

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 13.09.2021 16:46:53

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d59e571c11eabb75e743d144811da56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра биомедицинской инженерии

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Локтионова

2017 г.



МЕДИЦИНСКАЯ БИОФИЗИКА ОБЩАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

Методические рекомендации по выполнению практических занятий для
студентов направления 30.05.03 – Медицинская кибернетика

Курск 2017

УДК 632.938

Составитель Серегин С.П.

Рецензент

д.м.н. Коцарь А.Г.

Медицинская биофизика общая и медицинская радиобиология: методические рекомендации по выполнению практических занятий / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.П. Серегин, Курск, 2017. 58 с.

Содержат методические рекомендации к проведению практических занятий по дисциплине «Медицинская биофизика общая и медицинская радиобиология». Приведены примеры решения типовых задач.

Методические указания по структуре, содержанию и стилю изложения материала соответствуют методическим и научным требованиям, предъявляемым к учебным и методическим пособиям.

Предназначены для студентов направления подготовки 30.05.03 – Медицинская кибернетика.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *19.05*. Формат 60x84 1/16

Усо.печ.л.3,37. Уч.-изд.л.3,05. Тираж *50* экз. Заказ: *1044*. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040. г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ЗАНЯТИЕ 1

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Цель занятия: дать студентам понятие об измерении ионизирующих излучений, дозах облучения, мощности дозы излучения, ОБЭ, бэр.

Метод: практическое занятие с расчетом доз и мощности излучения, относительной биологической эффективности разных видов излучения.

Виды контроля:

- устный опрос по теме;
- результаты по вычислению доз облучения.

1. Понятие о дозиметрии

Дозиметрия – это раздел радиобиологии, изучающий методы и приборы для количественного и качественного измерения ионизирующих излучений: альфа- и бета-, гамма-, нейтронного, рентгеновского, позитронного и других излучений, способных вызвать ионизацию в любых жидкостях, газах, твердых веществах и в тканях организмов животных и человека.

Задачи дозиметрии: определение дозы облучения для количественной и качественной оценки степени поражения живого организма и для предупреждения лучевых поражений человека и животных.

Различают **экспозиционную** и **поглощенную** дозы облучения.

Экспозиционная доза облучения характеризует ионизационную способность рентгеновских и гамма-лучей в воздухе и выражается в рентгенах (Р) – внесистемная единица, или в Кулон на килограмм (Кл/кг) – в системе СИ. **1 рентген** – это такая доза излучения, при которой в 1 см³ воздуха (0,001293 г) при t = 0 °С и при атмосферном давлении 760 мм. рт. столба образуются 2,1 × 10⁹ пар ионов.

Для определения эффекта облучения в живых организмах используется понятие **поглощенная доза облучения**. Единицей поглощенной дозы облучения является рад (**radiation absorbent dose**). **1 рад** – это поглощенная доза любого вида ионизирующего излучения, при которой в 1 г массы поглощается энергия излучения, равная 100 эрг (1 рад = 100 эрг/г = 10⁻² Дж/кг).

По Международной системе единиц СИ за единицу поглощенной дозы облучения принят джоуль на килограмм, т.е. такая поглощенная доза, при которой в 1 кг массы облученного вещества поглощается 1 Дж энергии излучения. Этой единице присвоено наименование **грей (Гр)**, 1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад или 1 рад = 0,01 Гр.

При измерении дозы облучения биологических объектов существующими приборами, отградуированными в рентгенах, поглощенную дозу находят расчетным путем: дозу, измеренную в рентгенах, умножают на средний коэффициент поглощения живого организма (K = 0,93):

$$D_{\text{полг.}} = D_{\text{эксп.}} \times K.$$

Коэффициент поглощения для жировой ткани K = 0,6, для костной ткани K = 2,6, для воздуха K = 0,88.

Единицы измерения экспозиционной и поглощенной доз излучения имеют дольные и кратные величины (см. Приложение 3).

