

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»

Кафедра радиологии и биофизики

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЧЕЛОВЕКА.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Методические указания
для студентов по специальности
«Производство продукции животного происхождения»

Витебск
ВГАВМ
2025

УДК 614:876 (07)
ББК 51.26
Б85

Рекомендовано к изданию методической комиссией
биотехнологического факультета УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины»
от 21 мая 2025 г. (протокол № 5)

Авторы:

кандидат ветеринарных наук, доцент *А. М. Курилович*;
доктор биологических наук, доцент *А. Д. Наумов*;
кандидат ветеринарных наук, доцент *К. П. Клименков*;
старший преподаватель *И. О. Петроченко*;
старший преподаватель *Н. П. Коваленок*

Рецензенты:

кандидат ветеринарных наук, доцент *В. П. Гурин*;
старший преподаватель *А. В. Ланцов*

Безопасность жизнедеятельности человека. Радиационная
Б85 **безопасность** : методические указания для студентов по специальности
«Производство продукции животного происхождения» / А. М. Курилович,
А. Д. Наумов, К. П. Клименков [и др.]. – Витебск : ВГАВМ, 2025. – 36 с. –
ISBN 978-985-591-251-5.

Методические указания подготовлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека» раздел «Радиационная безопасность» для студентов высших учебных заведений, обеспечивающих специальность 6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения».

Методические указания рассматривают вопросы, связанные с основами радиационной безопасности, явлением радиоактивности, понятиями дозиметрия и радиометрия, организацией радиационного контроля в Республике Беларусь, а также технологическими приемами и способами переработки продукции, загрязненной радионуклидами.

УДК 614:876 (07)
ББК 51.26

ISBN 978-985-591-251-5

© УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной
медицины», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	5
1.1. Принципы и критерии радиационной безопасности	5
1.2. Методы защиты от радиоактивного облучения	7
2. ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ	8
2.1. Радиоактивные и рентгеновское излучения	8
2.2. Типы ядерных превращений	10
2.3. Естественная и искусственная радиоактивность	12
2.4. Закон радиоактивного распада	14
3. ДОЗИМЕТРИЯ И РАДИОМЕТРИЯ	15
3.1. Дозы излучений и мощность доз	15
3.2. Обнаружение и регистрация радиоактивных излучений	17
3.3. Радиометрия. Активность и единицы их измерения	21
3.4. Методы измерения радиоактивности	22
3.5. Дозиметрические и радиометрические приборы	23
4. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	24
4.1. Цели и задачи контроля радиоактивного загрязнения	24
4.2. Система контроля радиоактивного загрязнения в РБ	25
4.3. Радиационный контроль в Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь	26
4.4. Подразделения радиационного контроля	27
4.5. Зоны радиационного контроля	28
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ	28
Литература	33

ВВЕДЕНИЕ

Радиационная безопасность является важным элементом системы национальной безопасности и подразумевает состояние защищенности настоящего и будущих поколений от вредного влияния радиации.

Законодательство Республики Беларусь устанавливает правовые основы функционирования системы радиационной безопасности, обращения с источниками ионизирующего излучения и направлено на предотвращение и минимизацию вредного воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека и окружающую среду.

Радиационная безопасность является составной частью обеспечения жизни и здоровья населения в современных условиях. Она подразумевает соблюдение норм, правил, требований к различным категориям граждан как в повседневной жизни, так и при работе на объектах, представляющих опасность. Для обеспечения безопасности граждан современному специалисту необходимо иметь теоретическую и практическую подготовку по данной дисциплине.

В соответствии с учебной программой для высших учебных заведений студентами для специальности 6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения» изучается дисциплина «Безопасность жизнедеятельности человека», в рамках которой выделен раздел «Радиационная безопасность».

Представленные методические указания позволяют будущему специалисту познакомиться с ключевыми вопросами данного раздела. В них рассматриваются вопросы, связанные с основами радиационной безопасности, явлением радиоактивности, понятиями дозиметрия и радиометрия, организацией радиационного контроля в Республике Беларусь, а также технологическими приемами и способами переработки продукции, загрязненной радионуклидами.

Методические указания предназначены для студентов высших учебных заведений по специальности «Производство продукции животного происхождения».

Материалы, представленные в методических указаниях, помогут студентам при подготовке к практическим и семинарским занятиям и будут способствовать формированию у специалистов глубоких знаний и умений в области радиационной безопасности, способствовать успешному применению их в практической работе.

1. ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

1.1. Принципы и критерии радиационной безопасности

Радиационная безопасность – состояние защищенности населения, персонала и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения (Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности» от 18.05.2019 г).

Для обеспечения радиационной безопасности руководствуются следующими основными принципами:

- *принцип нормирования* - непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения от всех источников ионизирующего излучения;
- *принцип обоснования* - запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного облучением, дополнительным к естественному радиационному фону;
- *принцип оптимизации* - поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц, при использовании любого источника ионизирующего излучения.

В РБ устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

«персонал» – физические лица, работающие с источниками излучения или находящиеся по условиям работы в зоне их воздействия;

«все население» – все остальное население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Годовые пределы доз облучения в условиях нормальной эксплуатации ионизирующих источников излучения устанавливаются, исходя из следующих значений индивидуального пожизненного риска (таблица 1).

Закрытые источники – радионуклидные источники излучения, устройство которых исключает поступление содержащихся в них радионуклидов в окружающую среду в условиях их применения и износа.

К закрытым источникам излучения относятся контрольные источники радиоактивных излучений, применяемые в дозиметрии и радиометрии, медицинские ионизационные установки, дефектоскопы на основе цезия и др. Закрытые источники создают опасность внешнего облучения.

При работе с закрытыми источниками следует:

- направлять излучение от источника в сторону земли или в сторону, где нет людей;
- удалять источники от персонала и других лиц на возможно большее расстояние;
- ограничивать время пребывания людей вблизи источников излучения;
- применять передвижные ограждения и защитные экраны;
- вывешивать знак радиационной опасности и предупредительные указатели, которые были бы отчетливо видны с расстояния не менее 3 метров.

Таблица 1 – Основные пределы доз облучения населения и персонала

Нормируемые величины	Персонал	Учащиеся 16-18 лет, в процессе обучения которых предполагается работа с ИИИ	Население
Эффективная доза	50 мЗв/год при условии, что средняя годовая доза за любые последовательные 5 лет не превысит 20 мЗв/год	6 мЗв/год	5 мЗв/год при условии, что средняя годовая доза за любые последовательные 5 лет не превысит 1 мЗв/год
Эквивалентная доза: хрусталик глаза	50 мЗв/год при условии, что средняя годовая доза за любые последовательные 5 лет не превысит 20 мЗв/год	20 мЗв/год	15 мЗв/год
кожа кисти и стопы на поверхности нижней части живота для женщин до 45 лет	500 мЗв/год 500 мЗв/год 1 мЗв/месяц	150 мЗв/год 150 мЗв/год -	50 мЗв/год 50 мЗв/год -

Открытые источники – радионуклидные источники излучения, при использовании которых возможно поступление содержащихся в них радиоактивных веществ в окружающую среду (порошки, жидкости, газы).

Работа с открытыми источниками считается наиболее опасной, поскольку наряду с внешним облучением существует опасность внутреннего облучения. На дверях помещений обязательно вывешивается знак радиационной опасности.



Рисунок 1 – Знак радиационной опасности

Знак радиационной опасности (ГОСТ 17925-72) является предупредительным и предназначен для привлечения внимания к объектам, имеющим вредное воздействие на людей ионизирующего излучения (рисунок 1).

Знак радиационной опасности – это равносторонний треугольник с каймой красного цвета, вершина которого расположена вверх. Обычно знак имеет желтый фон, по центру его расположен круг и трилистник красного цвета. Допускается черная окраска внутреннего круга, трех лепестков (трилистник) и каймы треугольника, внутренний фон треугольника белый. Под тремя лепестками допускается надпись с указанием класса работ (1, 2, 3) или надпись «Радиоактивность», «Гамма-излучение» и др.

1.2. Методы защиты от радиоактивного облучения

Все мероприятия по радиационной защите разделяются на две группы: радиационная защита от внешнего облучения и радиационная защита от внутреннего облучения.

Радиационная защита от внешнего облучения

Внешнее облучение – это облучение от наружных источников излучения (космические лучи, воздействие природных или искусственных излучателей).

Для защиты от внешнего облучения используются следующие основные методы защиты: защита временем, защита расстоянием, защита экранированием, защита количеством (разведением).

Защита временем обусловлена сокращением времени контакта персонала с источниками ионизирующего излучения. Это достигается различными приемами и мерами: повышение квалификации, автоматизация проводимых работ, сокращение продолжительности рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска и др.

Сокращая срок работы с источниками, можно в значительной степени уменьшить дозы облучения.

