦИОННАЯ ДОЗИМЕТРИЯ. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ	
2.1. Радиационная дозиметрия .....	17
2.2. Единицы измерения ионизирующего излучения.....	19
2.3. Дозы облучения, мощность дозы .....	21
2.4. Дозиметрические особенности облучения человека и живых организмов .....	25
Глава 3. ИЗМЕРЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	29
Глава 4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ	
4.1. Миграция радионуклидов .....	34
4.2. Токсикология радиоактивных веществ .....	41
4.3. Радиоактивное загрязнение продовольственного сырья и пищевых продуктов .....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	61
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	66

## **ОБЩЕПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**

ЕРН – естественные радионуклиды

ИРН – искусственные радионуклиды

МВИ – выполнение измерений величин определенными методами и средствами измерений

МП – пробоотбор

МРК – радиационный контроль объектов

МС – подготовки счетных образцов

РВ – радиоактивные вещества

СРМ – системы радиационного мониторинга

СИ (SI) – система единиц

РЭМ – радиационный экологический мониторинг

## ВВЕДЕНИЕ

Радиационный мониторинг – это новая комплексная дисциплина, являющаяся частью радиоэкологии и радиационной безопасности.

Главной целью радиационного мониторинга является охрана здоровья людей, а также всего живого от вредного воздействия естественных и искусственных источников ионизирующего излучения путем соблюдения норм радиационной безопасности при использовании излучения в различных областях науки, медицины и пищевой промышленности.

В настоящее время накоплен и обобщен значительный опыт по обеспечению экологической безопасности на предприятиях ядерно-топливного цикла (ЯТЦ).

На территории России имеется 214 ядерных установок (атомные станции, исследовательские реакторы, испытательные стенды), 454 пунктов хранения ядерных материалов, 467 пунктов хранения радиоактивных веществ и активных отходов. Функционируют 22 предприятия, где хранятся изотопы и радиоактивные вещества. В народном хозяйстве используются более 5000 радиоактивных источников ионизирующего излучения. Все это свидетельствует о том, что вопросы обращения с радиоактивными веществами (РВ) и материалами, проблемы ядерной энергетики России являются актуальными для экологической безопасности страны.

Для этого разработана нормативно-правовая база, которая построена по иерархической трехуровневой схеме: законы, подзаконные акты, нормативные документы.

В настоящее время действуют нормативные документы, регламентирующие биологическую безопасность и качество пищевой продукции – Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», законы «Об охране окружающей природной среды», «О защите прав потребителей», «О качестве и безопасности пищевых продуктов», «О радиационной безопасности населения», обращение с радиоактивными веществами, – Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009) и санитарные правила СП – 2.6.1.798–99 и другие документы, предусматривающие обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов.

В 1996 г. утверждена концепция перехода России к устойчивому развитию. В правовом отношении названные документы совместно с другими нормативно-правовыми актами призваны регулировать отношения между

юридическими лицами – природопользователями, осуществляющими хозяйственную деятельность, органами государственного управления, контроля и надзора и гражданами.

Законом «Об охране окружающей природной среды» впервые вводится понятие норм ее качества, соблюдение которых обеспечивает сохранение здоровья и условий жизнедеятельности человека, генетического фонда, охрану растительного и животного мира.

Решение вопросов ядерной безопасности возможно только в результате подготовки специалистов, обладающих фундаментальными знаниями в области радиационного мониторинга, радиоэкологии, обеспечения качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Поэтому издание учебной литературы по данной тематике является своевременной и актуальной задачей.

В учебном пособии рассмотрены методы радиационного мониторинга и радиационной безопасности пищевых систем.

## Глава 1. СИСТЕМА РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Monitor* (лат.) означает напоминающий, предупреждающий.

*Мониторинг* (англ. – monitoring) – 1. постоянное наблюдение за какими-либо объектами или явлениями; 2. многократно проводимые измерения для снижения за изменением какого-либо параметра в некотором интервале времени.

*Понятие мониторинга окружающей среды впервые было введено в употребление Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН. Мониторингом было предложено называть систему повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой.*

*В нашей стране одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю.А. Израэль (1984), который определил мониторинг как систему наблюдений, позволяющую выделить изменения биосферы под влиянием человеческой деятельности. В настоящее время этот термин очень широко используется для обозначения длительно проводящихся наблюдений за изменением природных и природно-техногенных процессов, влияющих на состояние природных и природно-технических систем. В самом общем виде мониторинг – это организованная с контрольно-диагностическими целями пространственно-временная система наблюдений за изменениями природных и природно-технических систем, объектов и отдельных составляющих их частей во взаимодействии с окружающей средой.*

Различают несколько видов мониторинга, как по характеру загрязнения среды, так и по методам или целям наблюдения. В соответствии с тремя типами загрязнений различают мониторинг глобальный, региональный, импактный; по способам – авиационный, космический, дистанционный; по задачам – прогностический и т. п.

Глобальный мониторинг предусматривает слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере и осуществление прогноза возможных изменений.

Региональный мониторинг охватывает отдельные регионы, в пределах которых имеют место процессы и явления, отличающиеся по природному характеру или по антропогенным воздействиям от общего базового фона.



*Импактный мониторинг* предусматривает осуществление наблюдений в особо опасных зонах и местах, обычно непосредственно примыкающих к источникам загрязняющих веществ.

Важное значение имеет, так называемый, *базовый (или фоновый) мониторинг*, задача которого – слежение за состоянием природных систем и природными процессами, на которые практически не влияют региональные антропогенные факторы. Базовый мониторинг позволяет охарактеризовать состояние природы как бы в ее «чистом» виде, хотя глобальные загрязнения все же вносят определенный вклад в изменение природной среды. Для осуществления базового (фоновый) радиационного мониторинга используют удаленные от промышленных регионов территории, в том числе биосферные заповедники.

В настоящее время разработаны и действуют различные системы радиационного мониторинга (СРМ), которые разделяются по принципам универсальности, условиям и источникам воздействия ионизирующего излучения, и методам наблюдения.

СРМ – это режимное или непрерывное наблюдение за состоянием геологической среды и ее радиоактивности на основе измерения мощности дозы ионизирующего излучения и концентрации естественных и искусственных радионуклидов.

*Таким образом, мониторинг представляет собой систему сбора, обработки и хранения информации, необходимой для решения определенных задач.*

Целью СРМ является оценка уровня ионизирующего излучения, исключение необоснованного облучения населения и снижение дозы облучения до возможно низкого уровня и прогнозирование радиационного состояния исследуемой области.

Основная задача глобальной системы мониторинга состоит в раннем предупреждении о наступающих естественных или антропогенных изменениях состояния природной среды, которые могут нанести прямой или косвенный ущерб здоровью или благосостоянию людей. Установлено, что любые негативные изменения природной обстановки прямо или косвенно влияют на жизнь человека.

*Одной из главных задач является выявление тенденций изменения состояния окружающей среды, отдельных ее компонентов, природных и природно-технических систем, объектов под влиянием природных или*

техногенных процессов и составление долгосрочных и краткосрочных прогнозов таких изменений.

СРМ фиксирует содержание радиоактивных элементов в воздухе, воде, почве, растениях и горных породах, а также на территории социальных, научных, промышленных и военных объектов.

По иерархическому принципу выделены уровни проведения радиационно-экологического мониторинга (РЭМ): региональный, районный и детальный. По степени срочности получения радиационной информации используют режимный, оперативный и экстренный радиоэкологический мониторинг. В зависимости от используемых методов и средств наблюдения радиационно-экологический мониторинг может быть космическим, авиационным, наземным, водным и подводным.

Сейчас на поверхности земли, в открытых водоемах и почве распространены концентрации как ЕРН, так и ИРН. Наиболее опасным следует считать радиоактивное загрязнение территории в связи с ядерными катастрофами, наземными ядерными и термоядерными взрывами и применением ядерного оружия. Этот вид радиоактивного заражения отличается наибольшим масштабом загрязнения территории и высоким содержанием ЕРН и ИРН с большим периодом полураспада.

Действующая нормативно-правовая база построена по иерархической трехуровневой схеме: законы, подзаконные акты, нормативные документы.

В нашей стране действуют законы «Об охране окружающей природной среды» и «О радиационной безопасности населения». В 1996 г. утверждена концепция перехода России к устойчивому развитию. В правовом отношении названные документы совместно с другими нормативно-правовыми актами призваны регулировать отношения между юридическими лицами – природопользователями, осуществляющими хозяйственную деятельность, органами государственного управления, контроля и надзора и гражданами.

Законом «Об охране окружающей природной среды» впервые вводится понятие норм ее качества, соблюдение которых обеспечивает сохранение здоровья и условий жизнедеятельности человека, генетического фонда, охрану растительного и животного мира.

Радиационный экологический мониторинг (РЭМ) представляет собой процесс регулярно повторяющихся измерений содержания радиоактивных элементов в подземных и поверхностных водах, почвах, грунтах, коренных породах и приземном воздухе. Для этого поддерживается постоянная сеть радиометрических и дозиметрических станций и полигонов наблюдения,

расположенных в населенных пунктах. Наиболее хорошо такая сеть организована в крупных городах (Москве, Санкт-Петербурге, Севастополе, областных центрах).

С современных позиций науки СРМ необходимо рассматривать как систему оценки радиоактивности естественных и искусственных источников ионизирующего излучения с применением специальных методов наблюдения, создания банка данных о радиационном состоянии объекта исследования и организации мер предупреждения о возможной радиационной опасности. Следовательно, мониторинг включает в себя:

- \* выбор пунктов наблюдения и сети стационарных наблюдений в различных подсистемах экосистемы: литосфере, атмосфере, гидросфере, биосфере.

В последнее время применяются передвижные экологические лаборатории, оборудованные автоматизированными системами контроля радиационной обстановки;

- \* измерительную аппаратуру, комплекс методик измерения радиоэкологической обстановки и информационную систему сбора, обработки и представления информации о состоянии окружающей среды;

- \* создание банка данных радиоэкологической информации и системы оперативного анализа получаемых данных для разработки принципов оптимизации взаимодействия живых организмов с окружающей средой;

- \* систему предупреждения и предсказания природного или техногенного изменения радиационной обстановки.

В общем виде структурная схема мониторинга показана на рис. 1.

Из схемы следует, что её основными частями являются блок контроля (система пунктов получения информации по Г. К. Бондарнику) и блок управления (прогнозно-диагностический и управляющий центры), связанные между собой каналами передачи информации.

Важными элементами структуры мониторинга являются: системы объектов мониторинга (почвы, воды, воздуха и др.); системы производственных работ, составляющих производственную базу мониторинга (виды работ, которые используются при организации и ведении мониторинга); системы научно-методических разработок (разработка всего комплекса методик, используемых при планировании, организации и функционировании мониторинга, при проведении производственных работ, при анализе и оценке результатов наблюдений, при прогнозировании и выдаче управляющих решений); системы технического обеспечения (аппаратура для наблюдений и сбора первичной информации, датчики, индикаторы, техниче-

ские средства, автотранспорт, лабораторное оборудование, компьютеры и средства связи и коммуникаций и др.).



Рис. 1. Структурная схема мониторинга  
(по В. К. Епишину, В. Т. Трофимову, 1985)

Научно-методическое руководство сетью осуществляется НПО «Тайфун».

### **1.1. Методы и средства контроля радиационной обстановки окружающей среды**

Защита населения от радиационного облучения природными и техногенными (искусственными) радионуклидами осуществляется путем нормирования параметров, определяющих состояние радиационной обстановки на селитебных территориях и внутри производственных и жилых помещений. Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) предусмотрен контроль содержания радионуклидов в воде, воздухе, строительных материалах и других объектах. Законом РФ «О радиационной безопасности населения» (1996) предусматривается, что в целях защиты населения от природных радионуклидов необходимо следующее:

\* выбор земельных участков для строительства зданий и сооружений с учетом  $\gamma$ -излучения и выделения радона из почвы;

\* проектирование и строительство зданий и сооружений с учетом поступления радона в воздух этих помещений;

\* проведение производственного контроля строительных материалов зданий и сооружений в эксплуатацию с учетом уровня содержания радия и радона в помещениях и  $\gamma$ -излучающих природных радионуклидов;

\* эксплуатацию зданий и сооружений с учетом уровня содержания в них гамма-излучения природных радионуклидов;

\*биологическая безопасность населения;

\* радиационный контроль пищевых продуктов.

На предприятиях перерабатывающей промышленности исследуют пробы на суммарную бета-активность, содержание стронция-90, цезия-137 во всех видах сырья, поступающего на переработку.

## **1.2. Методы организации радиационно-экологического мониторинга**

Радиационный контроль за объектами природной среды (почвы, атмосферного воздуха и поверхностных вод питьевой воды) ведется путем измерения мощности дозы гамма – излучения, отбора проб и измерением суммарной бета – активности атмосферных выпадений и воды в основных водоемах, измерением концентрации радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферы. Этот контроль носит регулярный характер и позволяет решать задачи раннего предупреждения в случае ядерных аварий. Измерения, проводимые при данном типе контроля, относятся к мониторинговым типам измерений и проводятся на постоянных постах и метеостанциях. Осуществляется радиационный контроль почв сельскохозяйственных угодий, продуктов растениеводства, кормов, удобрений, строительных материалов, участков застройки, готовых зданий и сооружений, продуктов питания, воды, товаров народного потребления и т. д.

Радиационный контроль объектов ведется по соответствующим методикам: радиационного контроля объектов (МРК); выполнения измерений величин определенными методами и средствами измерений (МВИ); пробоотбора (МП); подготовки счетных образцов (МС).

В последнее время благодаря развитию новых технологий и появлению новых мощных микропроцессоров произошла почти полная смена приборного парка радиационного контроля.

Проведение непрерывных наблюдений, автоматизированный сбор и обработка информации с применением ЭВМ позволяют располагать оперативными данными о динамике формирования ореолов радиоактивного загрязнения. Так, радиоактивная обстановка по Челябинской области кон-

тролируется по замерам на более 40 пунктах радиационного мониторинга и регулярно в виде электронных таблиц, схем и карт предоставляется в Министерство экологии правительства области.

Пункты и станции РЭМ располагаются по определенной сети на исследуемой территории, где имеются данные о возможном нарушении фона ионизирующего излучения воздуха, воды, почвы и горных пород вследствие природных и техногенных радиационных аварий и катастроф. В зависимости от нормативных требований устанавливают систему мониторинга на территориях радиоэкологического бедствия и радиоэкологической опасности.

Основу радиационного мониторинга ГУ Челябинский ЦГМС составляет наблюдательная сеть постов импактного мониторинга в зоне влияния потенциально-опасных ядерных объектов и фоновый мониторинг, призванный регистрировать повышения радиационного фона, связанные с трансграничным переносом радиоактивных веществ.

Работы по радиационно-экологическому мониторингу проводятся на трех уровнях: региональном, районном и детальном. При этом каждому уровню соответствуют свои задачи.

Региональный уровень, на котором оценивается радиационная обстановка на территории области с применением объемной  $\gamma$ -съемки с воздуха при помощи дельтапланов и вертолетов. Районный уровень, где проводится радиационный контроль округов, лесопарковых зон и зон массового отдыха. Автомобили с аппаратурой для радиометрического экспресс-анализа объезжают главные магистрали, выявляя возможные аномалии. Детальный уровень – исследуется радиационная обстановка в промышленных зонах, на предприятиях, в институтах, различных организациях, где применяется пешеходная  $\gamma$ -съемка.

Проведение непрерывных наблюдений, автоматизированный сбор и обработка информации позволяют располагать оперативными данными о динамике формирования ореолов радиоактивного загрязнения, служат обоснованием строительства инженерно-технических защитных сооружений и принятия управленческих решений.

### 1.3. Методика проведения радиационно-экологического мониторинга пищевых систем

Обеспечение безопасности пищевой продукции на всех этапах пищевой цепочки с целью охраны жизни и здоровья людей реализации при помощи целого комплекса мер, одним из которых является государственный лабораторный мониторинг сырья и продукции животного и растительного происхождения.