2. Понятие о мощности дозы облучения

В биологическом отношении важно знать не просто дозу излучения, которую получил облучаемый объект, а дозу, полученную в единицу времени.

Мощностью дозы излучения называется доза, создаваемая или получаемая в единицу времени, определяется по формуле:

$$P = D/t.$$

Мощность экспозиционной дозы в системе СИ измеряется в ампер на килограмм (**А/кг**), внесистемная единица – в рентген в час (**Р/ч**) или в других дольных и кратных величинах, **1 А/кг = 3876 Р/с, 1 Р/с = 2,58 × 10⁻⁴ А/кг.**

Мощность поглощенной дозы облучения в системе СИ измеряется в **Вт/кг, Гр/ч**, в других кратных и дольных величинах. Внесистемной единицей поглощенной дозы является **рад/с**, другие кратные и дольные величины. Для измерения мощности дозы излучения используются рентгенметры типа ДП-5, УСИТ, ДРГЗ, СРП 68-01 и др.

Под радиационным фоном понимают именно мощность экспозиционной дозы ионизирующих излучений в воздухе, уровень его для средней полосы России составляет **4-40 мкР/ч** (микрорентген в час).

3. Понятие относительной биологической эффективности или коэффициента качества ИИ

Одинаковые дозы различных видов ионизирующего излучения оказывают на организм разное действие, обусловленное разной плотностью ионизации или удельной ионизацией – числом пар ионов на единицу пути или объема в веществе. Чем выше удельная ионизация, тем больше эффект облучения. Поэтому одна и та же поглощенная доза различного вида ионизирующего излучения приводит к разной степени поражения организма. В связи с этим в радиобиологии введено понятие **относительной биологической эффективности (ОБЭ)** или **коэффициента качества (КК)** или взвешивающие коэффициенты (по НРБ-99) ионизирующих излучений. Средние значения их следующие:

Фотоны любых энергий –	1
Электроны и мюоны любых энергий –	1
Протоны с энергией более 2 МэВ –	5
Нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ –	5
от 100 кэВ до 2 МэВ –	20
от 2 МэВ до 20 МэВ –	10
более 20 МэВ –	5
альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра –	20

Для оценки биологической эффективности различных видов излучения введено понятие эквивалентной или биологической дозы ($D_{\text{экв.}}$ или $D_{\text{биол.}}$):

$$D_{\text{экв. (биол.)}} = D_{\text{погл.}} \times \text{ОБЭ (КК)}.$$

Внесистемная единица эквивалентной дозы – биологический эквивалент рентгена – бэр ($1 \text{ бэр} = 1 \times 10^{-2} \text{ Дж/кг}$). Единица бэр – это такая доза любого вида ионизирующего излучения, при которой в биологической среде создается такой же биологический эффект, как при дозе рентгеновского или гамма-излучения в 1 рад. Эта единица имеет дольные и кратные величины – мбэр, мкбэр, кбэр, Мбэр. **В системе СИ единица эквивалентной дозы – зиверт (Зв). $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.**

Если биологический объект облучается различными видами излучения одновременно (смешанный источник ИИ), то эквивалентная доза облучения равна сумме поглощенных доз от каждого вида излучения, умноженной на средний коэффициент качества (КК или ОБЭ).

Разные органы и ткани имеют разную чувствительность к излучению. Для случаев неравномерного облучения разных органов или тканей человека введено понятие эффективной эквивалентной дозы ($D_{\text{эфф.}}$):

$$D_{\text{эфф.}} = \sum w \times D_{\text{экв.}},$$

где $D_{\text{эфф.}}$ – эффективная эквивалентная доза;

w – коэффициент радиационного риска;

$D_{\text{экв.}}$ – средняя эквивалентная доза в органе или ткани.

Единицей эффективной эквивалентной дозы являются бэр и Зв (зиверт).