Защита расстоянием обеспечивается достаточным удалением работника или объекта от излучателя. При этом используется закон обратных квадратов, когда, при увеличении расстояния от гамма-источника в 2 раза, интенсивность излучения и мощность экспозиционной дозы уменьшается в 4 раза. Следовательно, чем больше расстояние, тем меньшую дозу получит облучаемый объект. Защита расстоянием обеспечивается также применением автопипеток и дистанционных манипуляторов.

Защита экранированием обеспечивается применением защитных экранов. В зависимости от вида излучения экраны изготавливают из различных материалов, а их толщина определяется мощностью излучения.

Поглощающим экраном для альфа-частиц является любой материал (спецодежда, лист бумаги и др.). Для защиты от мягкого бета-излучения применяют экраны, изготовленные из материалов с малым атомным номером (стекло, оргстекло, алюминий). При работе с жестким бета-излучением используется двойное экранирование. Для 1-го защитного слоя, обращенного непосредственно к бета-излучателю, применяют легкие материалы с небольшим атомным номером, что позволяет полностью поглотить бета-частицы и снизить образование тормозного рентгеновского излучения, а 2-й защитный слой – это экран из свинца или другого металла (для защиты от тормозного рентгеновского излучения).

Лучшими для защиты от рентгеновского и гамма-излучения являются материалы с большим порядковым номером (например, свинец). Можно использовать экраны и из более легких материалов – свинцованного стекла, железа, бетона, железобетона, баритобетона и даже воды.

Для защиты от быстрых нейтронов используют экраны, содержащие в своем составе большое количество атомов водорода – вода, полиэтилен, парафин, бетон; от тепловых нейтронов – кадмий, бор.

Защита количеством (разведением) основана на уменьшении мощности источников излучения до минимальных величин, то есть проведении работ с минимальной активностью радионуклидов на рабочем месте.

Радиационная защита от внутреннего облучения

Внутреннее облучение – это облучение от радиоактивных веществ, попадающих внутрь организма с вдыхаемым воздухом, продуктами питания, водой, а также через кожу при ее повреждении.

Опасность, создаваемая радионуклидами внутри организма, значительно больше, чем опасность от внешних источников, так как:

- организм облучается непрерывно до тех пор, пока радионуклид не будет из него выведен или пока не произойдет его распад до безвредного уровня;
- бывает невозможно ускорить выведение радионуклидов из организма;
- распадающиеся атомы радионуклидов излучают внутри ткани α - и β -частицы с малыми пробегами, рассеивая всю свою энергию в небольшом объеме, который может быть частью критического органа;
- сложно определить точно радиоактивность в организме.

Основными *методами защиты* от внутреннего облучения являются:

- соблюдение принципов защиты от внешнего облучения;
- использование средств индивидуальной защиты;
- выполнение правил личной гигиены;
- фармакохимическая защита;
- дезактивация.

2. ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

2.1. Радиоактивные и рентгеновское излучения

Явление радиоактивности было открыто 1 марта 1896 года французским ученым Анри Беккерелем. Значительные достижения в области исследования радиоактивности связаны с именами Марии Склодовской-Кюри и Пьера Кюри, которые в 1898 году открыли радиоактивные элементы полоний и радий.

Радиоактивность – свойство ядер одних химических элементов самопроизвольно превращаться в ядра атомов других химических элементов с испусканием радиоактивного излучения.

Радиоактивное излучение – это энергия, которая высвобождается атомами в форме частиц или волн электромагнитной природы в результате внутриядерных превращений.

Радиоактивное излучение по своей природе подразделяется на корпускулярное и электромагнитное (таблица 2).

Таблица 2 – Виды радиоактивных излучений

Корпускулярные	Электромагнитные
Альфа-частицы (α) – ядра атома гелия Бета-частицы (β) – электроны (β^-) или позитроны (β^+) Нейтроны (${}_0^1n$) Протоны (${}_1^1p$) Нейтрино ($\bar{\nu}$) и антинейтрино (ν) Мезоны (π^+ , π^- , π^0). Осколки ядер тяжелых элементов	Гамма-излучение (γ) – электромагнитные волны ($\leq 10^{-12}$ м)

Корпускулярное излучение представляет собой поток частиц (корпускул), которые характеризуются определенной массой, зарядом и скоростью. Корпускулярное излучение непосредственно ионизирует среду.

Электромагнитное излучение – это поток квантов или фотонов, которые не имеют ни массы покоя, ни заряда и существуют только в движении. Электромагнитные излучения производят косвенную ионизацию среды.

К основным видам радиоактивного излучения относят: α -, β - и γ -излучения.

Альфа-излучение – поток альфа-частиц, возникающих при α -распаде ядер.

Бета-излучение – поток бета-частиц (электронов или позитронов), возникающих при β -распаде ядер.

Гамма-излучение – поток γ -квантов электромагнитного излучения, возникающий при α - и β -распадах, когда ядра обладают избытком энергии. Эта энергия возбуждения покидает ядро в виде γ -квантов.

Характеристика радиоактивных излучений основана на следующих свойствах: скорость, энергия и ее спектр, пробег, проникающая способность, плотность ионизации, биологическое действие (таблица 3).

Таблица 3 – Свойства радиоактивных излучений

Характеристика	Альфа-излучение	Бета-излучение	Гамма-излучение
Скорость, м/с	$(1,4-2,4) \cdot 10^7$	$(0,87-2,98) \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$
Энергия, МэВ	2-11	Мягкое: 0,015-0,5 Жесткое: 3-12	Мягкое: 2-3 Жесткое: 5-6
Спектр излучения	моноэнергетический	сплошной	линейчатый
Пробег в воздухе	до 22 см	до 25 м	до 150-600 м
Проникающая способность в ткани	до 100 мкм	до 1 см	ткань проходит насквозь
Плотность ионизации в воздухе на 1 см пробега	30000-40000	50-100	3-5
Биологическое действие радиации	высокое	среднее	низкое

Пробегом называется путь, пройденный частицей в веществе до ее полной остановки, на котором она производит ионизацию.

Плотность ионизации определяется числом пар ионов, образующихся на единицу длины пути частицы.

Рентгеновское излучение – электромагнитное излучение атомного происхождения с длиной волны от 10^{-8} до 10^{-12} нм. На шкале электромагнитных волн занимает область между гамма-излучением и ультрафиолетовым излучением. Энергетический диапазон от 100 эВ до 0,1 МэВ.

Рентгеновское излучение относится к ионизирующему излучению. По биологическому действию близко к гамма-излучению. Отличается от гамма-излучения своим происхождением – образуется в атомах, а не в ядрах элементов.

По способу возбуждения рентгеновское излучение бывает тормозным и характеристическим.

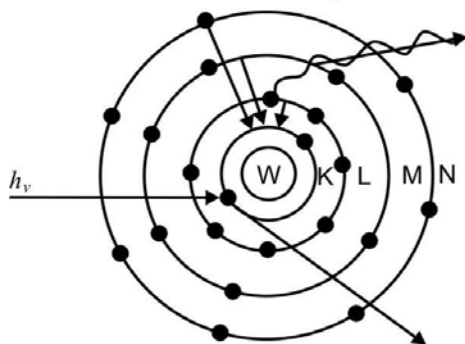


Рисунок 2 – Характеристическое рентгеновское излучение

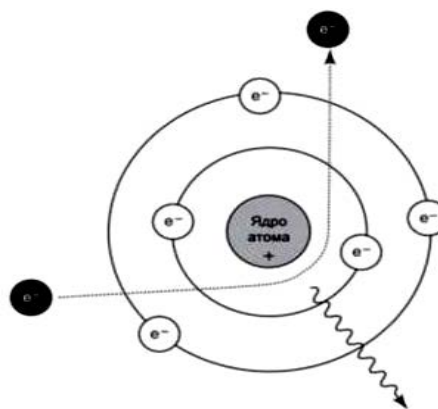


Рисунок 3 – Тормозное рентгеновское излучение

Характеристическое рентгеновское излучение возникает при переходе электронов с внешних энергетических уровней на внутренние уровни (K, L, M) в атомах с высоким значением порядкового номера (Z). Характеристическое рентгеновское излучение дает линейчатый спектр (рисунок 2).

Тормозное рентгеновское излучение возникает при торможении быстро движущихся электронов в электрическом поле атомов вещества. Частота излучаемого фотона зависит от начальной кинетической энергии электронов и интенсивности их торможения. Тормозное излучение дает сплошной спектр (рисунок 3).

2.2. Типы ядерных превращений

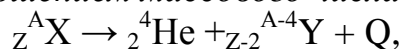
К основным типам ядерных превращений относятся: альфа-распад, бета-распад (электронный и позитронный), электронный захват (K-захват), внутренняя конверсия.

Альфа-распад состоит в самопроизвольном превращении одного ядра в другое ядро с испусканием α -частицы (ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$).

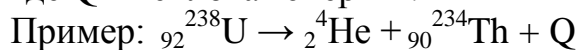
Исходное ядро принято называть *материнским*, а ядро, образовавшееся в результате его распада, – *дочерним*.