*Под мониторингом пищевых систем понимается система наблюдения, анализа, оценки качества и безопасности пищевых продуктов, материалов и изделий, контактирующих с пищевыми продуктами (далее именуются – пищевая продукция), питания и здоровья населения.*

В рамках мониторинга продукция исследуется на микробиологические показатели, токсичные элементы, нитраты, нитриты, радионуклиды, фико-токсины, на содержание остаточных количеств пестицидов и антибиотиков.

Безопасность пищевых продуктов оценивается по гигиеническим нормативам, которые включают биологические объекты, потенциально опасные химические соединения, радионуклиды и вредные растительные примеси. Присутствие их в пищевых продуктах не должно превышать допустимых уровней содержания в заданной массе (объеме) исследуемой продукции. Указанные показатели безопасности установлены для 11 групп продуктов:

1. Мясо и мясопродукты; птицы, яйца и продукты их переработки.
2. Молоко и молочные продукты.
3. Рыба, нерыбные продукты промысла и продукты, вырабатываемые из них.
4. Зерно (семена), мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия.
5. Сахар и кондитерские изделия.
6. Плодоовощная продукция.
7. Масличное сырье и жировые продукты.
8. Напитки.
9. Другие продукты.
10. Биологически активные добавки к пище.
11. Продукты детского питания.

В мире насчитывается много тысяч наименований пищевых продуктов. Все продукты можно разделить на группы в соответствии с:

- их местом в системе питания;
- рынком, на котором они представлены;
- технологией, используемой при их производстве;
- основными общепринятыми характеристиками (пищевая ценность и полезность для здоровья);
- продуктовой платформой;
- уровнем инноваций.

Продукты взаимодействуют с каждой частью пищевой системы (системы производства, распространения и потребления пищевых продуктов, рис. 2) – от первичного производства до потребителя. Новый злак, богатый белками, может попасть:

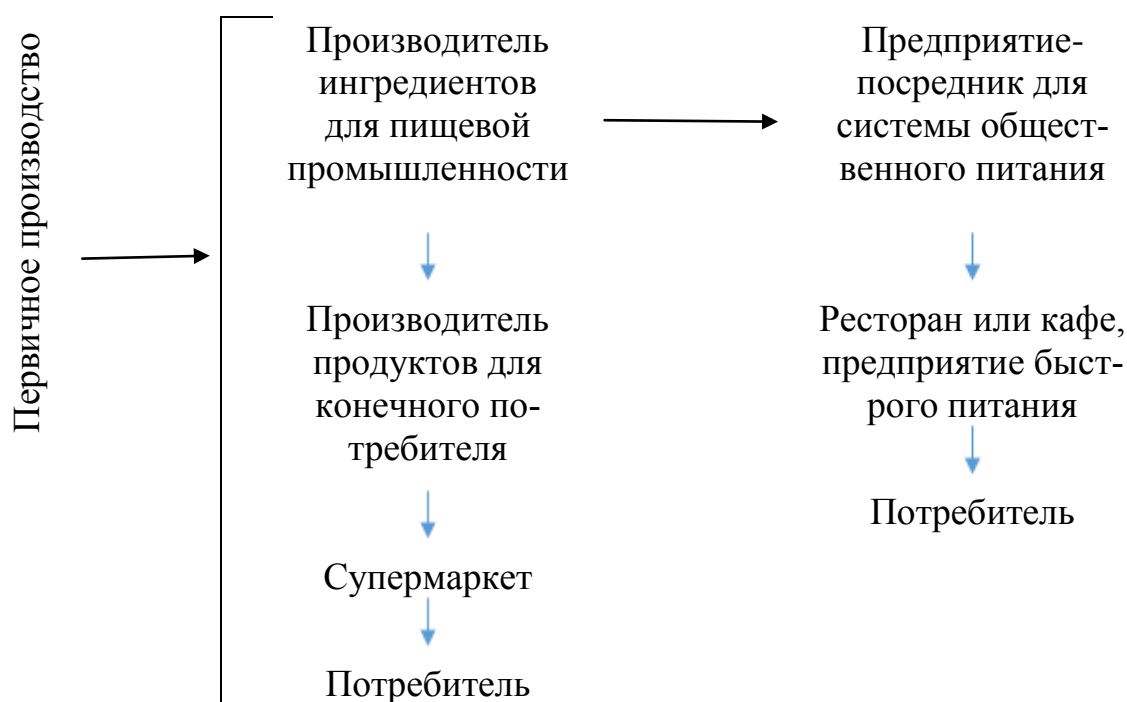


Рис. 2. Пищевая система

- к производителю промышленных ингредиентов и превратиться в специальный протеиновый продукт для пекарей;
- к производителю пищевых продуктов, чтобы стать высокобелковыми хлопьями для завтрака;
- в вегетарианское кафе как заменитель мяса;
- в супермаркет в виде компонента мюсли домашнего приготовления;
- непосредственно к потребителю для использования в домашней выпечке.



Новый продукт в одной части пищевой системы может послужить причиной появления новых продуктов и в других ее частях. Следует различать три группы продуктов:

- первичные сельхоз- и морепродукты;
- ингредиенты продуктов промышленного производства;
- потребительские продукты (готовые и производимые в сфере общественного питания).

Процесс разработки продуктов в основном одинаков для всех трех групп, но для каждой существуют свои специфические методики, пригодные для использования только в данной группе.

В каждом случае необходимо хорошо представлять итоговый продукт. Любой продукт существует вместе со своими побочными связями (сервис) и тем «образом продукта», который формируется фирмой-производителем; в то же время у потребителей/клиентов создается свое восприятие этого продукта. Гамбургер из Макдональдса кажется весьма простым продуктом, однако он сильно связан с удобством его получения, ценой, быстрым обслуживанием, соблюдаемым уровнем гигиены, не говоря уже о весьма значительной притягательной силе гамбургера (особенно для молодежи) как символа американского образа жизни. В продуктах сферы общественного питания значительную долю занимает сервис; доля сервиса присутствует сегодня и в продуктах промышленного производства, и все больше – в первичных сельхоз- и морепродуктах.

Безопасность пищевых продуктов, как животного, так и растительного происхождения определяется, прежде всего, по микробиологическим показателям.

Гигиенические нормативы включают контроль за 4 группами микроорганизмов:

#### 1. Санитарно-показательные:

- количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) (в колониеобразующих единицах – КОЕ/г);
- бактерии группы кишечных палочек – БГКП (колиформы);
- бактерии семейства *Enterobacteriaceae*;
- энтерококки.

2. Условно-патогенные микроорганизмы: *E.coli*, *S.aureus*, бактерии рода *Proteus*, *B.cereus*, сульфитредуцирующие клостридии, параземолитический вибрион (*Vibrio parahaemolyticus*).

3. Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, листерии (*Listeria monocytogenes*), бактерии рода иерсений (*Yersinia*).

4. Микроорганизмы порчи – в основном это дрожжи и плесневые грибы, молочнокислые микроорганизмы.

Для большинства групп микроорганизмов нормируется масса продукта, в которой не допускаются группы кишечных палочек, большинство условно-патогенных микроорганизмов, а также патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы. В других случаях норматив отражает количество колониеобразующих единиц в 1 г (мл) продукта (КОЕ/г, мл).

В продовольственном сырье и пищевых продуктах не допускается наличие возбудителей паразитарных заболеваний (гельминты, их яйца, и личиночные формы). В мясе и мясных продуктах не допускается наличие возбудителей: финны (цистицеркоиды), личинки трихинелл и эхинококков, цисты саркоцит и токсоплазм.

## **Глава 2. РАДИАЦИОННАЯ ДОЗИМЕТРИЯ. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ**

### **2.1. Радиационная дозиметрия**

*Радиационная дозиметрия* – область радиоэкологии, изучающая действие источников ионизирующего излучения на объекты живой и неживой природы, в частности дозы излучения, а также методы и приборы измерения ионизирующего излучения.

Радиационная дозиметрия также самостоятельный раздел экологической безопасности, где рассматриваются вопросы обращения с радиоактивными веществами (РВ). Радиационная дозиметрия является междисциплинарной областью знания, куда входят различные нормативные документы международных организаций и документы федеральных агентств и ведомств. На территории России основным документом при обращении с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения являются «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009).

Вопрос о дозиметрическом обеспечении практического применения источников ионизирующего излучения возник в начале XX в., когда

выявленными источниками излучения были радий и рентгеновские аппараты, и радиационная дозиметрия сводилась фактически к дозиметрии фотонного ионизирующего излучения (рентгеновского и гамма-излучения). Затем по мере развития технических средств ядерной физики, создания и усовершенствования ускорителей заряженных частиц и особенно после пуска в 1942 г. первого ядерного реактора число источников и связанных с ними видов ионизирующих излучений существенно расширились. В соответствии с этим появились методы дозиметрии потоков заряженных частиц, нейтронов, высокоэнергетического тормозного излучения и др. Стал расти и список дозиметрических величин, соответствующих задачам многообразного практического применения ионизирующего излучения различной природы.

*Радиационная дозиметрия – это раздел прикладной радиометрии, в котором рассматриваются свойства ионизирующего излучения, физические величины, характеризующие поле излучения и взаимодействие излучения с веществом (дозиметрические величины).*

Для дозиметрических величин характерна их связь с радиационно-индуцированными эффектами, возникающими при облучении объектов живой и неживой природы. Под радиационно-индуцированными эффектами в общем смысле понимают любые изменения в облучаемом объекте, вызванные воздействием ионизирующего излучения. Основной дозиметрической величиной является доза.

Физической основой радиационной дозиметрии является преобразование энергии излучения в процессе его взаимодействия с атомами или их ядрами, электронами и молекулами облучаемой среды, в результате чего часть этой энергии поглощается веществом. Поглощенная энергия является причиной процессов, приводящих к наблюдаемым радиационно-индуцированным эффектам, и потому дозиметрические величины оказываются связанными с поглощенной энергией излучения.

С открытием радия было обнаружено, что  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение радиоактивных веществ вызывают биологические эффекты, похожие на те, которые вызываются рентгеновским излучением. При использовании радиоактивности возникает опасность попадания радиоактивных веществ внутрь организма (через продукты питания, воду, воздух). В результате

были разработаны методы измерения активности источников радиации (распад/сек), являющиеся основой дозиметрии.

Развитие ядерной энергетики и производство радиоактивных веществ привело к большому разнообразию видов ионизирующего излучения и к разработке дозиметров.

Необходим целый набор дозиметрических величин, из которых в зависимости от условий облучения и поставленной задачи выбирают наиболее адекватную меру радиационно–индуцированного эффекта. Такой величиной является, введенный Международной комиссией по радиологическим единицам для целей радиационной безопасности, показатель эквивалентной дозы. Практическое применение этого показателя встречает определенные трудности, поэтому проблему адекватности дозиметрии пока нельзя считать полностью решенной.

При радиационной дозиметрии используют как инструментальные, так и расчетные методы. Все дозиметрические приборы устроены по принципу регистрации радиационно–индуцированных эффектов в некотором модельном объекте – детекторе ионизирующего излучения. В современных условиях используется широкий спектр радиационно–индуцированных эффектов. Это ионизационные эффекты в газах и конденсированных средах, изменение электрических свойств полупроводников, деструктивные повреждения твердых тел, люминесценцию, сцинтилляцию и др.

Основными методами радиационной дозиметрии излучения в настоящее время являются: ионизационный, сцинтилляционный, люминесцентный, фотографический, химический, дозиметрия нейтронов, дозиметрия заряженных частиц, микродозиметрия и др.

## **2.2. Единицы измерения ионизирующего излучения**

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов разных знаков. Процесс ионизации происходит при взаимодействии жесткого излучения и элементарных частиц с веществом, который откладывает отпечаток на регистрацию и измерение ионизирующего излучения. Энергия частиц, ионизирующих окружающую среду определяется энергией, а для фотонного рентгеновского и  $\beta$ -излучения – определяется соотно-

шением  $h\nu$ , где  $h$  – постоянная Планка,  $\nu$  – частота излучения. Энергия ионизирующих частиц выражается в электрон-вольтах (эВ):

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж или } 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$$

За основной процесс при радиоактивности принят 1 распад, сопровождающийся испусканием  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц, нейтронов и  $\gamma$ -излучения. Мерой количества радиоактивного вещества является *активность*  $A$ : число самопроизвольных ядерных превращений  $dN$  в единицу времени  $dt$ .

$$A = - \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Если в секунду происходит 1 распад, интенсивность или активность распада оценивают в 1 *беккерель* (Бк). Широко используется единица активности – *кюри* (Ки):  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

Переход от активности радионуклида (в Бк) к его массе  $Q$  (г) рассчитывается:

$$Q = M_a / \lambda \cdot 0,62 \cdot 10^{23}, \text{ где}$$

$\lambda$  – константа распада радионуклида,  $\text{с}^{-1}$ ;

$M_a$  – атомная масса радионуклида;

$0,62 \cdot 10^{23}$  – постоянная Авогадро.

Активность разных источников существенно различается. Так, например, активность 1 г разных радионуклидов в Ки составит:

$${}^{87}\text{Rb} = 8,5 \cdot 10^{-8}$$

$${}^{232}\text{Th} = 1,1 \cdot 10^{-7}$$

$${}^{235}\text{U} = 2,1 \cdot 10^{-6}$$

$${}^{40}\text{K} = 6,8 \cdot 10^{-6}$$

Например, масса одного кюри  ${}^{131}\text{I}$  равна 0,008 мг, а одного кюри  ${}^{238}\text{U}$  – около 3000 кг.

Используется понятия удельной активности.

*Удельная активность* представляет собой активность единицы массы твердого вещества или жидкости и измеряется соответственно в Бк/кг или Ки/кг.

Активность удельная (объемная) – отношение активности  $A$  радионуклида в веществе к массе  $m$  (объему  $V$ ) вещества:

$$A_m = \frac{A}{m}; \quad A_v = \frac{A}{v}$$

Единицами плотности радиоактивного загрязнения (*удельной поверхностной активности*) служат Бк/м<sup>2</sup>; Ки/км<sup>2</sup>. На практике используется районирование территории исходя из плотности радиоактивного загрязнения, выраженной в Ки/км<sup>2</sup>.

### 2.3. Дозы облучения, мощность дозы

*Дозой облучения* называется энергия излучения, поглощенная в единице объема или массы вещества за все время воздействия излучения. Энергия излучения, поглощенная веществом, затрачивается на его ионизацию. Следовательно, доза облучения, характеризует степень ионизации вещества: чем больше доза, тем больше степень этой ионизации. Поэтому именно доза излучения (или облучения) является мерой поражающего действия радиоактивных излучений на организм человека, животного или растения. Одна и та же доза может накапливаться за разное время, причем биологический эффект облучения зависит не только от величины дозы, но и от времени ее накопления. Чем быстрее получена данная доза, тем больше ее поражающее действие, и наоборот.

Есть три вида доз: *экспозиционная, поглощенная и эквивалентная*. Доза излучения, ионизационный эффект гамма-излучений в воздухе называется *экспозиционной*. Именно ее и измеряют дозиметрическими приборами. Она характеризует источник и радиоактивное поле, которое он создает. Это потенциальная опасность облучения. Человек может войти в это поле и облучиться, но может не войти и, следовательно, не подвергнуться облучению. Но поле с определенной дозой излучения остается. Ее измеряют рентгенах (Р), а в системе СИ – кулонах на килограмм (Кл/кг).

*Поглощенная доза облучения* – это количество энергии различных видов ионизирующих излучений, поглощенное единицей массы данной среды. За единицу поглощенной дозы облучения принимают джоуль на килограмм (Дж/кг). Единица (Дж/кг) получила название *грей* (Гр):

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 10^4 \text{ эрг/г.}$$

грей, а широко распространенной внесистемной единицей является *рад*:

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

$$1 \text{ Грей} = 100 \text{ рад}$$

Эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе  $\alpha$ -излучение более опасно (в 20 раз)  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения. Таким обра-

зом, поглощенная доза недостаточна для оценки риска ионизирующего облучения. Результаты облучения в различных условиях  $\gamma$ -лучей или нейтронов различны. Это снижает информативность значения поглощенной дозы для радиационной защиты, которой необходимо качественное отражение степени радиационного вреда.