Коэффициенты радиационного риска w для различных органов и тканей человека

Орган или ткань	w
Гонады	0,25
Молочная железа	0,15
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Поверхность кости	0,03
Все другие органы	0,30
Весь организм в целом	1,0

Задания

1. Изучить вынесенные учебные вопросы.
2. Выполнить индивидуальные задания по расчету различных доз облучения, пользуясь данными Приложения 1.

I. Индивидуальные задания по расчету доз

1. Определить величину экспозиционной дозы внесистемной единицы (Р) рентгеновского излучения, если в 1 см^3 воздуха при 0°C и нормальном атмосферном давлении образуется следующее количество пар ионов: 1) $2,08 \times 10^9$ и $1,04 \times 10^9$; 2) $2,08 \times 10^6$ и $1,04 \times 10^6$.

2. Определить величину экспозиционной дозы гамма-излучения в единицах СИ, если в 1 см^3 воздуха при 0°C и нормальном атмосферном давлении образуется следующее количество пар ионов: 1) $2,08 \times 10^5$ и $1,04 \times 10^5$; 2) $0,52 \times 10^3$ и $0,26 \times 10^3$.

3. Вычислить поглощенную дозу в единицах СИ, если при облучении животного гамма-лучами при 0°C и нормальном атмосферном давлении в 1 см^3 воздуха образуется следующее количество пар ионов: $2,08 \times 10^4$ и $1,04 \times 10^4$.

4. Вычислить поглощенную дозу в радах, если при рентгеновском обследовании легких человека при 0°C и нормальном атмосферном давлении в 1 см^3 воздуха образуется следующее количество пар ионов: $2,08 \times 10^9$ и $1,04 \times 10^9$.

5. Определить количество пар ионов, образующихся в 1 см^3 воздуха при 0°C и нормальном атмосферном давлении, если при исследовании желудка собак экспозиционная доза рентгеновских лучей была равна: $2,58 \times 10^{-4}$ и $2,58 \times 10^{-5}$ Кл/кг.

6. Рассчитать экспозиционную дозу в единицах СИ, если поглощенная доза, полученная коровой, равна: 10,5 и 120,0 Гр.

7. Определить экспозиционную дозу в единицах СИ, если поглощенная доза равна: 1) 10,0 и 13, мР; 2) 20,0 и 25,0 Р.

8. Определить экспозиционную дозу в единицах СИ, если поглощенная доза равна: 1) 1,0 и 20,0 рад; 2) 50,0 и 100 мрад.

9. Выразить поглощенную дозу в радах, если она составила: 1) 1 Гр и 0,5Гр; 2) 20,0 мГр, 45,0 мГр; 3) 300,0 мкГр.

10. Определить поглощенную дозу в единицах СИ, если экспозиционная доза составила: 1) $2,58 \square\square\square 10^{-4}$; 2) $12,9 \square\square\square 10^{-4}$ Кл/кг.

11. Определить экспозиционную дозу в рентгенах, если поглощенная доза равна: 10,0 и 20,0 рад.

12. Определить поглощенную дозу в радах, если экспозиционная доза равна: 1) 10,0 и 45,0 Р; 2) 150,0 и 30,0 мР.

13. Определить экспозиционную дозу в рентгенах, если поглощенная доза равна: 1) 0,1 и 0,05 Гр; 2) 10,0 и 75,0 мГр.

II. Индивидуальные задания по расчету мощности доз и эквивалентной (биологической) дозы ИИ

1. Определить мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в единицах СИ, если она равна: 1) 1,0 и 5,0 Р/ч; 2) 25,0 и 100 мР/ч.

2. Определить мощность поглощенной дозы рентгеновского излучения в рад/ч, если экспозиционная доза равна: 1) 3,0 и 15,0 Р/ч; 2) 100,0 и 50,0 мР/ч.

3. Определить мощность поглощенной дозы гамма-излучения в единицах СИ, если экспозиционная доза равна: 1) 1 и 5 Р/ч; 2) 15 и 5 кР/ч.

4. Определить мощность эквивалентной (биологической) дозы рентгеновского излучения, создаваемой в биологическом объекте, если экспозиционная доза равна: 1) 1,0 и 20,0 Р/ч; 2) 15,0 и 200,0 мкР/ч.