К альфа-распаду склонны химические элементы, стоящие в основном после 82 номера Периодической системы Д.И. Менделеева и имеющие ядра с массовым числом $A > 200$.

При α -распаде химический элемент смещается в Периодической системе на два номера влево с уменьшением массового числа на четыре:



где Q – тепловая энергия.



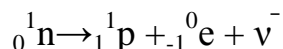
Известно около 200 альфа-активных видов ядер. Ядра с порядковым номером, меньшим 82, считаются в основном стабильными по отношению к альфа-распаду.

Бета-распад – радиоактивный распад атомного ядра, сопровождающийся вылетом из ядра бета-частиц.

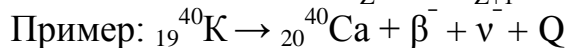
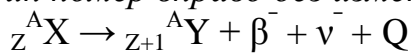
Различают электронный и позитронный бета-распад.

Электронный бета-распад присущ естественным и искусственным химическим элементам, у которых в ядре имеется избыток нейтронов (нейтронная перегрузка ядра).

Один из нейтронов ядра превращается в протон, испуская при этом электрон и антинейтрино:



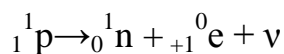
При электронном бета-распаде химический элемент смещается в Периодической системе на один номер вправо без изменения массового числа:



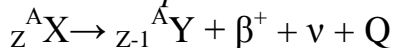
Электронному β^- -распаду подвергается около 46% всех радиоактивных изотопов.

Позитронный бета-распад происходит у искусственно полученных изотопов, ядра которых содержат «избыток» протонов (протонная перегрузка ядра).

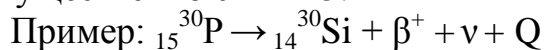
Один из протонов ядра превращается в нейтрон, испуская при этом позитрон и нейтрино:



При позитронном бета-распаде химический элемент смещается в Периодической системе на один номер влево без изменения массового числа:



Позитронный бета-распад характерен для 11% радиоактивных изотопов, преимущественно с $Z < 45$.

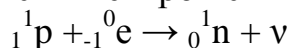


Позитрон, вылетев из ядра, срывает с оболочки атома «лишний» электрон или взаимодействует со свободным электроном, образуя пару «позитрон-электрон», которая превращается в два γ -кванта с энергией частиц 511 кэВ.

Процесс превращения пары позитрон-электрон в два γ -кванта носит название *аннигиляции*, а возникающее γ -излучение называется *аннигиляционным*.

К настоящему времени известно около 900 бета-радиоактивных изотопов. Из них только около 20 являются естественными, остальные получены искусственным путем. Подавляющее большинство этих изотопов подвергается электронному бета-распаду.

Электронный захват (К-захват) происходит в случае, когда электрон захватывается ядром с ближайшей оболочки – К-слоя своего атома, в результате чего протон ядра превращается в нейтрон с выделением нейтрино:



При этом заряд ядра и атомный номер элемента уменьшаются на единицу, и появляется новый химический элемент, стоящий на один номер влево в Периодической системе элементов, а массовое число не изменяется:

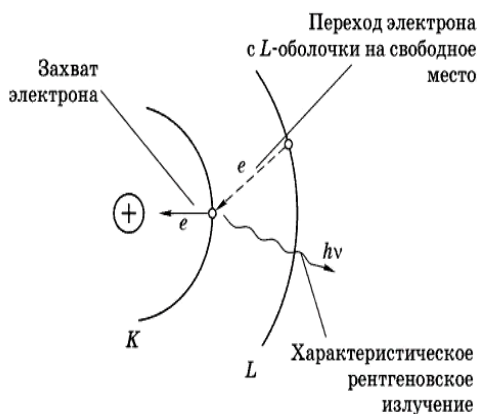
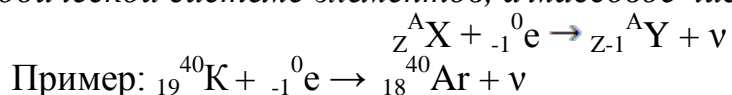


Рисунок 4 – К-захват

На свободное место от захваченного ядром электрона К-слоя приходит электрон с более высоких энергетических уровней.

Следовательно, такой переход сопровождается выделением избытка энергии из атома в виде *кванта характеристического рентгеновского излучения* (рисунок 4).

К-захват характерен для искусственных радиоактивных изотопов с порядковым номером $Z = 45-105$, имеющих в ядре избыток протонов.

Некоторые ядра могут распадаться несколькими способами (двумя-тремя), например, естественный радиоизотоп калия-40 подвергается электронному бета-распаду (88%) и К-захвату (12%).

Внутренняя конверсия. Явление внутренней конверсии состоит в том, что ядро передает энергию возбуждения одному из электронов внутренних слоев (К, L, М), который, получив энергию, разрывает свою связь с ядром и покидает пределы атома. Такие электроны получили название *конверсионных электронов*. Конверсионные электроны имеют линейчатый спектр энергии, в отличие от электронов бета-распада, дающих сплошной спектр.

На свободное место, вместо вылетевшего конверсионного электрона, переходит электрон с более отдаленных слоев. При этом происходит высвобождение энергии в виде характеристического рентгеновского излучения.

Если энергия возбуждения превышает 1,022 МэВ, то переход ядра в нормальное состояние может сопровождаться излучением пары «электрон-позитрон» с последующей их аннигиляцией и излучением двух γ -квантов.

2.3. Естественная и искусственная радиоактивность

Радиоактивность, наблюдающаяся у изотопов, существующих в природных условиях, называется *естественной*.

Радиоактивность изотопов, полученных искусственным путем и не встречающихся в природе, называется *искусственной*.

Естественная радиоактивность обусловлена радионуклидами земного происхождения. Основным источником поступления в окружающую среду естественных радионуклидов являются горные породы, в состав которых вошли все радиоактивные элементы, возникшие в период формирования и развития планеты.

В биосфере Земли содержится более 60 естественных радионуклидов, которые условно можно разделить:

1. Радионуклиды земного происхождения:

- радионуклиды, входящие в состав трех естественных радиоактивных семейств (32 элемента);

- радионуклиды, не входящие в семейства, но находящиеся в земной коре и объектах внешней среды с момента образования Земли (11 радионуклидов, например: ^{40}K , ^{48}Ca , ^{87}Rb);

2. Космогенные радионуклиды, непрерывно образующиеся в результате взаимодействия космического излучения в атмосфере с ядрами атомов азота, водорода, кислорода и др., а затем поступающие на земную поверхность с атмосферными осадками (14 радионуклидов, например: ^3H , ^7Be , ^{13}C , ^{14}C , ^{22}Na).

Радиоактивное семейство – это цепочка распада ядер естественных радиоактивных элементов до последнего конечного, устойчивого элемента.

В настоящее время в природе существуют три естественных радиоактивных семейства (таблица 4).

Таблица 4 – Естественные радиоактивные семейства

Название семейства	Родоначальник семейства	Количество превращений	Конечный элемент
1. Урана-радия	$^{238}_{92}\text{U}$ ($T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$ лет)	14: 8 – α и 6 – β -распадов	$^{206}_{82}\text{Pb}$ (изотоп свинца)
2. Тория	$^{232}_{90}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ лет)	10: 6 – α и 4 – β -распадов	$^{208}_{82}\text{Pb}$
3. Актиния	$^{235}_{92}\text{U}$ ($T_{1/2} = 7,07 \cdot 10^8$ лет)	11: 7 – α и 4 – β -распадов	$^{207}_{82}\text{Pb}$

В Республике Беларусь от естественных источников радиации фоновое облучение населения составляет около 2,4 мЗв/год.

Впервые искусственное превращение ядра осуществил Резерфорд в 1919 году. В 1934 году Фредерик и Ирен Жолио-Кюри обнаружили, что в результате бомбардировки альфа-частицами ядер легких элементов образуются другие элементы, являющиеся радиоактивными. Это открытие позволило сделать принципиальный вывод о том, что радиоактивные вещества могут создаваться искусственным путем.

Мощным толчком для получения искусственных радионуклидов явилась возможность бомбардировки ядер потоками нейтронов. В 1934 году Энрико Ферми подверг бомбардировке нейтронами все известные элементы на тот период: от водорода до урана. Было выяснено, что 37 элементов обладало

искусственной радиоактивностью. В настоящее время известно более 1500 радиоизотопов, полученных искусственным путем. Большинство из них получено в ядерных реакторах, где создаются мощные потоки нейтронов. При ядерных взрывах образуется около 250 радиоактивных изотопов 35 химических элементов.

2.4. Закон радиоактивного распада

Количество любых радиоактивных ядер со временем уменьшается вследствие радиоактивного распада. Особенность радиоактивного распада состоит и в том, что ядра одного и того же элемента распадаются не все сразу, а постепенно, в разное время. Момент распада конкретного ядра предсказать невозможно. Однако для большого количества ядер радиоактивный распад является статистическим вероятностным процессом.