Удобно выразить вес поглощенной дозы, используя количественные факторы. В данном случае взвешенная поглощенная доза лучше коррелирует со степенью радиационного риска, нежели только поглощенная доза. Когда взвешенные факторы были рекомендованы Международной комиссией по радиационной защите, взвешенная поглощенная доза была названа *эквивалентной дозой*. Она определяется равенством:

$$H_{TR} = D_{\pi} w_R$$

где  $D_{\pi}$  – поглощенная доза,

$w_R$  – взвешивающие коэффициенты для отдельных видов ионизирующего излучения, зависящие от условий облучения, степени дозы, фракционности и т.д.

При поглощении энергии излучения в пределах чувствительной мишени клетки, большей биологической эффективностью при равной величине дозы отличаются излучения с более высокими значениями  $w_R$ . Отсюда следует различная биологическая эффективность разных видов излучений. Для оценки различия в действии ионизирующих излучений по величине возможных биологических эффектов введено понятие относительной биологической эффективности. Поэтому  $w_R$  – отношение поглощенной дозы  $D_0$  образцового излучения, вызывающего определенный биологический эффект к поглощенной дозе  $D$  данного излучения, вызывающей такой же биологический эффект:

$$w_R = D_0 / D.$$

В качестве «образцового» принято рентгеновское излучение с граничной энергией 200 кэВ.

*Эквивалентная доза* – доза облучения, учитывающая способность излучения данного вида повреждать ткани организма. Она равна сумме поглощенных доз  $B_{TK}$  в тканях или клетках организма, создаваемых излучениями и умноженных на соответствующие радиационные взвешенные коэффициенты  $w_R$ . Чтобы учесть неравномерность поражения от различных видов излучений введен «коэффициент качества», на который необходимо умножить величину поглощенной дозы от определенного вида излучения, чтобы получить эквивалентную дозу. Все национальные и международные нормы установлены именно в эквивалентной дозе облучения.

Внесистемной единицей этой дозы является бэр, а в системе СИ – зиверт (Зв).

*Зиверт = 100бэр.* (1 Зиверт = 1 Дж/кг). Эквивалентная доза является основной величиной в радиационной защите, так как она позволяет оценить риск от вредных биологических последствий облучения различными излучениями независимо от их вида или энергии.

*Мощность дозы* – количество дозы, полученной за единицу времени. При расчете норм радиационной безопасности  $100 \text{ мбэр/год} = 1 \text{ мЗв/год}$ .

На основании экспериментальных радиобиологических данных были построены зависимости биологических эффектов от поглощенной дозы для всех основных видов ионизирующего излучения. Установлено, что коэффициенты качества  $w_R$  различных видов излучений варьируют от 1 до 20 (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты качества различных видов излучений

Вид излучения	$w_R$
Рентгеновское и гамма-излучение	1
Электроны и позитроны	1
Бета-излучение	1
Протоны с энергией $< 10 \text{ МэВ}$	10
Альфа-излучение с энергией $10 \text{ МэВ}$	20
Нейтроны с энергией $0,1-10 \text{ МэВ}$	10

В случае неравномерного облучения организма человека необходимо учитывать различную *радиочувствительность* биологических тканей и органов. Условия неравномерного облучения могут возникнуть, например, при поступлении  $^{131}\text{I}$  в организм животных и человека. Этот радионуклид практически полностью накапливается в щитовидной железе за очень короткое время, и основная дозовая нагрузка приходится именно на этот орган. Эксперименты и расчеты показали, что при этом относительная вероятность возникновения отдаленных радиационных эффектов по сравнению с условиями тотального  $\gamma$ -облучения с той же дозой равна 0,05.

*Эффективная эквивалентная доза.* Одни части (органы, ткани) более чувствительны к действию радиации, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких



более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей следует учитывать с разными коэффициентами ( $k$ ), который называется *коэффициентом радиационного риска*. Умножив эквивалентную дозу на соответствующий коэффициент радиационного риска и просуммировав по всем живым тканям и органам, получим значение *эффективной эквивалентной дозы* ( $D_{эффэкв}$ ), отражающее суммарный эффект облучения организма.

Эффективная эквивалентная доза ионизирующего облучения измеряется в *Зивертах*.

Величина эффективной дозы используется как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их *радиочувствительности*.

Вышеперечисленные параметры оценивают только индивидуально получаемые дозы. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, определяют *коллективную эффективную эквивалентную дозу*, которая измеряется в человеко-зиверт (чел-Зв). Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получают многие поколения людей от какого-либо источника ионизирующего излучения за все время его дальнейшего существования, называют *ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозой*. Считается, что это не доза, получаемая реальным человеком, а усредненный показатель воздействия источника излучения на всю человеческую популяцию.

При расчете коллективной дозы учитываются различия в организме для различных возрастных групп населения. Население разделено на три группы: новорожденные (до 1–2 лет), дети (до 12 лет) и взрослые (> 17 лет), с соответствующими вкладками (коэффициентами): 0,05, 0,3 и 0,65 условных единиц. Необходимо указать, что эти качественные факторы предназначаются для радиационной защиты. Они не отражают биологической эффективности в случае высоких доз, которые могут встречаться в радиационных катастрофах (П.А. Игнатов, А.А. Верчеба, 2010).

*Целью* радиационной безопасности пищевых продуктов и сырья является охрана здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения норм радиационной безопасности без обоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, науки и медицины.

## 2.4. Дозиметрические особенности облучения человека и живых организмов

Основную часть облучения в течение жизни человек и животное получают от естественных источников радиации, определяющих природный радиационный фон (ПРФ), который необходим для нормального развития живых организмов на нашей планете (А.М. Кузин, 1997).

Радионуклидное загрязнение биосферы, обусловленное испытаниями ядерного оружия, развитием ядерных технологий, к концу XX столетия приобрело глобальный характер, достигая в отдельных регионах критических уровней. Радионуклиды искусственного происхождения, попадая в окружающую среду, способствовали повышению природного радиационного фона, они, включаясь в биологические системы, поступают непосредственно в организм животных и человека, депонируются в нем (Р.М. Алексин и др., 2001; Ю.П. Пивоваров, В.П. Михалёв, 2004).

По своей природе большие дозы радиации опасны для жизни. Они повреждают живые клетки, ткани органов и ведут к быстрой гибели организма. Но и малые дозы облучения могут привести к раковым заболеваниям или генетическим повреждениям, проявляющимся спустя много лет, а иногда в последующих поколениях. Риск наступления таких последствий у искусственно облученных животных выше, и он увеличивается пропорционально дозе.

Радионуклиды, попавшие людям и животным аэрогенным или алиментарным путем по миграционной цепочке «почва–растение–животное–человек», а также внешнее  $\gamma$ -излучение, в зависимости от поглощенной дозы и других факторов, могут способствовать проявлению различных эффектов – от радиационного горемезиса до острой и хронической лучевой болезни и развития отдаленных последствий воздействия ионизирующих излучений.

В тоже время механизм ответа биологических объектов на действия сверхмалых доз биологических активных веществ (БАВ) и физических факторов низкой интенсивности пока не получил однозначной трактовки (Е.Б. Бурлакова, 2006). Одни исследователи считают, что наличие общих закономерностей в зависимости «доза–эффект», изменение чувствительности биологических объектов к широкому спектру разнообразных факторов (внутренних и внешних), гетерогенность ответа как результат действия сверхмалых доз свидетельствует лишь о внешнем сходстве явлений. В ка-

ждом конкретном случае рекомендуется искать свой механизм, свои мишени действия, свои возможности усиления сигнала и т.д. Не отрицая специфичности реакции в каждом конкретном случае, развивают представления об общем характере ответа биологических объектов на сверхмалые дозы БАВ, о системном изменении метаболизма под влиянием сигналов из внешней среды. Известно, при незначительном (на 1–3 порядка) превышении ЕРФ при общем однократном облучении в диапазоне сверхмалых доз наблюдается характерный «колоколообразный» по форме кривой всплеск оксидативных изменений в липидах.

В качестве одного из возможных механизмов, объясняющих эффект облучения в малых и больших дозах, предполагается нарушение под действием излучения функций плазматической и внутриклеточных мембран (Л.Х. Эйдус, 1994, 2001).

Последствия действия малых доз ионизирующих излучений на организм человека укладываются в две группы радиобиологических явлений. Первая из них – генетические и канцерогенные эффекты, возникающие после облучения

уже в области низких доз излучения. Они характеризуются как стохастические (вероятностные), поскольку зависимость от дозы излучения существует не для тяжести, а для вероятности их возникновения у каждой особи (В.К. Мазурик, В.Ф. Михайлов, 1999).

К числу генетических последствий действия излучений относят мутации, к которым принадлежат генные (точковые) мутации и хромосомные aberrации в соматических и половых клетках. Наследуемые изменения в генетическом материале соматических клеток надежно регистрируются лишь при дозах  $> 0,1$  Гр без проявлений видимого клинического ущерба.

Другой стохастический эффект действия радиации – возрастание риска возникновения рака: люди, подвергшиеся действию излучения, имеют большую вероятность заболеть этой болезнью. Указанный эффект относят к отдаленным последствиям действий излучений, хотя в качестве его основы также рассматривают соматические мутации.

Вторая группа последствий облучения относится к нестохастическим (детерминированным) эффектам, которые возникают в организме каждой облученной особи и потому считаются соматическими. Для них характерна зависимость тяжести проявления от дозы облучения. В отличие от стохастических эффектов, для которых любое приращение дозы над природным радиационным фоном повышает вероятность их появления, детерми-

нированные эффекты регистрируются только выше определенного уровня доз, т.е. имеют порог вследствие наличия механизмов репарации на молекулярном и субклеточном уровнях, регенерации и компенсации на органном и организменном уровнях. Ближайшими последствиями действия ионизирующих излучений в надпороговых дозах на организм млекопитающих и человека являются такие эффекты, как лучевая болезнь и радиационная гибель организма, а также эмбриотоксический и тератогенный эффекты. К отдаленным последствиям облучения относят также радиационное старение и стохастический эффект – возникновение радиационно-индуцированных опухолей, включая рак.

Большое внимание уделяется понятию „малая доза”. Термин „малая доза” зачастую используется неоднозначно. Принято считать, что малые дозы – это дозы, равные естественному фоновому облучению или превышающие его в десять раз; это дозовые пределы для профессиональных работников или дозы, незначительно превышающие их и не оказывающие непосредственного влияния на состояние здоровья. В радиобиологии это понятие связывают с величиной дозы, при которой исследуемый эффект начинает проявляться. Однако по отношению к одной и той же клетке радиобиологические эффекты могут начинать выявляться при существенно различных дозах. Поэтому одна и та же доза по отношению к одним индуцируемым радиацией эффектам будет малой, к другим – большой (Д.М. Спитковский и др., 1994). „Малой” считают такую дозу, при которой критическая мишень получает в среднем не более одного радиационного события (Д.М. Спитковский, 1992; V.P. Bond, L.E. Feinendegen, J. Booz, 1988).

Рассматривая «феномен малых доз», И.И. Пелевина, А.В. Алещенко (2004) рекомендуют обращать внимание даже на незначительное повышение радиационного фона, так как:

- 1) облучение в малых дозах само по себе вызывает целый ряд эффектов;
- 2) в области низких доз может отмечаться более сильный эффект;
- 3) облучение в малых дозах может повышать чувствительность к самым разным воздействиям.

По данным Е.Б. Бурлаковой и соавт. (1996) зависимость между малой дозой облучения и регистрируемым эффектом носит чрезвычайно сложный, порой парадоксальный характер. И, что особенно важно, эффект малых доз является опосредованным и реализуется через механизмы биоло-

гической регуляции гомеостаза, центральная роль в этих процессах принадлежит системе иммунитета. По мнению А.А. Ярилина (1997), низкоинтенсивную ионизирующую радиацию следует рассматривать как источник биологически значимой сигнализации. Проанализировав с этих позиций изменения в иммунной системе, автор заключает, что результатом неадекватной сигнализации, порождаемой низкоинтенсивным облучением, являются нарушения пространственной организации и её интегративных функций в организме. В определенном смысле слова это близко к старению иммунной системы и организма в целом.

Большая часть воздействий окружающей среды на живые организмы обусловлена радиационными и химическими факторами в малых дозах. После воздействия малых доз радиации наблюдается нелинейная зависимость между величиной физического фактора и радиочувствительностью клеток (B.G. Wouters, A.M. Sy, L.D. Skarsgard, 1996). При действии химических агентов в малых концентрациях отмечается прогрессивная нелинейная зависимость в отношении отдаленных последствий. Причем химические агенты, широко циркулирующие в окружающей среде, приводят к стохастическим эффектам той же природы.

В многочисленных работах показано значительное усиление радиационных повреждений клеток и организма в присутствии ряда химических соединений, в частности, солей тяжелых металлов, нитратов (Л.Н. Кирпиченко, Л.Г. Гидранович, В.П. Хейдоров, 1997), пестицидов (И.В. Ролевич, В.А. Левданская, Т.А. Чернова, 1993), оксидов азота, уретана (Т.С. Кузмина, С.Н. Сушко, 1993). Большую опасность представляют вещества, способные модифицировать первичные радикальные процессы в биосистемах, в частности в биологических мембранах, являющихся одной из основных мишеней радиационного повреждения клеток (А.М. Кузин, 1986).

В ранних работах рассмотрено влияние на организм сочетанного действия ионизирующего излучения и токсических веществ и отмечена следующая общая тенденция (В.В. Кустова, Л.А. Тиунова, Г.А. Васильева, 1975; Н.Ф. Изомерова, А.И. Корбакова, 1977). Так, при сочетанном действии в остром опыте, наблюдаются различные эффекты (потенцирование, аддитивное действие, антагонизм, независимое действие) по сравнению с изолированным действием агентов, а при длительном хроническом действии этих же агентов малой дозой преимущественно отмечали аддитивный эффект и независимое действие. Аналогичный вывод сделан и для случаев комбинированного действия различных химических веществ.

Существуют две точки зрения на проблему радиационных повреждений: согласно первой из них, «беспороговой теории», радиационно обусловленные повреждения могут развиваться при воздействии любых доз ионизирующего излучения, другая концепция предполагает наличие определенного порога доз, выше которого облучение вызывает повреждение, ниже – гормезисный эффект.

Таким образом, сочетанное воздействие в малых дозах радиационных и химических агентов может вызывать биологические эффекты. В настоящее время остро стоит вопрос об их хроническом воздействии на организм человека и животных.

### **Глава 3. ИЗМЕРЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

#### **Приборы, применяемые для регистрации радиации**

**Средства измерения.** Для определения содержания радионуклидов в продукции животного и растительного происхождения используют приборы, отвечающие требованиям, предъявляемым к средствам измерения и внесенные в таблицу оснащения государственных аккредитованных лабораторий.

Измерение радиоактивности выполняется при помощи специальной аппаратуры, имеющей детектор, чувствительный к ионизирующему излучению.

Как правило, эффективность регистрации  $\alpha$ - и  $\gamma$ -излучения современными детекторами составляет 100%.

Дозиметрические приборы по своему назначению делятся на следующие группы: индикаторы, радиометры и дозиметры. Индикаторы определяют дозу ионизирующего излучения при индивидуальном использовании прибора. Радиометры служат для измерения плотности потока излучения, радиоактивности газов, жидкостей, аэрозолей, изделий. Измерение экспозиционной мощности дозы рентгеновского и  $\gamma$ -излучения, поглощенной дозы, интенсивности ионизирующего излучения производится дозиметрами.