5. Рассчитать гамма-фон в Р/ч, если мощность экспозиционной дозы равна: 1) $2,58 \times 10^{-4}$ и $1,29 \times 10^{-3}$ А/кг; 2) $2,58 \times 10^2$ и $2,58$ А/кг.

6. Рассчитать мощность поглощенной дозы рентгеновского излучения в рад/ч, если мощность экспозиционной дозы равна: 1) $2,58 \times 10^{-4}$ и $1,29 \times 10^{-3}$ А/кг; 2) $2,58$ и $2,58 \times 10^2$ А/кг.

7. Рассчитать мощность поглощенной дозы в единицах СИ по данным задания 6.

8. Рассчитать мощность эквивалентной дозы гамма-облучения, создаваемой в биологическом объекте по данным задания 6.

9. Вычислить уровень радиации на местности в Р/ч, если мощность поглощенной дозы равна: 1) $1,0$ и $50,0$ рад/ч; 2) $10,0$ и 40 мрад/ч.

10. Вычислить мощность поглощенной дозы в единицах СИ, если она равна: $1,0$ и $40,0$ рад/ч, $18,0$ и $250,0$ мрад/ч.

11. Рассчитать уровень гамма-фона в единицах СИ, если мощность поглощенной дозы равна: 1) $1,0$ и $20,0$ рад/ч; 2) $10,0$ и $40,0$ мрад/ч.

12. Рассчитать мощность эквивалентной дозы в бар/ч, создаваемую гамма-излучением в биологическом объекте, если мощность поглощенной дозы равна: 1) $1,0$ и $200,0$ рад/ч; 2) $25,0$ и $5,0$ мрад/ч.

13. Вычислить уровень радиации в Р/ч, если мощность поглощенной дозы равна: 1) $1,0$ и $0,2$ Гр/ч; 2) $10,0$ и $0,1$ мГр/ч.

14. Вычислить мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в единицах СИ, если мощность поглощенной дозы равна: 1) $1,0$ и $0,2$ Гр/ч; 2) $10,0$ и $0,1$ мГр/ч.

15. Определить мощность поглощенной дозы в рад/ч, создаваемой гамма-излучением в биологических тканях, если она равна: 1) $1,0$ и $0,2$ Гр/ч; 2) $10,0$ и $0,1$ мГр/ч.

16. Вычислить мощность эквивалентной дозы в бэр/ч рентгеновского излучения, создаваемой бета-излучением, если она равна: 1) $1,0$ и $0,2$ Гр/ч; 2) $10,0$ и $0,1$ мГр/ч.

17. Рассчитать эквивалентную дозу в бэрах, полученную организмом при гамма-облучении, если экспозиционная доза равна: 1) $1,0$ и $25,0$ Р; 2) $100,0$ и $25,0$ мР.

18. Рассчитать эквивалентную дозу в бэрах, полученную животным при гамма-облучении, если поглощенная доза равна: 1) $0,5$ и $5,0$ рад; 2) $10,0$ и $25,0$ мрад.

19. Рассчитать эквивалентную дозу в бэрах, полученную биологическим объектом при нейтронном облучении, если поглощенная доза равна: 1) $0,5$ и $5,0$ Гр; 2) $10,0$ и $25,0$ мГр.

20. Рассчитать эквивалентную дозу в бэрах, полученную биологическими тканями при альфа-облучении, если поглощенная доза равна: 1) $0,5$ и $5,0$ рад; 2) $10,0$ и $25,0$ мрад.

21. Рассчитать эквивалентную дозу в зивертах, полученную биологическим объектом при гамма-облучении, если поглощенная доза равна: 1) 0,5 и 5,0 рад; 2) 0,1 и 0,4 крад.

22. Вычислить эквивалентную дозу в единицах СИ, полученную животным при облучении быстрыми нейтронами, если поглощенная доза равна: 1) 0,5 и 5,0 рад; 2) 0,1 и 0,4 крад.