Математически закон радиоактивного распада выражается следующим уравнением и устанавливает, что за единицу времени распадается всегда одна и та же доля имеющихся в наличии ядер:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

где N – количество ядер, оставшихся через промежуток времени t ;

N_0 – начальное количество ядер в момент времени, $t_0 = 0$;

$e = 2,72$ – основание натурального логарифма;

λ – постоянная распада;

t – время распада.

Для характеристики скорости распада радиоактивных элементов используется понятие период полураспада.

Период полураспада ($T_{1/2}$) – это время, в течение которого распадается половина исходного количества радиоактивных ядер.

Период полураспада выражается в единицах времени.

Период полураспада связан с постоянной радиоактивного распада соотношением: $\lambda = 0,693/T_{1/2}$ или $T_{1/2} = 0,693/\lambda$

Периоды полураспада у радионуклидов могут быть различными (таблица 5). Причем у одного и того же элемента могут быть изотопы с разными периодами полураспада, поэтому их разделяют на *короткоживущие* (часы, дни) и *долгоживущие* (годы).

Таблица 5 – Периоды полураспада некоторых радионуклидов

Название элемента	Йод	Стронций	Цезий	Радий	Калий	Уран
Символ элемента	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{90}_{38}\text{Sr}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{40}_{19}\text{K}$	$^{238}_{92}\text{U}$
Период полураспада	8,04 суток	29,12 года	30,74 года	1622 года	$1,49 \cdot 10^9$ лет	$4,5 \cdot 10^9$ лет

Зная период полураспада или постоянную распада, можно точно определить вид радионуклида.

Графически закон радиоактивного распада представляет экспоненциальную кривую (рисунок 5), которая показывает зависимость числа нераспавшихся ядер N от времени t .

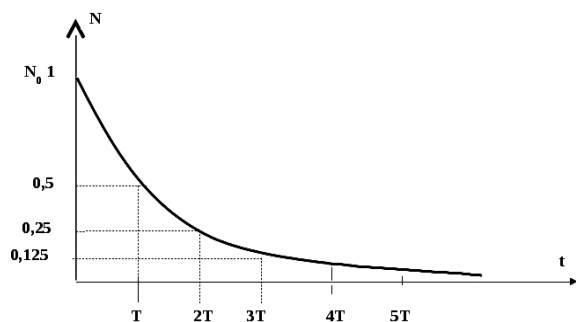


Рисунок 5 – График закона радиоактивного распада

С увеличением числа периодов полураспада количество нераспавшихся ядер уменьшается, приближаясь к нулю.

Считается, что до полного распада атомов (исчезновения) химического элемента требуется 20 периодов полураспада. Однако существует вероятность, что хотя бы мизерное количество радионуклидов может не распасться через это время.

3. ДОЗИМЕТРИЯ И РАДИОМЕТРИЯ

3.1. Дозы излучений и мощность доз

Дозиметрия – раздел ядерной физики, изучающий физические величины, характеризующие действие ионизирующих излучений на вещество, а также методы и приборы для измерения этих величин.

Основной задачей дозиметрии является обнаружение и оценка степени опасности ионизирующих излучений для населения и персонала в различных условиях радиационной обстановки.

С помощью дозиметрии можно обнаружить источник излучения, определить его вид, количество энергии, а также степень воздействия на облучаемый объект.

Результат радиационного воздействия на биологический объект зависит от дозы, ее мощности, вида излучения, продолжительности радиационного воздействия, радиочувствительности ткани и др.

Доза – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу и рассчитанная на единицу массы (или объема) вещества.

Экспозиционная доза (X) – это величина, характеризующая ионизационную способность рентгеновского или гамма-излучения (фотонного излучения) в воздухе при энергии квантов не более 3 МэВ.

Экспозиционная доза используется для оценки радиационной обстановки на местности, в рабочем и жилом помещении, для определения защитных свойств материалов.

Поглощенная доза, или доза излучения (D) – энергия любого вида ионизирующего излучения, поглощенного единицей массы вещества.

Поглощенная доза учитывает только энергию, переданную веществу, но не учитывает вид излучения. При этом одинаковые дозы различных излучений оказывают разное воздействие на организм.

Эквивалентная доза (H) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.

Например, взвешивающий коэффициент для альфа-излучения составляет 20, а для бета- и гамма-излучения – 1.

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

Риск развития последствий облучения зависит не только от вида излучения, но и от радиочувствительности тканей и органов, подвергшихся облучению. Радиочувствительность органов и тканей учитывает эффективная доза.

Эффективная доза (E) – величина, которая используется как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

Эффективная доза представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органе или ткани на взвешивающий коэффициент для данного вида ткани. Например, взвешивающий коэффициент для гонад составляет 0,2; для красного костного мозга, легких, желудка, кишечника – 0,12.

Из рассмотренных видов доз экспозиционная доза характеризует ионизационную способность, а все остальные дозы характеризуют энергетическое действие ионизирующих излучений (таблица 6).

Таблица 6 – Дозиметрические величины и единицы их измерения

Название дозы	Обозначение	Единицы измерения		Связь между единицами измерения
		Системные	Внесистемные	
Экспозиционная	X	Кл/кг (кулон на килограмм)	Р (рентген)	$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$ $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная	D	Дж/кг (джоуль на килограмм) Гр (грей)	рад	$1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$
Эквивалентная	H	Зв (зиверт)	бэр (биологический эквивалент рада)	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Зв}$
Эффективная	E	Зв (зиверт)	бэр	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Зв}$

Действие излучения зависит не только от общей дозы, но и от скорости, с которой эта доза нарастает. Для характеристики этого явления вводят понятие мощности дозы.

Мощность дозы характеризует скорость накопления дозы за промежуток времени (таблица 7).

Таблица 7 – Мощности доз и единицы их измерения

Название	Обозначение	Единицы измерения	
		Системные	Внесистемные
Мощность экспозиционной дозы	P_x	А/кг (ампер на килограмм)	Р/час (рентген в час)
Мощность поглощенной дозы	P_D	Вт/кг (ватт на килограмм)	рад/час (рад в час)
Мощность эквивалентной дозы	P_H	Зв/час (зиверт в час)	бэр/час (бэр в час)

Количественная характеристика мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, которая постоянно существует в данной местности, называется *радиационным фоном (уровень гамма-фон)*. Нормативным для РБ считается уровень гамма-фона не более 20 мкР/час.

Нормальным уровнем мощности эквивалентной дозы гамма-фона является 0,1-0,2 мкЗв/час, допустимым уровнем – 0,2-0,6 мкЗв/час, а уровень выше 0,6 мкЗв/час считается повышенным.

3.2. Обнаружение и регистрация радиоактивных излучений

Ионизирующие излучения невидимы и не воспринимаются органами чувств человека и животных, но они могут быть зарегистрированы с помощью приборов.

Основными конструктивными элементами таких приборов являются: детектор, радиотехническая схема, регистрирующее устройство и блок питания.

Детектор – элемент прибора, в котором происходит взаимодействие излучения с веществом и преобразование его в другой вид энергии, удобный для регистрации.

По принципу работы различают следующие типы детекторов:

Дискретные детекторы регистрируют отдельные частицы и их энергию. К ним относятся ионизационные, сцинтилляционные, полупроводниковые, калориметрические детекторы.

Трековые детекторы регистрируют следы (треки) частиц (камера Вильсона, пузырьковая камера, толстослойные фотоэмульсии).

В зависимости от вида детектора методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений получили название: ионизационный, сцинтилляционный, калориметрический, химический, биологический и др.

Ионизационный метод

Метод основан на регистрации величины тока, образующегося при ионизации атомов (молекул) вещества под действием излучения.

В качестве детекторов применяются ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера и др.

Известно, что газы являются диэлектриками и не могут проводить электрический ток. При попадании в газ радиоактивной частицы или кванта

происходит процесс ионизации. Под действием внешнего электрического поля положительные ионы будут двигаться к отрицательному электроду (катоде), электроны и отрицательные ионы – к положительному электроду (аноду). Таким образом, в цепи возникает ток, который регистрирует прибор. Величина тока пропорциональна дозе ионизирующего излучения.

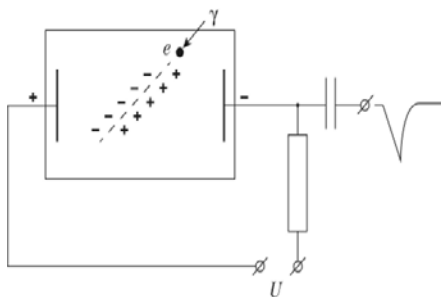


Рисунок 6 – Устройство ионизационной камеры

Ионизационная камера представляет собой конденсатор, состоящий из электродов – анода и катода, между которыми находится воздух или газ (рисунок 5). Электрическое поле между электродами создается от внешнего источника (напряжение 150-300 В). Стенки камеры изготавливают из алюминия или органических пластмасс толщиной 2-4 мм.