Структура дозиметрического контроля делится на три группы: индивидуальный контроль, групповой контроль с помощью переносных приборов и стационарный контроль.

Назначение дозиметрических приборов индивидуального контроля очевидно. Они, как правило, малых размеров, крепятся к рабочей одежде и

представляют собой обыкновенную электрическую емкость, образуемую центральным электродом и корпусом. Перед употреблением прибора его заряжают до заданного потенциала с помощью зарядного устройства. Под действием излучения в пространстве между электродом и корпусом возникают ионы, которые уменьшают заряд на величину, прямо зависящую от экспозиционной дозы (Игнатов П.А., Верчеба А.А., 2010).

Кроме индивидуальных дозиметров существует большой ряд переносных и стационарных приборов.

Самым простейшим прибором является индикатор, который не дает количественного значения мощности дозы излучения, но позволяет оценить превышение над радиационным фоном. Он, как правило, выдает звуковые или световые сигналы, пропорциональные величине излучения.

*Индикаторы* – простейшие приборы, при их помощи решается задача обнаружения, главным образом,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения. Эти приборы снабжены световой или звуковой сигнализацией. Датчиком служат газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера. К этой группе приборов относятся индикаторы типа ДП-63, ДП-63А, ДП-64 и другие.

**Дозиметры** – это приборы для измерения ионизирующих излучений – предназначены для получения измерительной информации об экспозиционной дозе и мощности ее фотонного излучения и (или) об энергии, переносимой ионизирующим излучением или переданной объекту, находящемуся в поле действия излучения.

Индивидуальные дозиметры представляют собой малогабаритные ионизационные камеры или же фотокассеты с пленкой. Почти все современные дозиметрические приборы работают на основе ионизационного метода. Датчиками при этом служат ионизационные камеры, газоразрядные или сцинтилляционные счетчики и т.д. По измерению вида излучения их разделяют: на приборы для измерения гамма-излучения,  $\beta$ - и  $\alpha$ -частиц и нейтронного потока.

*Измеритель мощности дозы* ИМД-21 предназначен для измерения мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения. Наиболее популярный дозиметр ДРГ – 01Т1.

*Дозиметр-радиометр* ДРГБ-01 «ЭКО-1» отличается повышенной чувствительностью, простотой и удобством управления. Прибор используется для измерения мощности эквивалентной (экспозиционной) дозы гамма-излучения (МЭД), удельной активности радионуклидов и плотности бета-частиц. Применяется для радиационного контроля на объектах сельского,

водного, лесного и коммунального хозяйства, атомной энергетики, а также для оценки радиационной обстановки.

*Комплект индивидуальных измерителей дозы ИД-11* предназначен для индивидуального контроля облучения людей с целью первичной диагностики радиационных поражений. В комплект входят 500 индивидуальных измерителей дозы ИД-11. Они обеспечивают измерения поглощенной дозы  $\gamma$ - и смешанного  $\gamma$ -нейтронного излучения в диапазоне от 10 до 1500 рад.



Дозиметр ИД-11

*Дозиметр ДРГ2-01* предназначен для измерения экспозиционной дозы рентгеновского и  $\gamma$ -излучения в диапазоне энергий фотонов от 30 до 1250 кэВ и в органах государственной и ведомственной метрологической службы применяется в качестве образцового прибора.

*Дозиметр гамма-излучения ДКГ-05Д* – индивидуальный прямопоказывающий электронный дозиметр гамма-излучения, предназначен для контроля дозовой нагрузки на персонал радиационно-опасных объектов, рассчитанный на жесткие условия эксплуатации.



С помощью ДКГ-05Д осуществляется измерение индивидуального эквивалента дозы (ИЭД) и мощности индивидуального эквивалента дозы (МИЭД).

### *Дозиметр-радиометр ДКС-96*

Широко применяемый дозиметр-радиометр, отличающийся надежностью и большим выбором блоков, позволяющих решать все основные задачи дозиметрии и радиометрии во всех областях деятельности человека. Обеспечивает оперативное измерение всех основных величин, характеризующих радиационную обстановку, и проведение работ по поиску источников всех основных видов ионизирующих излучений.



Универсальный прибор для контроля рабочих мест на любых объектах. Прибор дополнен новыми блоками и стационарным измерительным пультом. С его помощью производят измерение дозы и



мощности эквивалента дозы непрерывного и импульсного рентгеновского и гамма-излучений, а также измерение плотности потока альфа, бета-излучений и нейтронного излучения; поиск и локализация радиоактивных источников и загрязнений.

### *Дозиметр-радиометр МКС-15Д «Снегирь»*



Дозиметр-радиометр гамма-бета излучений для работы в "грязных" условиях. Позволяет переключать режимы и проводить измерения в условиях радиоактивного загрязнения. Измерение плотности потока бета излучения проводится с автоматическим вычитанием фона гамма-излучения.

### *Дозиметр-радиометр МКС-05 «Терра»*

Недорогой профессиональный прибор для решения задач контроля радиационной обстановки, определения радиоактивного загрязнения объектов и дозовой нагрузки на пользователя.



Полностью соответствует требованиям Инструкции ЦБ РФ от 04.12.2007 №131-И «О порядке выявления, временного хранения, гашения и уничтожения денежных знаков с радиоактивным загрязнением». Прибором производят измерение дозы и мощности эквивалента дозы гамма-излучения, измерение плотности потока бета-частиц и обнаружение радиоактивно загрязненных денежных знаков в банках и кредитных организациях.

### *Дозиметр-радиометр МКС-07Н*

Многофункциональное средство измерения с цифровой индикацией показаний, включает в себя пульт со встроенными газоразрядными счетчиками и внешние блоки детектирования. Средство предназначено для измерения эквивалента дозы и мощности дозы (МАЭД) гамма-излучения, измерения плотности потока альфа-излучения и бета-излучения с загрязненных поверхностей.



**Радиометры** предназначены для измерения плотности потока ионизирующих излучений и активности радионуклидов. Датчиками радиометров служат газоразрядные и сцинтилляционные счетчики. Эти приборы являются наиболее распространенными и имеют широкое применение.

Приборы СРП-88Н и СРП-88Н1 непосредственно применяются для контроля окружающей среды, в том числе на АЭС и прилегающих к ним территориях, при наличии соответствующих работ. Приборы представляют



собой измерители средней частоты импульсов, поступающих от сцинтилляционных блоков детектирования.

Радиометр СРП-88Н

**Спектрометр** – прибор для измерения ионизирующих излучений, предназначенный для получения информации о распределении ионизирующего излучения по одному и более параметрам, характеризующим источники и поля ионизирующих излучений. Они в свою очередь делятся на альфа-, бета- и гамма-спектрометры. Необходимо отметить, что практически все спектрометры работают только в сочетании с ЭВМ, которая является их неотъемлемой частью. Поэтому обычно говорят о спектрометрических программно-аппаратных комплексах.

Гамма-спектрометрия (ГС) – один из наиболее широко применяемых методов определения радионуклидов в объектах окружающей среды. Метод очень удобен, обычно не требует обработки проб, концентрации и разделения радионуклидов. Подготовка проб чаще всего сводится лишь к высушиванию и взвешиванию измеряемого препарата.

Гамма-спектрометрия применяется для выявления и количественного определения природных и искусственных радионуклидов в окружающей среде. Данный метод используется для определения ЕРН уранового и ториевого рядов, продуктов распада радона. Этим методом определяют также радионуклиды  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и др.

***Комплекс спектрометрический для измерения активности альфа-, бета- и гамма-излучающих нуклидов «Прогресс»***



Спектрометрический комплекс «Прогресс» уже используется в нескольких тысячах лабораторий радиационного контроля в России и за рубежом. Комплекс состоит из совокупности измерительных трактов, объединенных единой программной оболочкой. Блоки детектирования, входящие в состав изме-

рительных трактов, подключаются к компьютеру через порт USB. Количество подключенных к одному компьютеру блоков детектирования не ограничено. Состав каждого комплекса (количество и тип измерительных трактов) определяется набором измерительных задач для измерения активности радионуклидов, суммарной активности счетных образцов и спектров ионизирующего излучения.

### ***Спектрометры МКС-АТ6102, МКС-АТ6102А, МКС-АТ6102В***



Портативный многофункциональный спектрометр, предназначенный для обнаружения и идентификации радионуклидов без использования ПК: природных, медицинских, промышленных. Спектрометр используется для измерения энергетического распределения гамма-излучения и плотности потока альфа- и бета-частиц.

Кроме того, разработан комплекс аппаратуры для мониторинга радона и торона. Радиометр радона «Радон – 01» имеет мощное встроенное воздухозаборное устройство и полупроводниковый альфа – детектор большой мощности, что обеспечивает высокую оперативность измерений или хорошую чувствительность. Радиометры РРА – 01М – 01 и РРА – 01М – 03 предназначены для экспрессного измерения объемной активности радона в воздухе, воде и подпочвенном воздухе, а также плотности потока радона из почвы (с приставкой ПОУ любой модификации).

## **Глава 4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ**

### **4.1. Миграция радионуклидов**

В окружающей среде встречаются радиоактивные изотопы естественного и искусственного происхождения. Природные радионуклиды, как правило, не представляют серьезной опасности для человека в отличие от искусственных. Однако авария на ЧАЭС коренным образом изменила радиационную обстановку. Последствия ее наблюдались на всей территории Российской Федерации.

Авария на НПО «Маяк» повлияла на загрязненности объектов ветнадзора только трех областей – Екатеринбургской, Челябинской и Курганской – в той части их территорий, которые примыкали к радиоактивному следу. Загрязнению долгоживущими продуктами деления подверглось около 14

тыс. км<sup>2</sup> пастбищ и пахотных земель. Выпавшие продукты деления распределились неравномерно: от 0,1 до 100 Ки/ км<sup>2</sup> и более (1,1 %). Созданная для ограничения сельскохозяйственного производства на этих территориях санитарно–охранная зона (СОЗ) общей площадью 700 км<sup>2</sup> была ограничена изолинией в 4 Ки/км<sup>2</sup>.

На этой территории запрещалось использовать земельные и лесные угодья, водоемы, сеять и косить траву, пасти скот, охотиться, ловить рыбу, собирать грибы и ягоды. Введенные ограничения позволили вести сельскохозяйственное производство за пределами СОЗ и получать продукцию, потребление которой приводило к поступлению <sup>90</sup>8г местному населению в количестве менее 0,1 мКи в год, что было ниже допустимых на то время значений (0,32 мКи/год).

Наблюдение, постоянно ведущееся ветеринарной радиологической службой, за уровнями загрязнения <sup>90</sup> Sr кормов и продукции животноводства в хозяйствах, примыкающих к СОЗ, показывает, что влияние аварии 1957 г. продолжает сказываться и в настоящее время. Загрязненность указанных объектов этих хозяйств в 1998– 1999 гг. достоверно в 3... 10 раз выше такового объектов этой зоны, обусловленного глобальными радиоактивными выпадениями, оставаясь, тем не менее, ниже санитарно-гигиенических нормативов. Но на отдельных пастбищах и сенокосах вблизи СОЗ по рекам Теча и Исеть в Курганской области радиоактивность кормов была выше, а загрязненность молока <sup>90</sup>8г приближалась к современным нормативам.

Среднее содержание радионуклида в кормах и продукции животноводства как в целом по стране, так и в большинстве регионов достигло доаварийных уровней уже к 1989 г. Исключением являются наиболее загрязненные районы четырех областей, в которых загрязнение объектов ветнадзора не достигло доаварийных уровней и к 1998–1999 гг. Однако концентрации <sup>90</sup> Sr в кормах, молоке и мясе были ниже уровней, регламентируемых СанПиН 2.3.2.1078-01.

Повышенная, но не превышающая действующие санитарно-гигиенические нормативы, загрязненность объектов ветнадзора <sup>90</sup>Sr отмечена по периметру СОЗ Восточно-Уральского радиоактивного следа на территории Екатеринбургской, Челябинской и Курганской областей.

Загрязнение объектов ветнадзора <sup>90</sup>Sr в наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС районах Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей не достигло доаварийных уровней и к настоящему времени.

Начиная с 1987 г., когда почва стала основным источником поступления поступления  $^{134,137}\text{Cs}$  в корма, отмечен резкий спад загрязнения радионуклидами цезия сена, травы, других растительных кормов и продукции животноводства. К 1990 г. средние по России уровни загрязнения снизились в сене в 30–40 раз, в траве в 80–100 раз, зернофураже в 14 раз. В соответствии с этим в 15–20 раз уменьшилась загрязненность молока и мяса. Загрязненность кормов и продукции животноводства к 1990 г. в Западной, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке достигла доаварийных уровней. На европейской части территории России, включая Уральский регион, загрязненность всех объектов ветнадзора продолжала оставаться выше уровней 1984–1985 гг.

### *Прогноз радиационной обстановки в Российской Федерации*

Из долгосрочного прогнозирования радиоактивного загрязнения территорий до 2049 г. следует, что уровни загрязнения более 40 Ки/км<sup>2</sup> исчезнут. Сокращение площадей, в разной степени подвергшихся загрязнению, не происходит линейно, что объясняется особенностями пространственного распределения и плотности выпадений  $^{137}\text{Cs}$  на территориях субъектов Российской Федерации, пострадавших от аварии на ЧАЭС.

Результаты радиологического мониторинга объектов окружающей среды на территории России, полученные Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, позволяют утверждать, что на территории России среднегодовые концентрации в воздухе долгоживущих ( $\beta$ -активных радионуклидов в этот период практически оставались на одном уровне. Среднегодовые суточные выпадения этих радионуклидов также слабо менялись от года к году. С 1992 г. они уменьшились примерно в 1,3 раза.

Таким образом, долгосрочный прогноз развития радиационной ситуации свидетельствует о ее постепенном улучшении. При этом состояние и прогноз развития предприятий ядерного цикла и добывающей промышленности, а также ежегодное выявление участков локального радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды свидетельствуют о необходимости совершенствовать систему радиологического мониторинга, государственного контроля и надзора за радиационной безопасностью объектов окружающей среды.

Среди искусственных радионуклидов некоторые подвержены быстрому распаду (короткоживущие), другие могут существовать в природе не-

сколько десятков и сотен лет (долгоживущие). Последние представляют наибольшую опасность, т.к. способны мигрировать из почвы в сырье и продукты питания.

Радионуклиды в экосистемах могут находиться в составе различных химических соединений, включаться в разнообразные компоненты почвы и биоты. Оценка их состояния предполагает количественную характеристику содержания различных химических, физических и физико-химических форм отдельных радионуклидов. Непосредственно после загрязнения соотношение этих форм зависит от состава исходных соединений. В дальнейшем исходные формы, которые произошли из атмосферных радиоактивных выпадений, как правило, трансформируются в результате их взаимодействий с различными соединениями, входящими в состав почв, растений и других компонентов экосистемы.

Одним их основных компонентов природной среды, где происходит локализация радионуклидов, сбрасываемых в окружающую среду человеком в результате его техногенной деятельности, является почва.

Почва обладает большой емкостью поглощения радионуклидов, и интенсивная их сорбция (вбирание, связывание) обеспечивает мощное депо радионуклидов в земной поверхности. Различают 2 фазы состояния почвы: твердую и жидкую.

При этом почва играет двойную роль с точки зрения формирования радиоактивности. С одной стороны, она является основным источником естественных радионуклидов, которые из литосферы через почву попадают в атмосферу и гидросферу. С другой стороны, искусственные радионуклиды, либо оседая на поверхность земли из атмосферы, либо попадая из водоемов, накапливаются в почве. В этих процессах миграции радионуклидов в почве важную роль играют биохимические процессы: живые организмы поднимают радионуклиды в верхние горизонты, а диффузия и фильтрационный ток воды передвигают их вниз. Твердая фаза почвы прочно сорбирует большинство искусственных радионуклидов, снижая их доступность для растений, но это же приводит к длительному удержанию их в верхнем корнеобитаемом слое и препятствует выносу за пределы зоны распространения корней, что наиболее характерно для радионуклидов, попавших на поверхность почвы из атмосферы.

Для первичных природных радионуклидов распределение в почве можно считать однородным по глубине. Такое же распределение можно принять для вспаханной земли до глубины почвы в 30 см.

Для искусственных радионуклидов с короткими периодами распада, выпавших на поверхность земли из атмосферы, можно считать, что они не успевают распространяться на существенную глубину, и, таким образом, принимается загрязнение поверхностного слоя почвы до глубины не более 3 см. Между этими двумя крайними ситуациями могут быть случаи с различными неравномерными профилями концентрации (Сахаров В.К., 2006).

По поглотительной способности почвы располагаются в следующем порядке: чернозем > каштановая > дерново-подзолистая суглинистая > дерново-подзолистая супесчаная. Независимо от типа почв большая часть первоначально выпавших радионуклидов задерживается в верхней части профиля (0–10 см), причем их содержание уменьшается по мере углубления. А в почвах с хорошо выраженной подстилкой и дерниной наблюдают более резкое увеличение содержания радионуклидов в верхней части почвенного профиля. При этом их основное количество сосредоточено в тонкой прослойке гумуса. В этой прослойке мощностью 1 см по сравнению с соответствующим объемом лесной подстилки содержится в 2 раза больше  $^{90}\text{Sr}$  и в 8 раз –  $^{137}\text{Cs}$ . Концентрирование радионуклидов, выносимых из более рыхлой лесной подстилки (опад хвои и листьев, мох, трава), в гумусовом горизонте обусловлено, главным образом, его кумулятивными свойствами (высоким содержанием гумуса, большой емкостью поглощения катионов и образованием малоподвижных органоминеральных соединений). Способность почв сорбировать на поверхности радиоактивные вещества зависит в основном от ее механического и минералогического состава, от содержания гумуса и его качественного состава.

Изучение форм соединений радионуклидов в почвах позволяет понять механизмы поступления их в растения и наметить пути ограничения миграции в трофических цепях. В растительных продуктах, например, основное количество поступившего радиостронция (50–80%) входит во фракции гемицеллюлоз и крахмала, 6–40% находится в легкорастворимой форме и менее 10% связано с клетчаткой и другими фракциями (Сироткин А.Н., Ильязов Р.Г., 2000).

Переход радионуклидов из почвы в растения очень сложный и зависит от целого ряда взаимосвязанных факторов: физико–химических свойств радионуклидов, физико–химических свойств почвы и физиологических особенностей растений.

В то же время растительность является первичным звеном в накоплении и дальнейшей миграции радионуклидов по пищевым цепям. Накопление

радионуклидов растениями может происходить двумя путями: непосредственное (аэральное) поступление выпадающих из атмосферы радионуклидов на надземные части растений (внекорневое накопление) и усвоение радионуклидов из почвы путем сорбции на корневой системе (корневое поступление). Соотношение между этими путями накопления радионуклидов зависит от многих факторов (биологические характеристики растений, концентрации радионуклидов в атмосфере и почве, физико-химические особенности радионуклидов и т. д.). Установлено, что значимость внекорневого пути поступления радионуклидов не зависит от периода полураспада радионуклида, а корневое поступление может быть существенным лишь для относительно долгоживущих радионуклидов, не успевающих распасться до усвоения их корнями растений.

Внекорневое накопление радионуклидов может происходить двумя путями: при выпадении радионуклидов из атмосферы непосредственно на растительность и отложение на растительности радионуклидов, попавших первоначально на почву, а затем за счет вторичного пылеобразования осевших на растительности.

За прошедшие после чернобыльской аварии годы содержание радионуклидов цезия в кормах и продуктах животноводства к 1999 г. снизилось в десятки раз: в среднем по России концентрации  $^{137}\text{Cs}$  уменьшились в сене в 50...70 раз, в траве – 90...170, в зернофураже – 15...20, молоке – 40...50, мясе – 25...30 раз. Однако в целом на территории страны (без учета Брянской, Калужской, Орловской и Тульской загрязненных областей) концентрация  $^{137}\text{Cs}$  достигла значений 1984 – 1985 гг. только в корнеклубнеплодах, молоке и мясе.

При сравнении уровня накопления  $^{90}\text{Sr}$  в злаковых и бобовых культурах, выращенных при равных условиях, установлено, что накапливают  $^{90}\text{Sr}$  в значительно меньших количествах, чем луговая растительность других видов. Однако и среди злаковых трав наблюдаются существенные различия. Такие плотнокустовые злаки, как овсяница и мятлик полевой, накапливали  $^{90}\text{Sr}$  в 1,5–3 раза больше, чем корневищные злаки – пырей ползучий и костер безостый.

По накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в урожае растения можно расположить следующим образом. На дерново-подзолистых супесчаных почвах: естественные травы > кукуруза + подсолнечник > картофель > зерновые; на дерново-подзолистых легкосуглинистых: естественные травы > люпин (зеленая масса) > сеяные многолетние травы > викоовсяная смесь > картофель >



зерновые; на серых лесных легкосуглинистых почвах: кукуруза > люпин (зеленая масса) > естественные травы > викоовсяная смесь > многолетние сеяные травы > клевер > кукуруза + подсолнечник > капуста > картофель > зерновые > столовая свекла.

Относительное накопление  $^{90}\text{Sr}$  в урожае сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах аналогично таковому  $^{137}\text{Cs}$ , на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах культуры располагаются в ряд: люпин > викоовсяная смесь > естественные травы > сеяные многолетние травы > картофель > зерновые культуры.

Существуют различия в накоплении радионуклидов в репродуктивных (зерно) и вегетативных (солома) частях растений. Так, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в зерне злаковых культур в 1,5–2,5 ниже, чем в соломе,  $^{90}\text{Sr}$  – в 5–10 раз меньше. Отмечены также сортовые различия в накоплении радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Необходимо отметить, что наибольший уровень содержания радиоактивных веществ характерен для грибов. Особенно сильно накапливают радиацию свинушки, масленок осенний, польский гриб. Эти грибы составляют группу, так называемых, «аккумуляторов» радиации. Несколько меньше накапливают радионуклиды груздь черный, сыроежки, волнушка розовая. Существенные количества радионуклидов накапливают лесные ягоды, в особенности клюква.

Основными путями поступления радионуклидов в организм человека и животных являются поступление через органы дыхания и через пищеварительный тракт с водой и пищей. Поведение радионуклида, попавшего в организм, определяется характером его участия в минеральном обмене, определяющем избирательное накопление разных нуклидов в различных тканях и органах. Ведущая роль в поступлении радионуклидов в организм человека и животного принадлежит пищевой цепочке.

Накопление радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных и переход их в продукцию животноводства – молоко и мясо, зависит от рациона питания животных, физико-химических свойств радионуклида, видовых и возрастных особенностей животных.

Попадание радионуклидов с пищей особенно опасно для человека, так как при этом происходит внутреннее облучение органов, тканей организма. Внутреннее облучение является более опасным, чем внешнее, поскольку затрагивает непосредственно жизненно важные органы. Наиболее радиочувствительными клетками являются клетки постоянно обновляющих-

ся тканей и органов, такие как костный мозг, половые железы, селезенка и др.

Следствием этого облучения могут являться угнетение механизмов иммунитета и повышение чувствительности к возбудителям инфекционных заболеваний.

Биологическое действие радиоактивного изотопа связано с характером рас-пределения его в организме человека и млекопитающих.

*Распределение радионуклидов в организме.* Поведение всосавшихся в кровь радионуклидов определяется:

- биогенной значимостью для организма стабильных изотопов данных элементов, тропностью их к определенным тканям и органам; например, кальций выполняет специфическую роль, всегда входит в состав тканей, проявляет большую тропность к костной системе; йод имеет большую тропность к щитовидной железе;
- физико–химическими свойствами радионуклидов – положением элементов в периодической системе Д. И. Менделеева, валентной формой радиоизотопа и растворимостью химического соединения, способностью образовывать коллоидные соединения в крови и тканях и другими факторами.

Таким образом, загрязнение сырьевой базы для производства продуктов питания, попадание техногенных радионуклидов в пищу особенно опасно для человека, так как при этом происходят разрегуляционные процессы на уровне систем организма человека, способствующих развитию хронических заболеваний за счёт ослабления иммунной системы.

## **4.2. Токсикология радиоактивных веществ**

Токсикология радиоактивных элементов (радиотоксикология) составляет специальную отрасль знаний.

Радиоактивные изотопы любого химического элемента периодической системы Д. И. Менделеева при попадании в организм участвуют в обмене веществ точно так же, как стабильные изотопы данного элемента. Биологическое действие радиоактивных изотопов определяется параметрами их радиоактивных излучений. Действие радионуклидов, попадающих внутрь организма, в принципе не отличается от действия внешних источников ионизирующего излучения. Их особенностью является лишь то, что они, включаясь в обмен веществ, могут оставаться в тканях длительное время.

Активность радионуклидов нельзя погасить ни химическими, ни физическими средствами.

Ниже приведены физико-химические и радиобиологические характеристики, биологическое действие и токсичность некоторых радионуклидов.

**Цезий** [Cs]. Из 24 известных изотопов цезия только один ( $^{133}\text{Cs}$ ) стабильный, остальные 23 с массовыми числами 123–132 и 134–144 – радиоактивные.  $^{133}\text{Cs}$  – это типичный микроэлемент и в природе существует в форме различного рода соединений с другими элементами. Он содержится в микроколичествах в растениях и организмах животных. В организме человека его количество составляет около 0,0015 г, суточное поступление с пищей – около 10 мкг. Биологическая роль цезия остается нераскрытой. Цезий широко применяется в промышленности, в частности в электронике (Калистратова В.С. с соавт., 2012; Кудряшов, Ю.Б., 2004; Журавлев В.Ф., 1990).

Из радиоактивных изотопов цезия наибольшую биологическую опасность представляет  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30$  лет), образующийся в реакциях деления урана и плутония. Наряду со  $^{90}\text{Sr}$  он стал одним из основных компонентов радиоактивного загрязнения внешней среды в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере и выбросов предприятий атомной энергетики. Для нужд промышленности и медицины радионуклид получают из продуктов ядерного деления (ПЯД) урана и плутония (Москалёв Ю. И.). В качестве источника  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучения нуклид широко применяется в медицине для контактной и дистанционной лучевой терапии. При ( $\beta$ -распаде излучаются частицы с энергией 173,4 кэВ. Его дочерний нуклид  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  со сроком жизни 2,55 мин испускает  $\gamma$ -кванты с энергией 661,6 кэВ. Нуклид широко применяется для стерилизации и во многих других технологиях. При поступлении во внешнюю среду  $^{137}\text{Cs}$  как один из наиболее биологически опасных нуклидов может представлять опасность, как источник внешнего и внутреннего облучения населения.

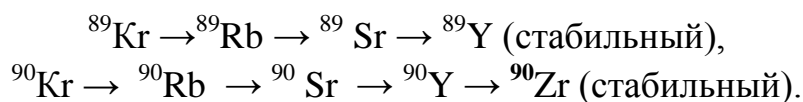
При любом поступлении в организм (ингаляционном, пероральном с пищей и водой) цезий интенсивно всасывается (до 100 %), депонируется в мышечной ткани (до 80 %). Близкими по опасности являются радиоактивные изотопы  $^{137}\text{Cs}$  (цезий-137),  $^{144}\text{Ce}$  (церий-144) и  $^{36}\text{Cl}$  (хлор-36).

Клинически лучевые поражения при внутреннем облучении практически не отличаются от лучевой болезни при внешнем  $\gamma$ -облучении.

**Стронций** [Sr]. Является долгоживущим радионуклидом, его период полураспада составляет 28 лет.

Известны 4 стабильных изотопа стронция:  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Sr}$ , кларковое его содержание в земной коре по массе составляет  $3,4 \cdot 10^{-2}$ . Природный стронций содержится в растениях и организмах человека и животных. В организме человека находится около 0,3 г, фиксируется в скелете, максимально поглощается костной тканью и костным мозгом. Взрослому человеку с пищей и водой поступает ежедневно около 2 мг стронция. Его избыток вызывает стронциевый рахит (ломкость костей) и другие заболевания.

Стронций достаточно широко используют в различных технологиях и медицине. Радиоактивные изотопы стронция содержатся в ПЯД урана и плутония. Из радиоизотопов с массовыми числами 81–83, 85, 89–96 наибольшее практическое значение имеют  $\beta$ -излучающие изотопы  $^{89}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} = 50,5$  сут,  $E_{\beta} = 0,58$  МэВ) и  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} = 29,1$  года,  $E_{\beta} = 0,2$  МэВ). Дочерний радионуклид –  $^{90}\text{Y}$  ( $T_{1/2} = 64$  ч,  $E_{\beta} = 0,935$  МэВ). При делении урана и плутония образуются цепочки:



$^{90}\text{Sr}$  относится к наиболее биологически значимым радионуклидам ПЯД и как долгоживущий радионуклид является основным компонентом глобального загрязнения внешней среды, обусловленного испытаниями ядерного оружия и выбросами (авариями) предприятий атомной энергетики. В организм человека радиостронций поступает ингаляционно, перорально и через кожные покровы. Доля стронция, всасывающегося при его ингаляционном и пероральном поступлении, составляет 0,1–0,6.  $^{90}\text{Sr}$  имеет химическое сродство с кальцием, т.е. обладает способностью откладываться в костных тканях животных и человека, за счёт относительно высокой подвижности в почве, при миграции по схеме: почва → растения → животные → пищевое сырьё → продукты питания → организм человека.

Независимо от пути поступления нуклид в основном депонируется в скелете. Величина отложения зависит от возраста, пола, характера питания и других факторов. В мягких тканях содержится менее 1 % стронция. Из организма он выводится через кишечник и почки – в первые месяцы примерно 70 % активности, остальная часть выводится очень медленно (Журавлев В.Ф., 1990).

Для клинической картины поражения характерны лейкопения, лимфопения, тромбоцитопения. В патологический процесс вовлекаются и другие органы. Наиболее опасно развитие в отдаленные сроки лейкозов и остеосарком (опухоли скелета). Минимальная остеосаркомогенная доза составляет около 10 Гр. Встречаются опухоли и в других органах.  $^{85}\text{Sr}$  и  $^{87\text{m}}\text{Sr}$  (короткоживущие) находят применение в медицине для диагностики опухолей и в качестве аппликаторов в дерматологии, офтальмологии и др.

**Йод** [I]. Природный йод представлен одним изотопом –  $^{127}\text{I}$ , являющимся микроэлементом и одним из важнейших биогенных элементов. Йод входит составной частью в тироксин – гормон, синтезируемый щитовидной железой и обеспечивающий гомеостаз организма. Кларковое содержание  $^{127}\text{I}$  в земной коре равно  $4 \cdot 10^{-5} \%$  по массе. Многие районы (в России около 50 % всей территории) характеризуются дефицитом йода в продуктах питания и воде – основных источниках поступления элемента человеку. Недостаток йода служит причиной распространения в этих районах эндемического зоба у местного населения. Основным резервуаром йода является мировой океан, в 1 л воды которого содержится  $54 \cdot 10^{-5}$  г йода. Остальные изотопы йода с массовыми числами 115–126, 128–141 – радиоактивны.

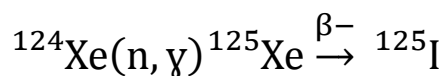
Практическое значение имеют  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131-135}\text{I}$ . В продуктах деления урана и плутония на долю  $^{131-135}\text{I}$  приходится около 20 % ( $\beta$ -активности молодых ПЯД. Несмотря на короткие сроки жизни  $^{131}\text{I}$  имеет  $T_{1/2} = 8,04$  сут., в то время как

$^{132-135}\text{I}$  –  $T_{1/2}$  составляют часы), они представляли основную опасность для населения в зонах ближних выпадений радионуклидов, а также при радиационных авариях на АЭС. Поступив во внешнюю среду, радиоактивный йод включается в процессы миграции, поступая населению в основном по пищевым цепочкам: растения → человек, растения → животные → человек, вода → гидробионты → человек. Особое значение как источник радиойода имеют молоко и листовая зелень.