Наиболее простыми являются плоские ионизационные камеры, в которых электроды имеют вид пластин. Цилиндрические ионизационные камеры представляют собой цилиндр, по оси которого располагается металлический стержень, представляющий собой положительный электрод. Внутренняя поверхность камеры покрыта слоем графитного порошка и представляет собой отрицательный электрод.

Ионизационная камера применяется для измерения всех типов излучения, но чаще используется для регистрации интенсивных потоков гамма-излучения и тяжелых частиц (альфа-частиц и протонов).

Преимуществами ионизационных камер являются простота устройства, широкий диапазон измеряемых излучений. Недостатком ионизационной камеры являются очень низкие токи, что требует применения усилителя тока.

Ионизационные детекторы, в которых используется принцип газового усиления, называются *газоразрядными счетчиками*.

По сравнению с ионизационными камерами газоразрядные счетчики обладают большей чувствительностью, малыми размерами и более удобны в использовании. К газоразрядным счетчикам относятся пропорциональные счетчики, счетчик Гейгера-Мюллера, искровые и коронные счетчики.

Принцип работы *пропорциональных счетчиков* основан на явлении газового усиления – это увеличение количества свободных зарядов в объеме детектора за счет того, что первичные электроны приобретают энергию, достаточную для ударной ионизации нейтральных атомов рабочей среды детектора, что приводит к образованию электронной лавины.

Корпус счетчика изготавливают из меди, латуни или алюминия в форме цилиндрического конденсатора с анодом в виде тонкой металлической нити (вольфрам или сталь) по оси цилиндра. Внутренний объем счетчика заполняют инертным газом (гелий или аргон) при пониженном или нормальном давлении (от 50 до 760 мм рт. ст.). Работают счетчики в области пропорциональности при напряжении от 300-1000 В и имеют коэффициент газового усиления 10^3 - 10^4 .

Пропорциональные счетчики используются для регистрации числа ионизирующих частиц, определения их энергии и измерения потоков излучения.

Принцип работы *счетчика Гейгера-Мюллера* основан на возникновении самостоятельного газового разряда (электрический разряд в газе, который сохраняется после прекращения действия внешнего ионизатора).

Счетчик Гейгера-Мюллера представляет собой герметично запаянную тонкостенную металлическую (стальную или алюминиевую) или стеклянную трубку, покрытую изнутри тонким слоем металла (катод), вдоль оси, которой натянута тонкая металлическая нить (анод). Внутренний объем заполняется инертным газом, обычно аргоном или неоном, под пониженным атмосферным давлением (7-200 мм рт. ст.). В зависимости от конструкции счетчика и состава заполняющей его газовой смеси рабочее напряжение 250-2000 В. Работают счетчики в области Гейгера, и коэффициент газового усиления достигает 10^8 - 10^{10} .

Существует два вида счетчиков Гейгера-Мюллера – цилиндрические и торцовые. Торцовые счетчики служат для регистрации альфа-излучения и мягкого бета-излучения (счетчик БЕТА-2), а цилиндрические – для регистрации жесткого бета- и гамма-излучения (счетчик СБМ-20). Часто дозиметры снабжают двумя параллельно работающими счетчиками. В дозиметре RADEX RD1008 и дозиметре-радиометре РАДЕКС МКС-1009 установлены счетчики БЕТА-2 и БЕТА-2М.

Сцинтилляционный метод

Метод основан на регистрации вспышек света, возникающих в сцинтилляторе под действием излучения.

К сцинтилляционным детекторам относят сцинтилляционные счетчики и термолюминесцентные детекторы.

Принцип действия *сцинтилляционного детектора* основан на эффекте люминесценции – регистрации вспышек света, возникающих в веществе.

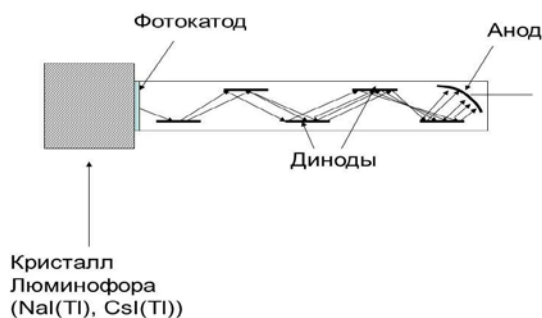


Рисунок 7 – Устройство сцинтилляционного детектора

В сцинтилляционных детекторах световые вспышки преобразуются с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) в электрические импульсы.

Излучение, проходя через сцинтиллятор (кристалл люминофора), вызывает возбуждение атомов вещества. Возвращаясь в невозбужденное (основное) состояние, атомы испускают вспышки видимого света (фотоны), которые, попадая на фотокатод, выбивают электроны. Выбитые электроны,

проходя через систему динодов, увеличивают свое количество, образуя электронную лавину, в результате чего на аноде возникает электрический импульс, который далее усиливается и регистрируется (рисунок 7). Коэффициент газового усиления составляет 10^6 - 10^9 .

Для защиты от попадания видимого света на фотокатод сцинтилляционный детектор помещается в светонепроницаемый кожух. Сцинтилляционные детекторы обладают рядом преимуществ: универсальностью, высокой

эффективностью счета и разрешающей способностью и применяются в радиометре-дозиметре МКС-01М «Советник», гамма-радиометре РКГ-АТ1320, γ - β -спектрометре МКС-АТ1315 и др.

Принцип действия *термолюминесцентных детекторов* основан на способности некоторых веществ накапливать энергию ионизирующего излучения в своей кристаллической решетке. При нагревании термолюминесцентный кристалл высвобождает накопленную энергию в виде видимого света, интенсивность которого пропорциональна интенсивности ионизирующего излучения.

Термолюминесцентные детекторы используются для индивидуального дозиметрического контроля персонала (например, дозиметры ДТЛ-02, ТЛД-3).

Калориметрический метод

Метод основан на измерении количества тепла, выделяющегося при нагревании вещества под действием излучения.

Кинетическая энергия, теряемая радиоактивным излучением в массе вещества, частично переходит в тепловую энергию атомов и молекул, вследствие чего изменяется температура рабочего объема детектора. Регистрация тепла, выделяемого при поглощении энергии веществом, позволяет определить дозу излучения.

Калориметрические детекторы используются для измерения больших доз излучения (сотни тысяч или миллионы рентген).

Химический метод

Метод основан на наблюдении и регистрации химических изменений, вызываемых радиоактивным излучением. Продукты химических реакций определяются либо непосредственно по изменению цвета, либо косвенно, с помощью химического анализа.

Для регистрации химических изменений используются химические и фотографические детекторы.

Принцип действия *химических детекторов* основан на регистрации химических реакций, протекающих в веществе, и изменении его физических и химических свойств под действием излучения.

Химические детекторы могут быть газообразными, жидкими и твердыми. В *газовом детекторе* (закись азота) под действием излучения изменяется молекулярный состав газа, его электрический потенциал. В *жидком детекторе* (ферросульфатный детектор) наблюдается изменение оптической плотности раствора, pH, электропроводности и окраски раствора (например, дозиметры ДП-70 и ДП-70М). В *твердых детекторах* используются специальные виды стекол, пластмасс или кристаллов, которые под действием излучения изменяют прозрачность или цвет.

Принцип действия *фотографических детекторов* основан на свойстве ионизирующих излучений воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов и восстанавливать металлическое серебро. Степень почернения фотоэмульсии пропорциональна дозе облучения. Фотографические детекторы

используются для индивидуальной дозиметрии лиц, работающих с бета- и гамма-излучениями (например, фотодозиметр ИФК-2,3, ИКФУ-1).

3.3. Радиометрия. Активность и единицы их измерения

Радиометрия – раздел ядерной физики, которая разрабатывает теоретические и практические вопросы измерения радиоактивности и идентификацию радиоизотопов.

Радиометрия характеризует источники излучений, а дозиметрия количественно оценивает эффект воздействия излучения в определенной среде.

Количество радиоактивного вещества обычно определяют не единицами массы, а его активностью.

Активность – физическая величина, характеризующаяся числом распадов ядер радионуклида в единицу времени:

$$A = \Delta N / \Delta t,$$

где ΔN – число распадов;

Δt – промежуток времени.

Величина активности характеризует лишь наличие радионуклида (количество атомов) и интенсивность испускаемого им излучения, но не определяет ни вид элемента, ни тип самого излучения.

Единицей активности в Международной системе единиц принят один распад в секунду. Эта единица получила название *беккерель (Бк)*:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ рас/с} = 1 \text{ с}^{-1}$$

Внесистемной единицей активности является *кюри (Ки)*:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ рас/с}$$

Единица кюри соответствует радиоактивности 1 г радия.

Связь между системной и внесистемной единицей измерения активности:

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

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

Активность радионуклида пропорциональна количеству радиоактивных атомных ядер в данный момент и обратно пропорциональна периоду полураспада (зависит от скорости распада):

$$A = 0,693 \cdot \frac{N}{T_{1/2}}$$

где, N – количество радиоактивных ядер;

$T_{1/2}$ – период полураспада.