$^{131}\text{I}$  интенсивно всасывается (до 100 %) и в основном накапливается в щитовидной железе (30 % и более). Даже при поступлении небольших количеств йода, учитывая малую массу щитовидной железы в ней формируются большие дозы, приводящие к нарушению широкого спектра функций и возможному развитию злокачественных опухолей не только в щитовидной железе, но и в других эндокринных железах и органах, имеющих тес-

ную функциональную связь с щитовидной железой (молочные железы, гонады).

Радиоактивный йод, особенно  $^{131}\text{I}$  и  $^{125}\text{I}$ , широко используется в медицине в целях диагностики и лечения.  $^{125}\text{I}$  получают по реакциям:



$^{131}\text{I}$  извлекают из ПЯД, а также получают при облучении теллура нейтронами:  $^{131}\text{Te}(n, \beta) ^{131}\text{I}$ .

**Кобальт** [Co]. Природный кобальт состоит из одного стабильного изотопа и относится к широко распространенным в природе элементам. Его содержание (по массе) в земной коре составляет 0,002 %. Кобальт является необходимым биологическим микроэлементом и содержится во всех растительных и животных организмах. Он входит в состав витамина В<sub>12</sub>, влияет на кроветворение и процессы обмена. Суточная потребность человека равна 7–15 мкг и удовлетворяется за счет поступления с пищей. Кобальт широко применяется в химической, металлургической промышленности и в медицине. Известно 11 радиоактивных изотопов с массовыми числами 53–58 и 60–64. Практическое значение имеют изотопы кобальта –  $^{57}\text{Co}$  ( $T_{1/2}=270,9$  сут),  $^{58}\text{Co}$  ( $T_{1/2}=70,8$  сут),  $^{60}\text{Co}$  ( $T_{1/2}=5,27$  года). Наибольшее значение имеет долгоживущий  $^{60}\text{Co}$ . Как источник достаточно жесткого  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучения он широко применяется в технике, медицине и сельском хозяйстве. Благодаря большому периоду полураспада и возможности получать источники с высокой удельной активностью его используют в лучевой терапии для внешнего облучения, а с помощью аппликаторов – внутреннего. Широко применяют  $^{60}\text{Co}$  в радиобиологических исследованиях для облучения животных, растений, для предпосевной обработки семян, предупреждения прорастания картофеля и порчи других овощей, консервирования пищевых продуктов путем радиационной стерилизации.

При поступлении во внешнюю среду радиоактивный кобальт может стать источником внешнего и внутреннего облучения. В организм человека нуклид может поступать ингаляционно, перорально с загрязненной пищей и водой, а также через кожные покровы, особенно поврежденные. Всасывание в кишечнике принимается равным 0,3 % для органических соединений, а в форме оксидов и гидроксидов – 0,05 %. Всосавшийся радионуклид преимущественно депонируется в печени и мышцах – соответственно 30 и 20 % суммарного содержания в организме. Нуклид достаточ-

но быстро выводится из организма. Большая часть выводится с мочой. По данным МКРЗ  $T_{\text{Эффект}} = 9,5$  сут. Учитывая широкое использование  $^{60}\text{Co}$  в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях, нуклид может оказаться в руках террористов и применен как источник длительного внешнего облучения в районе террористического акта.

**Плутоний** [Pu]. Плутоний относится к трансурановым элементам. Известно 15 радиоактивных изотопов с массовыми числами от 232 до 246, имеющих  $T_{1/2}$  от 0,18 с ( $^{237\text{m}}\text{Pu}$ ) до 83 млн лет ( $^{244}\text{Pu}$ ). Практическое значение имеют радиоизотопы  $^{236} - ^{246}\text{Pu}$  образующиеся в ядерных реакторах. Наибольший интерес представляет  $^{239}\text{Pu}$  ( $T_{1/2} = 2,4 \cdot 10^4$  лет), используемый как делящийся материал в ядерных боеприпасах. Нуклид получают из урана, облучаемого нейтронами в специальных реакторах. Плутоний необходимой чистоты выделяют из облученного урана на радиохимических заводах. Плутоний как альфа-излучающий радионуклид с большим сроком жизни считается одним из наиболее опасных при поступлении в организм человека. Он испускает также мягкое  $\gamma$ - и рентгеновское излучение.

В организм человека плутоний может поступать в основном ингаляционно и через поврежденные кожные покровы (раны, ожоговые поверхности). Задержка нуклида в легких зависит от дисперсного состава ингалированных аэрозолей. В местах их задержки формируются высокие дозы, 50 % дозы – в пределах вероятной продолжительности жизни человека. Всасывание плутония в кишечнике низкая, для труднорастворимых соединений –  $3 \cdot 10^{-5}$ , для комплексных соединений – около 2. У детей всасываемость нуклида значительно выше. Всосавшийся плутоний депонируется в основном в скелете и печени. Из организма он выводится медленно. В отдаленные сроки поступления плутония в организм возможно развитие остеосарком и рака легкого. Пострадавшие нуждаются в лечении в специализированных клиниках. В мире накоплено большое количество плутония.

### **4.3. Радиоактивное загрязнение продовольственного сырья и пищевых продуктов**

Сельскохозяйственные животные, потребляя корма и воду, загрязненные радионуклидами, накапливают их в организме, частично выделяя с молоком. Среди пищевых продуктов, с которыми радионуклиды по-

ступают в организм человека, продукты животноводства (молоко, мясо и др.) занимают одно из ведущих мест.

Количество радионуклидов, выделяемых с молоком, зависит от многих факторов: индивидуальных особенностей животных, уровня минерального питания, типа кормления, продуктивности.

Переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из суточного рациона в 1 л молока коров практически не зависит от сезона года и составляет 0,83 и 0,16 %. Коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в говядину (взрослые животные) равен 2,4 % от суточного поступления с кормом на 1 кг мяса.

Однако в молоко переходят лишь некоторые нуклиды. В значительных количествах с молоком выводятся  $^{131}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ;  $^{134}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

В России на текущий период (2019 г.) установлены следующие ДУ содержания радионуклидов цезия и стронция, Бк/кг: в молоке и цельномолочных продуктах соответственно 100 и 25; для сгущенных и концентрированных продуктов – 300 и 100; для сыров и сырных продуктов 100 и 50; для сухих и сублимированных молочных продуктов – 500 и 200; для масла (пасты масляной) и молочного жира – 200 и 60 Бк/кг соответственно.

В условиях неблагоприятной экологической обстановки, обусловленной попаданием в окружающую среду радионуклидов, продукты животноводства, и в первую очередь молоко, становятся главными источниками поступления радионуклидов в организм человека.

Радиационная безопасность продуктов питания определяется допустимым уровнем *удельной* (объемной) *активности радионуклида* – это отношение активности радионуклида в радиоактивном образце к массе (объему) образца. В системе СИ единицей измерения активности радионуклида служит *беккерель* (Бк) – активность вещества, в котором за 1 с происходит 1 распад.

#### *Радиационный контроль пищевых продуктов*

Контроль за удельной активностью пищевых продуктов и гигиеническая оценка проводится в соответствии с действующими методическими указаниями по отбору проб, анализу и гигиенической оценке при радиационном контроле

$^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в пищевых продуктах (МУК 2.6.1.1194 –03 «Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка»).

Настоящие методические указания распространяются на проведение гигиенического контроля для оценки радиационной безопасности пищевых



продуктов и радиационного контроля пищевых продуктов для оценки соответствия их установленным гигиеническим нормативам на допустимые уровни содержания  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в конкретных видах продуктов.

#### *Отбор проб из партии пищевых продуктов*

Порядок отбора и количество проб, обеспечивающие представительность пробы контролируемого вида пищевых продуктов, для определения содержания  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  осуществляется в соответствии с МУК 2.6.1.1194.

Перед отбором проб из партии пищевых продуктов для испытания на содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  целесообразно выполнить дозиметрический контроль по мощности дозы гамма-излучения с помощью поискового радиометра (СРП-68, СРП-88 и др.). После обнаружения превышения фонового уровня мощности дозы партии поисковыми приборами необходимо уточнить их показания более точными дозиметрами типа ДРГ-01-Т.

Если в результате предварительного дозиметрического контроля партии установлено превышение фонового уровня мощности дозы гамма-излучения, то этот факт должен быть отмечен в акте отбора проб и перед началом исследования необходимо оценить источник излучения (Н. В. Лаккиза, Л. К. Неудачина, 2015).

#### *Подготовка проб к измерениям*

Первичная подготовка проб к измерениям заключается в обычной обработке, которой подвергаются пищевые продукты на первом этапе приготовления пищи (мытьё, удаление несъедобных частей), и измельчении их с целью лучшего усреднения пробы и увеличения массы пробы, которую можно разместить в измерительной кювете. Вязкие продукты (сгущенное молоко, мед, джемы и т. п.) при необходимости можно разбавлять до нужной консистенции дистиллированной водой определив и зафиксировав исходную массу продукта и объем приготовленной смеси.

#### *Приготовление счетных образцов*

*Счетный образец* – это определенное количество вещества, полученное из точечной или объединенной (средней) пробы согласно установленной методике и предназначенное для измерений его радиационных параметров на радиометрической установке в соответствии с регламентированной методикой выполнения измерений.

Приготовление счетного образца для измерения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  зависит от используемого метода измерения и чувствительности используемой радиометрической установки.

При необходимости увеличения чувствительности применяемых при исследовании методов измерения возможно использование аттестованных

и утвержденных в установленном порядке методов термического концентрирования или частичного либо полного радиохимического выделения определяемого радионуклида.

#### *Измерение активности стронция-90 и цезия-137 в счетных образцах*

Для определения содержания радионуклидов в пищевых продуктах и продовольственном сырье используют спектрометрический и радиохимический методы.

##### *1. Спектрометрический метод*

Измерения активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в счетных образцах в пищевых продуктах используют бета-спектрометры и сцинтилляционные и полупроводниковые гамма-спектрометры с блоками детектирования в свинцовой защите соответственно.

Бета-спектрометры или бета-радиометры характеризуются значением минимальной измеряемой активности 0,1–1,0 Бк, гамма-спектрометры – 3–10 Бк.

При необходимости увеличения чувствительности применяемых при исследовании методов измерения возможно использование аттестованных и утвержденных в установленном порядке методов термического концентрирования или частичного либо полного радиохимического выделения определяемого радионуклида.

Когда чувствительности спектрометров (радиометра) не хватает для получения достоверного результата содержания радионуклидов в нативных пробах, производят термическое концентрирование (выпаривание, высушивание, обугливание или озоление), с последующим измерением полученного концентрата или при помощи специальных радиохимических методик.

Кроме того, радиохимические методики используются для продуктов, термическое концентрирование которых затруднительно и трудоемко (молочные продукты, сгущенное молоко, жиры). В их основу положены методы химического разложения (денатурирование белка, омыление жиров и т. д.) с последующим соосаждением  $^{90}\text{Sr}$  с оксалатом кальция или другими неизотопными носителями. получаемые осадки служат счетными образцами при бета-спектрометрических измерениях.

##### *2. Радиохимический метод*

Радиохимический метод анализа применяется для идентификации и определения концентрации как отдельного изотопа, так и группы изотопов в том случае, когда необходимо получить наиболее достоверную и точную

информацию о содержании в пробах пищевых продуктов радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

*Расчет результатов измерений и погрешности исследований*

для определения соответствия пищевых продуктов критериям радиационной безопасности используют показатель соответствия  $B$  и погрешность его определения  $\Delta B$ , значения которых рассчитывают по результатам измерения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в пробе:

$$B = \left(\frac{A_{\text{уд}}}{H}\right)_{^{90}\text{Sr}} + \left(\frac{A_{\text{уд}}}{H}\right)_{^{137}\text{Cs}},$$
$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{H}\right)_{\text{Sr}}^2 + \left(\frac{\Delta A}{H}\right)_{\text{Cs}}^2}$$

где  $A_{\text{уд}}$  – измеренное значение удельной активности радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  или  $^{137}\text{Cs}$  в пищевом продукте, Бк/кг;

$H$  – допустимый уровень удельной активности для  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в том же продукте, Бк/кг;

$\Delta A$  – абсолютная погрешность измерения удельной активности при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

***Гигиеническая оценка пищевых продуктов по критериям радиационной безопасности (Лакиза Н.В., 2015)***

Пищевые продукты можно признать безусловно соответствующими критерию радиационной безопасности, если

$$B + \Delta B < 1, \quad (1)$$

пищевые продукты должны признаваться безусловно несоответствующими критерию радиационной безопасности, если

$$B - \Delta B > 1, \quad (2)$$

пищевые продукты нельзя признать соответствующими критерию радиационной безопасности при

$$B + \Delta B > 1. \quad (3)$$

Однако если при этом

$$B - \Delta B < 1. \quad (4)$$

то следует, что при проведении более точных измерений (т. е. при уменьшении значения  $\Delta B$ ) существует вероятность получить вместо соотношения (3) условие (1). По результатам более точных измерений данные пищевые продукты могут быть признаны соответствующими критерию безопасности.

Если величина  $(B + \Delta B) > 1$ , а  $(B - \Delta B) < 1$ , то прежде чем принять решение по продукту в подобной ситуации рекомендуется:

- произвести повторные исследования образца с увеличением времени измерения и массы пробы;
- изменить метод исследования продукта, в случае необходимости произвести термическое или радиохимическое концентрирование пробы или использовать радиохимический метод анализа;
- в отдельных спорных случаях произвести повторный отбор проб.

### *Технологическая переработка сырья и пищевых продуктов*

Переработка загрязненного радионуклидами молока возможна на любом действующем молокоперерабатывающем предприятии с использованием существующего оборудования, которая основана на некоторых физико-химических свойствах радионуклидов, поступающих в молоко через корм животных. Так,  $^{137,134}\text{Cs}$  сравнительно хорошо растворяются в водной фазе (плазме) молока и сравнительно легко удаляется с сывороткой и обезжиренным молоком.

Более 90%  $^{131}\text{I}$  находится в форме йодида и только 2,5–4,5 % радионуклида входит в состав жировой фазы молока.  $^{89, 90}\text{Sr}$ , являясь аналогом кальция, находятся в молоке не только в диссоциированном состоянии, но частично (по разным данным, от 35 до 80 %) связаны с казеинат–фосфатным белковым комплексом. Поэтому методы переработки загрязненного радиоактивным стронцием молока направлены на разрушение его соединений с белком путем подкисления молока лимонной, соляной или молочной кислотой. Образующиеся при этом растворимые соли стронция будут удаляться с кислой сывороткой при производстве сыра, творога, казеина. В результате соединения части стронция с белковым комплексом свертывание молока сычужным ферментом (при приготовлении сычужных сыров) обуславливает переход части стронция в готовый продукт.

Любой молочный продукт представляет собой многофазную физико-химическую систему, причем радионуклиды между ее составляющими распределены неравномерно. Применяя традиционные технологические приемы или модифицируя их, можно направленно воздействовать на характер распределения радионуклидов в указанной системе.

**Сливки.** При сепарировании с обезжиренным молоком удаляют основную массу радионуклидов и получают сливки с содержанием РВ в значительно меньшей концентрации. Установлено, что переход радионуклидов

$^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  из молока в сливки зависит от их жирности. Однако при жирности сливок 20–30% коэффициенты перехода ( $Fr$ ) нуклидов стронция и цезия составляют соответственно: 0,15–0,02; 0,16–0,02. Зная концентрацию радионуклидов в сепарируемом молоке, можно с достаточной точностью рассчитать удельную активность в сливках по формуле:

$$A_{\text{сл}} = A_{\text{м}} \frac{100 - (\text{Ж}_{\text{сл}} * K)}{100 - (\text{Ж}_{\text{м}} * K)}$$

где  $A_{\text{сл}}$  – содержание радионуклидов в единице массы сливок (Бк/л);  $A_{\text{м}}$  – содержание радионуклидов в единице массы молока (Бк/л);  $\text{Ж}_{\text{сл}}$  – содержание жира в сливках, %;  $\text{Ж}_{\text{м}}$  – содержание жира в молоке, %;  $K$  – коэффициент, имеющий определенное для каждого нуклида значение.