Таким образом, чем больше период полураспада, тем меньше активность данного радиоактивного источника, и наоборот.

С течением времени активность любого радионуклида убывает в соответствии с законом радиоактивного распада.

Различают удельную, объемную и поверхностные активности (таблица 8).

Таблица 8 – Виды активности и единицы их измерения

Активность	Формула	Единицы измерения	
		Системные	Внесистемные
Удельная активность	$A_m = \frac{A}{m}$	Бк/кг	Ки/кг
Объемная активность	$A_v = \frac{A}{V}$	Бк/м ³ ; Бк/л	Ки/л
Поверхностная активность	$A_s = \frac{A}{S}$	Бк/м ²	Ки/км ²

3.4. Методы измерения радиоактивности

Абсолютный метод основан на использовании прямого счета полного числа частиц распадающихся ядер в условиях полного телесного угла (4π-геометрии). Для этого используются 4π-счетчики, конструкция которых позволяет поместить измеряемый образец внутрь счетчика.

Расчетный метод используется для измерения абсолютной активности альфа, бета- и гамма-излучающих изотопов. Измерение осуществляется при помощи обычных газоразрядных или сцинтилляционных счетчиков. Для того чтобы сопоставить скорость счета, выраженную в имп/мин, с активностью, выраженной в единицах кюри, вводят ряд поправочных коэффициентов, учитывающих потери при радиометрии.

Относительный (сравнительный) метод основан на сравнении активности исследуемого препарата с активностью стандартного препарата (эталоны).

Для правильного проведения измерений необходимо, чтобы схема распада, вид и энергия излучения эталона существенно не отличалась от исследуемого препарата. Измерив скорость счета от эталона и препарата, рассчитывают активность препарата по формуле:

$$A_{\text{пр}} = \frac{A_{\text{э}} \cdot N_{\text{пр}}}{N_{\text{э}}}$$

где, $A_{\text{пр}}$ – активность исследуемого препарата;

$A_{\text{э}}$ – активность эталона;

$N_{\text{пр}}$ – скорость счета от исследуемого препарата;

$N_{\text{э}}$ – скорость счета от эталона.

При определении активности в ветеринарной радиологии в качестве изотопа используют калий-40, который изготавливают из химически чистой соли калия хлорида (KCl).

Экспресс-метод используется для измерения удельной и объемной активности воды, продуктов питания, сельскохозяйственной продукции в натуральном виде. Время измерения в среднем составляет 1000 с, а допустимая погрешность – до 30%.

Используется для получения оперативной информации о степени радиационного загрязнения объектов внешней среды, контроля рыночной продукции и прижизненного радиометрического контроля.

Спектрометрический метод основан на изучении спектров излучения радионуклидов. Применяется для анализа проб без предварительного

выделения радиоактивных изотопов, актуален при свежих выпадениях, если неизвестен радионуклидный состав.

3.5. Дозиметрические и радиометрические приборы

Дозиметры – это приборы, предназначенные для получения информации о дозе или мощности дозы фотонного излучения и (или) энергии, переносимой ионизирующим излучением или переданной им объекту, находящемуся в поле действия излучения.

В зависимости от вида регистрируемого излучения дозиметры бывают: гамма -, бета -, нейтронного или рентгеновского излучений.

В зависимости от назначения различают дозиметры: стационарные или лабораторные, переносные и полевые, индивидуальные и бытовые.

Радиометры – приборы, предназначенные для измерения активности и удельной (объемной) активности источников излучения.

В зависимости от назначения различают радиометры: стационарные, переносные. Примером отечественного стационарного радиометра является РКГ-АТ1320 (рисунок 8).



Рисунок 8 – Радиометр
РКГ-АТ1320



Рисунок 9 – Радиометр-дозиметр
МКС-01 Советник

Существуют комбинированные приборы, которые совмещают функции дозиметра и радиометра, например, МКС-01 Советник, МКС-АТ6130 (рисунки 9, 10). **Спектрометры** – это аналитические приборы, принцип работы которых основан на накоплении, обработке и анализе спектра излучения.

Спектрометры позволяют проводить качественный и количественный анализ содержания радионуклидов в образце, то есть определять состав радионуклидов и измерять их активность. Примером является отечественный спектрометр МКС-АТ1315 (рисунок 11).



Рисунок 10 – Дозиметр-радиометр
МКС-АТ6130



Рисунок 11 – γ-β-спектрометр
МКС-АТ1315

В названии любого прибора первые три буквы несут информацию о его назначении, остальные знаки – о предприятии-изготовителе и номере разработки. Расшифровка первых букв названия для наиболее распространенных приборов представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Значение букв в названиях приборов

Первая буква		Вторая буква		Третья буква	
Д	дозиметры	Р	мощность экспозиционной дозы	Б	бета-излучение
Р	радиометры	Б	мощность эквивалентной дозы	Г	гамма-излучение
С	спектрометры	У	удельная активность радионуклида	Д	рентгеновское излучение
М	комбинированные	К	две и более физические величины	С	смешанное излучение

4. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Под **радиационным контролем** понимается комплекс взаимоувязанных и обязательных для исполнения административных, организационно-технических, санитарно-гигиенических мероприятий и правовых мер, направленных на снижение воздействия радиационного фактора, на население и другие категории облучаемых лиц.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20 февраля 2020 г. № 102 утверждено «Положение о контроле радиоактивного загрязнения».

4.1. Цели и задачи контроля радиоактивного загрязнения

Контроль радиоактивного загрязнения осуществляется в целях:

- обеспечения радиационной безопасности населения;
- заготовки, производства и реализации продукции и сырья с содержанием радионуклидов, не превышающим референтных уровней, установленных

гигиеническими нормативами, иных нормативов предельно допустимого воздействия ионизирующего излучения;

- оценки радиационной обстановки и уровней воздействия ионизирующего излучения радионуклидов чернобыльского происхождения на человека;
- планирования и проведения защитных мероприятий на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС и оценки их эффективности.

Задачами контроля радиоактивного загрязнения являются:

- получение полной и достоверной информации о радиоактивном загрязнении объектов контроля радиоактивного загрязнения;
- своевременная и объективная оценка результатов контроля радиоактивного загрязнения;
- представление информации о радиоактивном загрязнении объектов контроля радиоактивного загрязнения республиканским органам государственного управления, местным исполнительным и распорядительным органам для принятия необходимых защитных мероприятий, населению.

4.2. Система контроля радиоактивного загрязнения в РБ

Контроль радиоактивного загрязнения обеспечивается на республиканском, ведомственном и производственном уровнях.

Республиканский уровень устанавливает основополагающие принципы и подходы в области контроля радиоактивного загрязнения.

На республиканском уровне контроль радиоактивного загрязнения обеспечивают:

- Министерство по чрезвычайным ситуациям,
- Министерство здравоохранения,
- Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды,
- Государственный комитет по стандартизации.

Ведомственный уровень устанавливает принципы и подходы в конкретных направлениях контроля радиоактивного загрязнения.

На ведомственном уровне контроль радиоактивного загрязнения обеспечивают:

- Министерство сельского хозяйства и продовольствия,
- Министерство лесного хозяйства,
- Министерство жилищно-коммунального хозяйства,
- Министерство энергетики,
- Белорусский республиканский союз потребительских обществ,
- иные органы государственного управления, обеспечивающие контроль радиоактивного загрязнения в курируемой сфере деятельности.

Контроль радиоактивного загрязнения на ведомственном уровне осуществляется на основе правил контроля радиоактивного загрязнения. В правилах контроля радиоактивного загрязнения определяются объекты контроля, периодичность контроля, объемы контроля и иные требования.

Производственный уровень контроля радиоактивного загрязнения обеспечивается организациями, индивидуальными предпринимателями и иными

гражданами: осуществляющими производство, заготовку (закупку) и переработку в целях реализации, а также реализацию сельскохозяйственной продукции и пищевых продуктов; осуществляющими заготовку (закупку) и переработку лесной продукции в целях реализации, а также реализацию этой продукции и продуктов ее переработки.

Контроль радиоактивного загрязнения на производственном уровне осуществляется на основе схем радиационного контроля.

В схемах контроля определяются перечень объектов контроля радиоактивного загрязнения, перечень контролируемых параметров, объемы контроля, технические нормативные правовые акты, используемые средства измерений и методики их выполнения, перечень должностных лиц, ответственных за организацию и проведение контроля радиоактивного загрязнения.

4.3. Радиационный контроль в Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь

Радиационный контроль Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь – система мероприятий по контролю радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и других объектов внешней среды.

Министерством сельского хозяйства и продовольствия:

1. Составляются планы радиационного обследования сельскохозяйственных земель земельных участков, находящихся в пользовании, аренде организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств.