Коэффициенты  $K$  для радионуклидов стронция, цезия и йода имеют следующие значения: соответственно 1,29; 1,22; 0,90.

**Сливочное и топленое масло.** При выработке из сливок сливочного масла основная часть радиоактивных веществ переходит в пахту и промывную воду. Концентрация радионуклидов в пахте и молоке, из которого получены сливки, приблизительно одинакова или несколько ниже в пахте.

По способности переходить в сливочное масло продукты деления можно расположить в ряд:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ .

Коэффициент перехода радионуклидов в сливочное масло ( $Fr$ ) изменяется в пределах от 0,01 до 0,36 по  $^{90}\text{Sr}$ , от 0,02 до 0,49 по  $^{137}\text{Cs}$  и от 0,12 до 0,76 по  $^{131}\text{I}$ . Такие колебания можно объяснить различным содержанием жира в конечном продукте и различными условиями проведения экспериментов.

При перетопке сливочного масла или получении чистого молочного жира путем сепарирования с оттопками (промывной водой) полностью удаляются  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , содержание которых в топленом масле практически равно нулю, а содержание  $^{131}\text{I}$  снижается до десятых долей процента в процессе хранения продукта.

**Сыры.** Получение белковых продуктов из молока, загрязненного радионуклидами, основано на механизме коагуляции казеина и увеличении кислотности среды.

Содержание радиоактивных веществ в сырах, производство которых основано на коагуляции казеина, зависит от способа их приготовления. Так, сырье различных видов готовят из цельного молока в основном сычужным способом, содержание в них радионуклидов, особенно  $^{90}\text{Sr}$ , может быть значительным. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  в различных сырах может

быть 57–90 и 470–660 % (до 8 раз) соответственно концентрации их в молоке. Вследствие значительного концентрирования  $^{90}\text{Sr}$  и повышения его значимости в удельной активности готового продукта не рекомендуется перерабатывать молоко на сычужные сыры.

При соответствующей модификации технологии производства сыров загрязнение  $^{90}\text{Sr}$  возможно значительно понизить. При технологии производства сыра «Гауда» в нем остается около  $3/4$  изотопа, находящегося в исходном молоке.

При модификации технологического процесса (увеличении кислотности молока и длительности отстоя сгустка в кислой сыворотке, дополнительной промывке зерна) переход  $^{90}\text{Sr}$  в готовый продукт можно значительно снизить при  $Fr$  до 0,12.

После аварии на ЧАЭС эффективного снижения радиоактивности достигали путем введения таких операций, как посол в рассоле при производстве сыров «брынза» ( $Fr = 0,37$ ), замена сыворотки водой – в технологии производства сыра «Сусанинский» ( $Fr = 0,45$ ) и «мокрое плавление» в технологии сыра «Сулугуни». Коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в твердые сыры, выработанные кислотно-сычужным способом, составляет в среднем 0,5. В мягкие сыры типа «Коттедж» переходит менее 1,1 % ( $Fr = 0,01$ ).

При увеличении кислотности молока коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  в сыр «Балканский» снижается с 0,9 до 0,7, а в брынзу – с 0,6 до 0,4. В то же время переход  $^{137}\text{Cs}$  в готовый продукт практически не зависит от кислотности молока ( $Fr = 0,11–0,19$ ). Увеличение количества молочнокислой закваски до 4 % уменьшает коэффициент перехода в сыр «Балканский» и брынзу соответственно до 0,4 и 0,3 (Донская Г. А., 2018).

Таким образом, при переработке молока, содержащего радиоактивный стронций, в твердые сыры целесообразно увеличить продолжительность свертывания и кислотность среды, уменьшить количество сычужного фермента и увеличить количество молочнокислой закваски, выдерживая сгусток в сыворотке до 2,5 ч и более.

С целью уменьшения перехода радиоактивного цезия в сыры определенных видов, эффективны такие операции, как посол в рассоле, замена сыворотки водой.

При кислотном способе получения сыров в условиях модификации технологического процесса с сывороткой удаляется до 90 %  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  и до 70 %  $^{131}\text{I}$ .

В случае кислотно-сычужного способа, в зависимости от степени кислотности сыворотки, с ней удаляется от 20 до 80 %  $^{90}\text{Sr}$ , до 90 %  $^{137}\text{Cs}$  и до 50 %  $^{131}\text{I}$ .

В технологическом процессе производства сыра необходимо учитывать продолжительность времени созревания сыра, в течение которого масса продукта уменьшается на 30 %, приводит к увеличению концентрации радионуклидов в готовом продукте.

**Творог.** В соответствии с механизмом коагуляции казеина радиоизотопы стронция в меньшей степени переходят в творог при кислотном способе свертывания молока в отличие от кислотно-сычужного. При этом поведение радионуклидов цезия и йода практически не зависит от способа получения сгустка.

При производстве творога нежирного из загрязненного РВ молока предусматривается увеличение кислотности готового продукта высшего сорта до 250 °Т, первого сорта – до 270 °Т, при этом влажность продукта уменьшают.

Для скорого отделение сыворотки и удаление растворимых солей стронция, рекомендуется промывать творожный сгусток водой ( $5\pm 2^\circ\text{C}$ ) с последующей его допрессовкой, что позволяет удалить с сывороткой до 80 % радионуклидов.

**Казеин.** В свою очередь казеин пищевой из загрязненного РВ молока вырабатывают только кислотным способом, 3–5 раз промывая казеиновое зерно водой и удаляя из зерна до 60–62 % влаги путем центрифугирования или прессования. Это позволяет максимально удалить радиоизотопы с сывороткой и промывными водами и получить готовый продукт с минимальной концентрацией РВ.

Анализ публикаций после чернобыльской аварии способствовал дополнительным исследованиям и модификации новым разработкам технологических приемов производства пищевого казеина и казеинатов из загрязненного РВ молока, используя следующие операции:

- снижение температуры коагуляции до 35–37 °С, что позволило достичь более глубокого взаимодействия молочной кислоты с белком;
- увеличение продолжительности вымешивания до 20 мин при кислотности сыворотки 50–55 °Т;
- закрепление зерна после глубокого взаимодействия белка с молочной кислотой при подогреве до 38–39 °С;
- увеличение продолжительности обсушки зерна до 50 мин;

- исключение тепловой обработки казеинового зерна в сыворотке;
- смена кислой сыворотки и заквашивание новой партии чистыми культурами не реже одного раза в неделю. Получаемый при этом казеин по всем показателям состава и качества, в том числе и по содержанию РВ, соответствует требованиям, предъявляемым продукту, выработанному периодическим способом по действующей технологии из «чистого» молока.

При выработке казеина на поточно-механизированных линиях получение «чистого» продукта достигается:

- путем глубокого взаимодействия исходного сырья с коагулянтом при низких температурах смешивания ( $10 + 2$  °С);
- более полного обезвоживания казеина-сырца на ленточном обезвоживателе;
- более интенсивной противоточной промывки.

Казеин, выработанный в соответствии с разработанными режимами, можно использовать для производства пищевых казеинатов без дополнительной обработки.

Чтобы определить радиоактивную загрязненность сырья, применяемых компонентов и готовой продукции, необходимо пользоваться одним типом радиометра.

При производстве из загрязненного радионуклидами сырья питьевого молока, кисломолочных продуктов молоко необходимо предварительно очистить (дезактивировать). Существует несколько методов очистки, среди которых важнейшими считаются электродиализ, ионный обмен и сорбционные процессы.

Технологическое оборудование, инвентарь и другие инструменты после контакта с загрязненными РВ продуктами тщательно дезактивируют моющими и дезинфицирующими средствами, растворами кислот и щелочей, применяемыми в молочной и пищевой отраслях промышленности.

При выработке пищевых продуктов используют питьевую воду, не загрязненную радиоактивными веществами.

### ***Загрязнение токсичными элементами***

Металлы и металлоорганические соединения (самая токсичная форма существования металлов) относятся к приоритетным загрязнениям природной среды, в том числе биосред и пищевых продуктов, куда они попадают из воды, почвы и растительности, а также в виде аэрозолей металлов, находящихся в воздухе. Токсичные элементы в опасных для человека концентрациях могут попасть в пищевые продукты не только из сырья, но и в



процессе технологической обработки – при нарушении соответствующих технологических инструкций (Н. В. Лакиза, Л. К. Неудачина, 2015).

Комиссия ФАО и ВОЗ включила ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, медь, олово, цинк и железо в число компонентов, содержание которых контролируется при международной торговле продуктами питания в пищевой кодексе (Codex Alimentarius). Наибольшую опасность из них представляют первые три. Ионы этих металлов являются хорошими комплексообразователями, поэтому способны образовывать прочные связи с биологически активными центрами. При этом они вытесняют естественные ионы и ингибируют металлоферменты. В результате в организме возникают многочисленные нарушения – изменяется проницаемость клеточных мембран, замедляется синтез белков, нарушаются процессы энергообмена. Другие токсичные металлы играют двойную роль в живых организмах. В малых количествах они входят в состав биологически активных веществ, регулирующих нормальный ход процессов жизнедеятельности, но в высоких дозах они оказывают токсическое действие.

**Ртуть** – весьма токсичный яд кумулятивного действия, поэтому в молодых животных его меньше, чем в старых, а в хищниках больше, чем в тех объектах, которыми они питаются. В хищных рыбах (тунец) ртуть может накапливаться до 0,7 мг/кг и более. Поэтому хищной рыбой лучше не злоупотреблять в питании. Из других животных продуктов «накопителем» ртути являются почки животных – до 0,2 мг/кг (в сыром продукте). При кулинарной обработке почки необходимо предварительно многократно вымачивать по 2–3 ч со сменой воды и дважды вываривать, тогда в оставшемся продукте содержание ртути уменьшается почти в 2 раза.

Из растительных продуктов ртуть больше всего содержится в орехах, в какао-бобах и шоколаде (до 0,1 мг/кг). В большинстве остальных продуктов содержание ртути не превышает 0,01–0,03 мг/кг.

**Свинец** – один из сильных токсикантов для живых организмов. Установлено, что неорганические соединения свинца нарушают обмен веществ и выступают ингибиторами ферментов. Свинец имеет сходство с кальцием в процессах отложения и ремобилизации его из скелетов организмов. Поступление свинца в организм человека происходит главным образом через дыхательные пути.

В большинстве растительных и животных продуктов естественное его содержание не превышает 0,5–1,0 мг/кг. Больше его обнаруживают в хищных рыбах (в тунце до 2,0 мг/кг), моллюсках и ракообразных (до 10 мг/кг).

Повышенное содержание свинца наблюдается в консервах, помещенных в сборную жестяную тару, детали которой соединяются с помощью припоя, содержащего свинец.

**Кадмий** относится к числу редких рассеянных элементов. По своим свойствам он близок к цинку. Кадмий способен замещать цинк во многих жизненно важных ферментативных реакциях, приводя к их разрыву или торможению. Соединения кадмия, независимо от их агрегатного состояния, ядовиты. По своей токсичности кадмий аналогичен ртути и мышьяку. Менее растворимые его соединения действуют в первую очередь на дыхательные пути и желудочно-кишечный тракт, а более растворимые – после всасывания в кровь – поражают центральную нервную систему (сильное отравление), вызывают дегенеративные изменения во внутренних органах (главным образом в печени и почках) и нарушают фосфорно-кальциевый обмен.

В пищевых продуктах кадмия содержится примерно в 5–10 раз меньше, чем свинца. Повышенные концентрации его наблюдаются в какао-порошке (до 0,5 мг/кг), почках животных (до 1,0 мг/кг) и рыбе (до 0,2 мг/кг). Содержание кадмия увеличивается в консервах, помещенных в сборную жестяную тару, так как кадмий, как и свинец, переходит в продукт из припоя, в котором содержится.

Гигиенические требования к допустимому уровню содержания токсичных элементов предъявляются ко всем видам продовольственного сырья и пищевых продуктов. Органами санитарного надзора установлены жесткие нормы содержания токсичных элементов в пищевом сырье и готовых продуктах питания (табл.2).

Таблица 2

Предельно допустимые уровни содержания тяжелых металлов в некоторых продуктах приведены (*СанПиН 2.3.2.1078*)

Продукт	Содержание металла, мг/кг продукта					
	Pb	As	Cd		Si	Zn
Мясо, колбасы	0,5	0,1	0,05	0,03	5,0	20
Молоко и молочные продукты	0,1	0,05	0,03	0,01	1,0	5
Рыба и рыбопродукты	1,0	1,0–5,0	0,2	0,3–0,6	10	40
Зерно и мука	0,5	0,2	0,1	0,03	10	50
Овощи, фрукты, ягоды	0,04–0,5	0,2–0,5	0,03–0,1	0,02–0,1	5,0	10,0
Питьевая вода	0,03	0,05	0,001	0,0005		

В России согласно действующим санитарным нормам СанПиН 2.3.2.1078 подлежат контролю шесть токсичных элементов: ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, олово и хром. Последние два элемента определяют в консервах в сборной жестяной таре. Железо, медь и цинк в настоящее время не подлежат контролю в пищевых продуктах.

### ***Определение содержания токсичных металлов***

#### ***Отбор и подготовка проб***

Отбор и подготовку проб продовольственного сырья и пищевых продуктов на анализ проводят в соответствии с ГОСТом или другими конкретными нормативными документами, регламентирующими отбор проб конкретных видов и типов продовольственного сырья и пищевых продуктов.

Для определения в продуктах питания токсичных элементов прибегают к минерализации исследуемой пробы, проводимой по ГОСТ 26929 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов». Настоящий стандарт распространяется на пищевое сырье и продукты и устанавливает способы сухой, мокрой минерализации и способ кислотной экстракции проб для последующего определения в них меди, свинца, кадмия, цинка, олова, железа, хрома, никеля, алюминия и мышьяка.

*Способ сухой минерализации* основан на полном разложении органических веществ путем сжигания пробы сырья или продуктов в электропечи при контролируемом температурном режиме и предназначен для всех видов сырья и продуктов, кроме животных, растительных жиров и масел (продуктов с содержанием жира 60 % и более).

Минерализация проб для определения содержания токсичных элементов, за исключением мышьяка, методом атомно-абсорбционной спектроскопии зависит от содержания влаги в продукте.

Озоление во всех случаях проводят 10–15 ч до получения белой или слегка окрашенной золы без обугленных частиц.

При минерализации проб для определения содержания мышьяка к навеске пробы добавляют 10 % от массы навески в расчете на сухое вещество оксида магния и такое же количество спиртового раствора нитрата магния. Пробу выпаривают досуха, после чего обугливают на электроплите, затем озоляют.

*Способ мокрой минерализации* основан на полном разрушении органических веществ пробы продукта при нагревании с азотной и серной концентрированными кислотами с добавлением хлорной кислоты или пероксида водорода или при нагревании только с пероксидом водорода и предназначен для всех видов сырья и продуктов, кроме сливочного масла и животных жиров. Не допускается изменять последовательность внесения кислот, хлорная кислота всегда добавляется последней. Минерализацию считают законченной, если раствор после охлаждения остается бесцветным или бледно-желтым. Избыток кислот удаляют добавлением воды и кипячением в течение 10 мин с момента выделения белых паров. Мокрую минерализацию проводят в колбе Кьельдаля, параллельно проводят минерализацию добавляемых реактивов для контроля их чистоты.

Метод атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) характеризуется высокой чувствительностью, воспроизводимостью. Определение токсичных элементов этим методом осуществляется согласно ГОСТ 30178 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов». Настоящий стандарт распространяется на пищевое сырье и продукты и устанавливает метод определения свинца, кадмия, меди, цинка и железа.