2. Обеспечивается контроль радиоактивного загрязнения:

– почв сельскохозяйственных земель земельных участков, находящихся в пользовании, аренде организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств;

– живых животных (крупный рогатый скот), продуктов животного и растительного происхождения, кормов, сырья, производимых сельскохозяйственными организациями, крестьянскими (фермерскими) хозяйствами;

– продуктов животного и растительного происхождения, в том числе дикорастущих грибов и ягод, мяса диких животных, реализуемых на рынках.

В системе Минсельхозпрода Республики Беларусь радиационный контроль осуществляют:

– государственная ветеринарная служба – контролирует продукцию животноводства, производимую в общественном секторе и фермерских хозяйствах, в т.ч. реализуемую на экспорт; корма и рационы кормления животных; продукцию, реализуемую на рынках;

– агрохимическая служба – контролирует почву сельскохозяйственных и лесных угодий предприятий АПК и фермерских хозяйств; продукцию растениеводства; торф, применяемый в качестве удобрений;

– радиологические посты и лаборатории перерабатывающих предприятий – контролируют сырье, поступающее на переработку, готовую продукцию;

– радиологи хозяйств – осуществляют прижизненный контроль сельскохозяйственных животных; отбор и доставку проб продукции животноводства и растениеводства в соответствующие радиологические подразделения.

4.4. Подразделения радиационного контроля

Контроль радиоактивного загрязнения осуществляется на всей территории Республики Беларусь подразделениями радиационного контроля. В Республике Беларусь сеть подразделений радиационного контроля построена по территориально-отраслевому принципу.

Все подразделения, осуществляющие сертификацию продукции или контроль ее по показателям радиационной безопасности, подлежат обязательной аккредитации в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь с учетом ее требований.

По результатам аккредитации подразделения радиационного контроля подразделяются на 4 класса:

- 1-й класс – лаборатории (научно-исследовательские центры) радиационных измерений, имеющие возможность реализовать высокоточные методы абсолютных измерений, осуществлять измерения (испытания) любой категории сложности, в том числе арбитражные, с использованием современных методов и средств инструментального анализа и различных методов радиохимических исследований, располагающих комплексом специальных государственных (национальных) эталонов воспроизведения единиц активности радионуклидов и эталонов дозиметрических величин, оснащенных образцовыми альфа-, бета- и гамма-спектрометрическими установками;

- 2-й класс – подразделения (лаборатории), имеющие возможность измерения характеристик ионизирующих излучений радионуклидов методами лабораторного анализа (в том числе радиохимическими) и инструментальными экспресс-методами;

- 3-й класс – подразделения (лаборатории), имеющие возможность измерения характеристик ионизирующих излучений радионуклидов только инструментальными экспресс-методами;

- 4-й класс – подразделения, имеющие возможность измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, отбор и первичную подготовку проб объектов радиационного контроля для последующих измерений в подразделениях 1, 2, 3-го классов.

Подразделения радиационного контроля государственной ветеринарной службы

Радиационный контроль в государственной ветеринарной службе осуществляют:

- отдел радиологии диагностической лаборатории Государственного учреждения «Белорусский государственный ветеринарный центр»;
- отделы радиологии диагностических учреждений областных ветеринарных лабораторий;
- посты радиационного контроля (ПРК) межрайонных ветеринарных лабораторий;
- отделы лабораторной диагностики районных ветеринарных станций;
- ПРК лабораторий ветсанэкспертизы (ЛВСЭ) рынков.

По аккредитации отделы радиологии относятся ко 2-му классу, посты радиационного контроля – к 3-му классу.

4.5. Зоны радиационного контроля

На территории Республики Беларусь, с учетом сложившейся радиационной обстановки, анализа данных об уровнях загрязнения продукции радиационный контроль осуществляется в трех зонах (А, Б, В).

Зона «А» – территория радиоактивного загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Территория, где произошло долговременное загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами с плотностью загрязнения почвы радионуклидами цезия-137 более 37 кБк/м² (1 Ки/км²), стронция-90 – более 5,55 кБк/м² (0,15 Ки/км²).

Зона «Б» – территория вероятного радиационного воздействия выбросов АЭС сопредельных государств (30-километровая зона вокруг Игналинской АЭС, Чернобыльской АЭС). В настоящее время зона не функционирует.

Зона «В» – остальная территория республики («чистая») – территория, где плотность загрязнения почвы по цезию-137 менее 37 кБк/м², стронцию-90 – менее 5,55 кБк/м².

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ

Для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов и обеспечения радиационной безопасности персонала на загрязненных радионуклидами землях разработана система защитных мер (контрмер), включающая организационные, агротехнические, агрохимические, зооветеринарные, технологические, санитарно-гигиенические, информационные мероприятия (таблица 10).

Таблица 10 – Система защитных мероприятий в агропромышленном производстве

Организационные	Обследование и инвентаризация земель по плотности радиоактивного загрязнения и их картирование Прогноз содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции Исключение земель из сельскохозяйственного пользования Изменение отраслевой специализации хозяйств Оптимизация землепользования, структуры посевов и севооборотов на основе подбора сельскохозяйственных культур Организация радиационного контроля продукции Оценка эффективности защитных мероприятий
-----------------	--

Агротехнические	Коренное и поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ Гидромелиорация (осушение и оптимизация водного режима) Противоэрозионные приемы предотвращения вторичного загрязнения
Агрохимические	Известкование кислых почв Внесение органических удобрений Внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений Оптимизация азотного питания растений Применение микроудобрений Использование средств защиты растений
Зооветеринарные	Специальная система кормления животных Двухстадийный откорм животных перед отправкой на мясокомбинат Применение сорбирующих препаратов Раздельный выпас скота для производства молока цельного и молока-сырья
Технологические	Первичная промывка и очистка продукции Предварительная технологическая обработка продукции Глубокая технологическая переработка продукции
Санитарно-гигиенические	Соблюдение санитарно-гигиенических и других требований, установленных действующим в республике законодательством Обеспечение дополнительным комплектом спецодежды и средствами индивидуальной защиты
Информационные	Информирование населения, министерств и ведомств о результатах радиационного контроля и эффективности защитных мероприятий Информирование работников и населения о новых эффективных мерах, снижающих переход радионуклидов в возделываемые культуры и готовую продукцию Подготовка и повышение квалификации специалистов

Снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания может быть достигнуто путем использования следующих технологических приемов:

- промывка и первичная очистка убранной плодоовощной и технической продукции;
- переработка полученной продукции.

Концентрация радионуклидов в продукции уменьшается при консервировании, засолке, варке, но необходимо помнить, что радионуклиды переходят в маринад или воду при варке.

Технологическая переработка, предусматривающая отделение воды путем отжима, фильтрования, центрифугирования и других способов, кроме высушивания, будет приводить к дезактивации продукта.

Максимальная очистка от радионуклидов готовой продукции достигается при глубокой технологической переработке. Например, переработка картофеля и зерна на крахмал и спирт, масличных культур – на масло, сахарной свеклы – на сахар (таблица 11).

Таблица 11 – Содержание радионуклидов в растениеводческой продукции при технической переработке

Исходная продукция	Способ обработки (готовый продукт)	Коэффициент очистки (КО)
Зерно (пшеница, рожь, ячмень, гречиха, пшено и др.)	Отвешивание	1,5-2,0
	Отмывание проточной водой	1,5-3,0
	Переработка в хлеб, крупы	1,2-2,5
	Переработка в спирт	100
Зерно (рис, гречиха, ячмень, овес)	Обрушение, удаление пленок	10-20
Картофель (клубни)	Очистка	3-5
	Варка	2-3
	Переработка в крахмал	50
	Переработка в спирт	100
Соя, рапс, подсолнечник, кукуруза	Переработка на растительное масло	500 50 (в домашних условиях)
Овощи	Отмывание проточной водой	3-10
	Удаление кроющих листьев (кочан), засолка, маринование	2-5
Сахарная свекла	Переработка на сахар	70-90
Ягоды, фрукты	Переработка на сок	До 100
	Переработка на вино	До 500
	Переработка на варенье	100-500

Для уменьшения содержания радионуклидов в продукции животноводства выделяют несколько групп приемов:

- 1) производство кормов с допустимым содержанием радионуклидов;
- 2) двухстадийный откорм животных перед отправкой на мясокомбинат;
- 3) отдельный выпас скота для производства цельного молока и молока – сырья для переработки на масло;
- 4) применение специальных кормовых добавок;
- 5) технологическая и кулинарная переработка продуктов животноводства;
- 6) перепрофилирование отраслей животноводства.

Известно, что более 90% радионуклидов поступает в организм животных с кормами, поэтому качеству кормов необходимо уделять особое внимание. При загрязнении отдельных видов кормов, превышающем предельно допустимый уровень, нормирование радионуклидов в рационе производится за счет увеличения доли более чистых кормов.

Двухстадийный откорм животных перед отправкой на мясокомбинат включает два этапа. На первом производится выращивание и откорм крупного рогатого скота до веса 250–380 кг по общепринятым технологиям. В последние два месяца откорма используют рационы, в которых содержание цезия-137 не превышает предельно допустимого содержания, включающие кукурузный силос, сенаж из однолетних трав, корнеплоды, барду.

Контроль рациона по содержанию стронция-90 не проводят, потому что его переход в мышечную ткань не превышает 0,04%, в то время как цезия-137 – в 100 раз больше и составляет 4%.

Раздельный выпас скота для производства цельного молока и молока-сырья. Ведение молочного скотоводства заключается в организации стойлового содержания. При стойловом содержании рекомендуют включать в рацион сено с культурных сенокосов, силос сеяных трав и кукурузы, кормовую свеклу и концентраты. Используются корма только с пахотных угодий с наименьшей плотностью загрязнения при минимальном потреблении сена естественных сенокосов. Заготовку кормов для дойного стада также рекомендуется проводить только на пахотных землях.

Для получения молока, соответствующего нормативам, не рекомендуется выпасать скот на пастбищах со слабой дерниной и низким (менее 10 см) травостоем.

Применение специальных кормовых добавок. Для снижения поступления цезия-137 в животноводческую продукцию широко используются ферроцинсодержащие препараты, которые избирательно связывают радионуклиды в желудочно-кишечном тракте. Их применение позволяет при различных уровнях загрязнения продуктов животноводства снизить содержание цезия-137 в мясе и молоке в среднем в 5 и 8 раз соответственно.

Снижение содержания радионуклидов в молоке и мясе отмечается при обогащении рациона минеральными веществами, которые используются в обычной практике, с увеличением их суточной дозы в 2-3 раза, особенно кальцием, калием, микроэлементами, белково-витаминными препаратами.

Технологическая и кулинарная обработка продукции животноводства позволяет в значительной степени сократить поступление радионуклидов в организм человека (таблица 12).

Таблица 12 – Содержание радионуклидов в продукции животноводства при технической переработке

Исходный продукт	Готовые продукты	Цезий -137	Стронций-90
Молоко	Творог	4-6 раз	3-7 раз
	Сыр	10 раз	2 раза
	Масло	50 раз	100 раз
	Сливки	4-14 раз	20 раз
Говядина свежая	Говядина отварная	2 раза	2,5 раза
	Бульон	до 50% от содержания в говядине	до 40% от содержания в говядине
Рыба очищенная	Рыба отварная	10 раз	2 раза

Уровень радиоактивного загрязнения мяса может быть значительно снижен путем засолки его в рассоле. Наибольший эффект достигается при предварительной нарезке мяса на куски и последующем посоле при многократной смене рассола. При этом цезий-137 переходит в рассол, а эффективность извлечения радионуклидов возрастает с увеличением длительности вымачивания.

Снизить концентрацию радиоактивных веществ в мясе можно также и при помощи варки, с обязательным удалением отвара (бульона) после 8-10-минутного кипячения. При такой варке из мяса, а также из печени и легких в бульон переходит примерно 50% цезия-137, а из костей – до 1%. Перетопка сала сопровождается удалением 95% цезия-137 в шкварку.

Дезактивация рыбы проводится аналогично мясу длительным вымачиванием в воде и провариванием с удалением отвара. Озерная рыба содержит больше радионуклидов, чем речная и морская, при этом наибольшая концентрация их во внутренних органах и голове.

В яйце курином радионуклиды концентрируются в основном в скорлупе, меньше всего их в желтке, поэтому лучше употреблять яйца в пищу в виде яичниц, омлетов, в кондитерских изделиях.

Технологическая переработка молока на сливки, творог, сыр, масло сопровождается переходом радионуклидов в обрат, сыворотку, пахту со снижением радионуклидов в конечном продукте в 10-50 раз. Используют также переработку молока и сливок на сгущенные и сухие. Практически не остается радионуклидов в топленом масле.

Для лучшей очистки молока от стронция-90 добавляют лимонную, уксусную и соляную кислоты, которые образуют со стронцием-90 растворимые в воде соли и нерастворимые, выпадающие в осадок.

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

Перепрофилирование отраслей животноводства. В хозяйствах, расположенных на почвах с плотностью загрязнения цезия-137 15-40 Ки/км², где невозможно получение молока, с допустимым содержанием радионуклидов, целесообразна переспециализация молочного скотоводства на мясное с разведением скота симментальской породы или перепрофилирование скотоводства на свиноводство или птицеводство.

Более «чистое» мясо в зоне загрязнения легче получить в свиноводстве и птицеводстве, так как в этих отраслях используются готовые корма и животные содержатся в помещениях.

Применение данного комплекса защитных мероприятий позволило свести до минимума производство сельскохозяйственной продукции, не отвечающей требованиям установленных нормативов. Вместе с эффективно функционирующей службой радиационного контроля в агропромышленном комплексе это гарантирует поступление потребителю качественных продуктов питания.

Литература

1. Белов, А. Д. Ветеринарная радиобиология : учебник для высших учебных заведений по специальности «Ветеринария» / А. Д. Белов, В. А. Киршин. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 287 с.
2. Ветеринарная радиобиология. Лучевые поражения животных : учебно-методическое пособие для студентов по специальности «Ветеринарная медицина» / К. П. Клименков, А. М. Курилович, Н. П. Коваленок, О. С. Мехова ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2023. – 35 с.
3. Дозиметрия : учебно-методическое пособие для студентов факультетов ветеринарной медицины и биотехнологического по специальностям: «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза», «Ветеринарная фармация», слушателей факультета повышения квалификации и переподготовки кадров / Е. Л. Братушкина, К. П. Клименков, О. С. Мехова [и др.] ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2020. – 44 с.
4. Клименков, К. П. Основы радиационной безопасности : учебно-методическое пособие для студентов ветеринарного и биотехнологического факультетов, слушателей ФПК и ПК, ветеринарных специалистов подразделений радиационного контроля / К. П. Клименков, В. П. Гурин, А. Д. Наумов ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2009. – 58 с.
5. Клименков, К. П. Принципы, критерии и нормы радиационной безопасности : учебно-методическое пособие для студентов факультета ветеринарной медицины и факультета заочного обучения по специальности «Ветеринарная медицина», слушателей ФПК и ПК / К. П. Клименков, В. П. Гурин, Е. Л. Братушкина ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2012. – 56 с.
6. Методы измерения активности радионуклидов : учебно-методическое пособие для студентов по специальности «Ветеринарная медицина» / Е. Л. Братушкина, В. П. Гурин, К. П. Клименков [и др.] ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2015. – 29 с.
7. Радиационная безопасность : методические рекомендации / А. Д. Наумов, Г. И. Наумова. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2020. – 75 с.
8. Физические основы радиологии : учебно-методическое пособие для студентов факультетов ветеринарной медицины и биотехнологического по специальностям: «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза», «Ветеринарная фармация», слушателей факультета повышения квалификации и переподготовки кадров / Е. Л. Братушкина, К. П. Клименков, О. С. Мехова [и др.] ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2020. – 44 с.
9. Чернуха, Г. А. Радиационная безопасность : учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов / Г. А. Чернуха, Н. В. Лазаревич, Т. В. Лаломова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – 236 с.

10. Рисунок 2

https://avatars.mds.yandex.net/i?id=9ee3bac12074062cc5440fd4314cb235_1-5340812-images-thumbs&n=13

11. Рисунок 3. [https://cf2.ppt-](https://cf2.ppt-online.org/files2/slide/o/oZGdU6Lc0e4xAnSOh2lamqK7MDg3EpkjJs8FWVYPBy/slide-4.jpg)

[online.org/files2/slide/o/oZGdU6Lc0e4xAnSOh2lamqK7MDg3EpkjJs8FWVYPBy/slide-4.jpg](https://cf2.ppt-online.org/files2/slide/o/oZGdU6Lc0e4xAnSOh2lamqK7MDg3EpkjJs8FWVYPBy/slide-4.jpg)

12. Рисунок 4. <https://studref.com/htm/img/14/7697/724.png>

13. Рисунок 5. <https://refdb.ru/images/1373/2745941/m6e79d5da.gif>

14. Рисунок 6.

https://avatars.mds.yandex.net/i?id=c48d98cecc407bbf02c984ef2f95f525_1-6212368-images-thumbs&n=13

Учебное издание

Курилович Александр Михайлович,
Наумов Александр Дмитриевич,
Клименков Константин Петрович,
Петроченко Ирина Олеговна и др.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Методические указания

Ответственный за выпуск А. М. Курилович
Технический редактор Е. А. Алисейко
Компьютерный набор А. М. Курилович
Компьютерная верстка Е. В. Ковалевская
Корректор Е. В. Морозова

Подписано в печать 26.08.2025. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,25. Уч.-изд. л. 1,76. Тираж 70 экз. Заказ 2583.

Издатель: учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.

Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.

Тел.: (0212) 48-17-70.

E-mail: rio@vsavm.by

<http://www.vsavm.by>

ISBN 978-985-591-251-5