Пищевые продукты – сложные по структуре многокомпонентные системы, качество которых зависит от свойств и совокупности изменений в составе и структуре пищевого сырья при его техноло-гической обработке и последующем хранении.

Пищевые продукты должны соответствовать установленным нормативными документами требованиям к допустимому содержанию радиоактивных веществ (приложение 1), представляющих опасность для нынешнего и будущего поколений. Допустимые нормы содержания радионуклидов выработаны с учетом среднего потребления данного вида продуктов и ряда других факторов.

Снижению концентрации радионуклидов в пищевых продуктах способствует кулинарная обработка. Так, с картофеля и свеклы при чистке удаляется 60–80 % радионуклидов, во время варки – 60 %, а при отваривании с 2–3-кратной сменой воды количество радионуклидов уменьшается в 2–3 раза.

При варке в течение 30–60 мин с 2–кратной сменой воды содержание радионуклидов уменьшается в 2–10 раз, что в наибольшей степени характерно для пластинчатых видов грибов.

К продуктам, выводящим радионуклиды из организма, относятся все продукты, богатые грубой клетчаткой, в особенности пектинами. Пектины содержатся в citrusовых, крыжовнике, белой смородине, рябине, во многих фруктах и ягодах. Аскорбиновая, щавелевая и лимонная кислоты способны ускорить выведение радионуклидов из организма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественная радиоактивность литосферы Земли обусловлена присутствием в слагающих ее вещественных комплексах большого количества радиоактивных изотопов различных элементов.

Проведение радиационного мониторинга окружающей среды: почвы, воды, воздуха, растений создало предпосылку новой дисциплины – радиационной экологии и общей радиоэкологии, основы которой были заложены В.И. Вернадским. В статье «Задачи дня в области радия» он отметил: «Ни одно государство не может относиться безразлично, как и каким путем, кем и когда будут использованы и изучены находящиеся в его владении источники лучистой энергии».

Явление радиоактивности вызвало лавину новых научных открытий в области естествознания, касавшихся строения атомов и определения возраста геологических процессов. Открытие радиоактивности оказало огромное влияние на радиоэкологические исследования.

Радиоактивность проявляется свойствами атомного ядра и его способности самопроизвольно распадаться и превращаться в другие ядра. Так, радиоактивный изотоп  $^{40}\text{K}$  порождает  $^{40}\text{Ar}$ , а в составе урановых минералов отмечается ассоциация урана, радия и свинца. Эти атомы отличаются по своим химическим свойствам (электронной структуре), но они были образованы в результате распада ядер урана и поэтому называются радиогенными, т.е. рожденными радиоактивностью.

Радиоактивность и радиация являются постоянным фактором в существовании человечества, таким как свет, воздух, вода. Все вокруг нас является радиоактивным: небо, земля, воздух, вода.

Природная радиоактивность обусловила и то, что радиоактивным является сам человек, т.к. в его организме присутствуют природные радиоактивные изотопы.

Основная доля  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения в окружающей среде связана с радиоактивным распадом элементов естественных радиоактивных семейств урана, тория и актиноурана, а также калия-40, часть из них является очень токсичными. Вклад других менее распространенных или менее активных изотопов в общем балансе радиоактивности земной коры незначителен.

Исследование радиоактивности имеет большое значение для безопасности пищевого сырья. Изготавливаемые, ввозимые и находящиеся в обороте на территории РФ пищевые продукты по безопасности и пищевой ценно-

сти должны соответствовать СанПиН 2.3.2.1078-01, в которых нормируется удельная активность цезия-137 и стронция-90. Пищевые продукты должны соответствовать установленным нормативными документами требованиям к допустимому содержанию радиоактивных веществ, представляющих опасность для здоровья нынешнего и будущего поколений.

На каждую партию пищевого продукта необходимо оформлять удостоверение качества и безопасности, в том числе радиационной. При поступлении продуктов без отметки в соответствующих сопроводительных документах о содержании радиоактивных веществ, подтверждающей их соответствие СанПиН, обязательно организуется исследование каждой партии продукции поставщика на содержание нормируемых радионуклидов. Радиационная безопасность пищевых продуктов определяется допустимыми уровнями удельной активности цезия-137 и стронция-90.

Среди условий внешней среды, постоянно воздействующих на организм человека, продуктам питания принадлежит наибольший удельный вес. Важное значение имеет то, из какого сырья они выработаны. Однако пища имеет принципиальное отличие от всех других факторов окружающей среды – в процессе питания она превращается из внешнего во внутренний фактор, и более того, ее элементы трансформируются в энергию физиологических функций и структурные элементы органов и тканей организма человека.

Поэтому безопасные продукты питания являются основой в обеспечении нормального роста и развития человеческого организма, его трудоспособности. Они должны удовлетворять физиологические потребности человека в необходимых веществах и энергии, а также адаптации к воздействию различных агентов внешней среды. Питание оказывает определяющее влияние на длительность жизни человека и активную его деятельность.

Пищевые продукты должны, соответствовать установленным нормативными документами требованиям к допустимому содержанию химических, радиоактивных, биологически активных веществ и их соединений, микроорганизмов и других биологических организмов, представляющих опасность для здоровья нынешних и будущих поколений, и отвечать обычно предъявляемым к пищевым продуктам требованиям в части органолептических и физико-химических показателей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А., Дрожко Е.Г. и др. Радиационные аварии. – М.: Издат, 2001. – 752 с.
2. Анализ пищевых продуктов: [учеб. пособие] / Н.В. Лакиза, Л.К. Неудачина. Мин-во образования и науки РФ, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 188 с.
3. Базарнова Ю.Г. Методы исследования сырья и готовой продукции: учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 76 с.
4. Бурлакова, Л.В. Эколого-биологические и адаптационные особенности популяции крупного рогатого скота Северо-Запада Зауралья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / Бурлакова Людмила Васильевна. – Курган, 2006. – 33 с.
5. Бурова Т.Е. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания: учебник. – Лань, 2020. – 364 с.
6. Василенко И. Я. Токсикология продуктов ядерного деления. – М.: Медицина, 1999. – 200 с.
7. Василенко И.Я., Василенко О.И. Радиоактивный йод // Энергия: экономика, техника, экология. – 2003. – № 5. – С. 57–62.
8. Василенко И.Я. Радиоактивный стронций (стронций 89, 90) в продуктах питания // Вопросы питания. № 5. 1989. С. 4–10.
9. Василенко И.Я. Токсикологическая характеристика радиоактивных изотопов йода // Кинетика обмена, биологическое действие радиоактивных изотопов йода / под ред. Ю.И. Москалева, В.С.Калистратовой. – М.: ИБФ МЗ СССР. 1989. С. 29–41.
10. Дезактивация молока на промышленной ионообменной установке / Г.А. Донская, Б.Г. Беренштейн, Н.А.Марьина, В.А.Марьин, Ю.С. Самойлова // Тр. ИМГРЭ. – М., 1987. –С. 105–114.
11. Донченко, Л. В. Безопасность пищевой продукции. В 2 ч. Часть 1: учебник для вузов / Л. В. Донченко, В. Д. Надыкта. – М.: Юрайт, 2020. – 264 с.
12. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 336 с.
13. Игнатов П.А. Радиогеоэкология и проблемы радиационной безопасности / П.А. Игнатов, А.А. Верчеба // Волгоград: Ин-фолио, 2010. – 256 с.



14. Калистратова В.С., Беляев И.К., Жорова Е.С., Нисимов П.Г., Парфенова И.М., Тищенко Г.С., Цапков М.М. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов / под ред. В.С. Калистратовой. – Изд-во ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2012. – 464 с.
15. Кудряшов, Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) / Ю.Б. Кудряшов; под ред. В.К. Мазурика, М.Ф. Ломова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 448 с.
16. Кузин, А.М. Вторичные биогенные излучения – лучи жизни / А.М. Кузин. – Пущино, 1997. – 38 с.
17. Кузнецов, В.А. Радиационное наследие холодной войны / В.М. Кузнецов, А.Г. Назаров. – М.: Издат. Дом «Ключ-С», 2006. – 720 с.
18. Кустов, В.В. Комбинированное действие промышленных ядов / В.В. Кустов, Л.А. Тиунов, Г.А. Васильев. – М.: Медицина, 1975. – 183 с.
19. Мазурик, В.К. О некоторых молекулярных механизмах основных радиобиологических последствий действия ионизирующих излучений на организм млекопитающих / В.К. Мазурик, В.Ф. Михайлов // Радиационная биология. Радиоэкология, 1999. – Т. 39. – № 1. – С. 89–96.
20. Москалёв Ю.И. О биологическом действии цезия-137 // Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов. – М. Медгиз, 1961. – С. 181–198.
21. Пивоваров Ю.П. Радиационная экология / Ю.П. Пивоваров, В.П. Михалёв. – М.: Академия, 2004. – 240 с.
22. Плутоний-239 / под ред. А.В. Лебединского, Ю.И. Москалева. – М.: Медгиз, 1962. – 168 с.
23. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных / В.А. Бударкова, А.С.Зенкин, А.В. Васильев и др.; под ред. В.А. Бударков, А.С. Зенкина. – М.: ИКЦ «Колос-С», 2018. – 440 с.
24. Радиоэкология и экологическая радиохимия: учебник для вузов / И.Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 497 с.
25. Роева Н.Н. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания: учебное пособие для вузов. – Троицкий мост, 2011. – 256 с.
26. Сахаров В.К., Радиоэкология. – СПб.: Лань, 2006. – 320 с.
27. Сироткин А.Н., Ильязов Р.Г. Радиоэкология сельскохозяйственных животных. – Казань: Изд-во «Фэн», 2000. – 384 с.
28. Спитковский, Д.М. Моделирование особенностей инициации генетических повреждений малыми дозами ионизирующих излучений в клетках эукариот на основе концепции существования клеток эволюционного

резерва / Д.М. Спитковский, С.В. Зайцев, Т.А. Талызина // Радиобиология. –1994. – Т. 34, вып. 6. – С. 740–747.

29. Фролов Д.И. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. – Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2012. – 92 с.

30. Эйдус, Л.Х. Мембранный механизм биологического действия малых доз / Л.Х. Эйдус. – М.: ИТиЭБ РАН, 2001. – 81 с.

31. Экологическая радиохимия и радиозэкология: учебное пособие / И.Н. Бекман. – М.: Издатель Мархотин П.Ю., 2015. – 400 с.

32. Ярилин, А.А. Радиация и иммунитет / А.А. Ярилин // Радиационная биология. Радиобиология. –1997. – Т. 37, вып. 4. – С. 597–603.

33. Bond, V.P., Feinendegen L.E., Booz J. // Int. Radiat. Biol. 1988. – Vol.53. – №1. – P. 1–3.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

1.1. МЯСО, МЯСОПРОДУКТЫ, ПТИЦА, ЯЙЦА, ПРОДУКТЫ ИЗ НИХ.	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
Мясо без костей, в т. ч. полуфабрикаты свежие, охлажденные, замороженные, колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия из мяса, мясопродукты с использованием субпродуктов (паштеты, ливерные колбасы, зельцы, студни), мясорастительные консервы из субпродуктов, в т. ч. паштетные, мясо сублимационной и тепловой сушки	160	50
Мясо оленины без костей, мясо диких животных без костей	320	100
Кости (все виды)	160	200
Птица охлажденная, замороженная (все виды убойной, промысловой и дикой птицы), колбасные изделия, копчености птицы, кулинарные изделия из мяса птицы, консервы из мяса птицы, мясо птицы из сублимационной и тепловой обработки	180	80
Яйца и продукты их переработки (яйцо, меланж, яичный порошок)	80	50
<b>1.2. МОЛОКО. МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ</b>		
Молоко-сырье, сливки-сырье, молоко пастеризованное, стерилизованное, топленое, сметана, кисломолочные напитки, творог и творожные изделия.	100	25
Консервы молочные (молоко сгущенное концентр.)	300	100
Продукты молочные сухие, молоко, сливки для мороженого.	500	200
Сыры плавленые	50	100
Мороженое (контроль по сырью)		
<b>1.3. РЫБА И ПРОДУКТЫ ИЗ РЫБЫ</b>		
Рыба жирная, замороженная, фарш, филе	200	260
Рыба сушеная, вяленая		
<b>1.4. ЗЕРНО (СЕМЕНА) МУКОМОЛЬНО-КРУПЯНЫЕ И ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ.</b>		
Зерно продовольственное, в т. ч. пшеница, рожь, овес, ячмень, просо, гречиха, рис, кукуруза.	100	130
Зерно продовольственное, в т. ч. пшеница, рожь, овес, ячмень, просо, гречиха, рис, кукуруза.	70	40
Семена зернобобовых: горох, фасоль, чечевица, нут, соя	50	60
Крупа, толокно, хлопья, бараночные, сухарные изделия, палочки	50	30
Мука пшеничная в т. ч. макаронные изделия, ржаная, кукурузная, ячменная, просяная (пшенная), рисовая, гречневая, гороховая, соевая, макаронные изделия (из другой муки и незерновых ингредиентов), хлеб, булочные, сдобные изделия	60	30
Мука пшеничная в т. ч. макаронные изделия, ржаная, кукурузная, ячменная, просяная (пшенная), рисовая, гречневая, гороховая, соевая, макаронные изделия (из другой муки и незерновых ингредиентов), хлеб, булочные, сдобные изделия	40	20-

<b>1.5. САХАР И КОНДИТЕРСКИЕ ИЗДЕЛИЯ</b>		
Сахар	140	100
Сахаристые кондитерские изделия: карамель, конфеты глазированные и неглазированные, помадные, сбивные, грильяжные, марципановые, фруктово-ягодные, ирис, халва, пастила, зефир, мармелад, железные изделия, шоколад и изделия из него	160	100
Какао-бобы, какао-продукты, мед	100	80
Мучные кондитерские изделия	50	30
<b>1.6. ПЛОДООВОЩНАЯ ПРОДУКЦИЯ</b>		
Картофель, овощи, бахчевые, консервы овощные, фруктовые, соки, напитки ягодные, консервированные, полуфабрикаты овощные, мороженное фруктовое. Фрукты, ягоды, виноград, консервы ягодные.	120	40
Ягоды дикорастущие	40	30
Грибы свежие, моченые, соленые, консервированные	160	60
Сухой картофель, сухие овощи, бахчевые	500	50
Сухие фрукты, ягоды, виноград	600	200
Сухие ягоды дикорастущие	200	150
Сухие грибы	800	300
Концентраты	2500	250
Джемы, варенья, повидло, конфитюры, сиропы, плоды и ягоды протертые с сахаром, плодово-ягодные концентраты с сахаром	800	300
Специи и пряности столовые (сухие), орехи	80	70
Чай	200	10
Кофе (в зернах, молотый, растворимый)	400	200
<b>1.7. МАСЛИЧНОЕ СЫРЬЕ И ЖИРОВЫЕ ПРОДУКТЫ</b>		
семена масличных культур (подсолнечника, сои, кукурузы, хлопчатника, льна, горчицы)	70	90
Масло растительное (все виды), продукты переработки растительных масел (маргарины, кулинарные жиры, майонезы), рыбий жир в качестве лечебно-профилактического средства	60	80
Жир сырец говяжий, свиной, бараний и других убойных животных (охлажденный, замороженный, соленый, копченый), жиры животные топленые, шпик свиной	100	50
Масло коровье	200	60
<b>1.8. НАПИТКИ</b>		
Соки, напитки, концентраты овощные, фруктовые, ягодные и зерновые концентрированные, напитки на настоях и эссенциях (безалкогольные), пиво, вино и другие спиртные напитки	70	100

*Учебное издание*

**Шкаева** Наталья Анатольевна,  
**Шкаев** Артём Эхкамович

**РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ.  
БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ**

*Учебное пособие*

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 14.12.2020. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 3,95. Тираж 30 экз. Заказ 388/45.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.