23. Вычислить эквивалентную дозу в единицах СИ, полученную животным при облучении медленными нейтронами, если поглощенная доза равна: 1) 0,1 и 10,0 Гр; 2) 10,0 и 200,0 мГр.

24. Вычислить эквивалентную дозу в единицах СИ, полученную животным при облучении медленными нейтронами, если поглощенная доза равна: 1) 0,1 и 10,0 Гр; 2) 10,0 и 200,0 мГр.

25. Вычислить суммарную эквивалентную дозу, полученную биологическим объектом от смешанного источника излучения, если поглощенные дозы составили:

1) от гамма-излучения – 10 рад, бета-излучения – 1 рад, альфа излучения – 1 рад, быстрых нейтронов – 10 рад;

2) от бета излучения – 10 Гр, альфа-излучения – 1 Гр, гама-излучения – 10 Гр, медленных нейтронов – 10 Гр.

Контрольные вопросы:

1. Что такое дозиметрия?
2. Каковы задачи дозиметрии?
3. Что характеризует экспозиционная доза облучения?
4. Какое понятие используется для определения эффекта облучения в живых организмах?
5. Что такое мощность дозы? Какова мощность экспозиционной дозы?
6. Что называют относительной биологической эффективностью (ОБЭ) или коэффициентом качества (КК)?
7. Что происходит, если биологический объект облучается различными видами излучения?

ЗАНЯТИЕ 2

ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Цель: изучить основные нормативные документы в области радиационной безопасности, предельно-допустимые дозы облучения людей при внешнем и внутреннем воздействии излучения, классификацию критических органов. Ознакомиться с методами дозиметрического контроля, знать их сущность.

Вид контроля: устный опрос.

Основными регламентирующими документами в области радиационной безопасности являются Федеральные законы «О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии». На основе указанных законов разработаны и утверждены «Нормы радиационной безопасности НРБ-96, ГН 2.6.1.064-96», регламентирующие требования законов.

В мирное время все население подразделяется на три категории:

категория А – персонал, постоянно или временно работающий с техногенными источниками излучения;

категория Б – ограниченная часть населения, проживающая вблизи санитарно-защитной зоны учреждений и предприятий, использующих источники излучения, или находящиеся в смежных помещениях;

категория В – все население страны, которое не входит в первые две категории.

1. Понятие о предельно-допустимых дозах облучения (ПДД)

Предельно-допустимой дозой облучения (для населения категории А) или **пределом дозы** (для населения категории Б) называется такая доза, которая не вызывает соматических и генетических изменений и нарушений в организме в свете современных научных знаний.

Различают облучение внешнее и внутреннее (инкорпорированное). При **внешнем облучении** источник ионизирующего излучения находится во внешней среде, при этом возможно общее облучение (целого организма) или отдельных частей организма (фрагментарное облучение). При **внутреннем** (инкорпорированном) **облучении** радиоактивные вещества (источники ионизирующего излучения) поступают в биологические объекты через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания, кожу и слизистые оболочки и распределяются по принципу тропности по отдельным органам или по всему организму равномерно, оказывают биологический эффект.

При расчете допустимых доз внутреннего облучения, в зависимости от типа распределения РВ и в порядке убывания радиочувствительности, установлены три группы критических органов:

1-я группа (высокочувствительные органы) – все тело, половые железы – гонады, красный костный мозг;

2-я группа (средней чувствительности) – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, желудочно-кишечной тракт, селезенка, печень, почки, легкие, хрусталик.

3-я группа (наименее чувствительные) – кожа, костная ткань, кисти рук, предплечья, стопы ног.

Критическим органом называется орган (ткань), в котором происходит наибольшее накопление радиоизотопов и который подвергается наибольшему облучению и повреждению.

С учетом этого установлены основные дозовые пределы для трех категорий облучаемых лиц (табл. 1)

Таблица 1

Основные дозовые пределы

Нормируемая величина	Пределы доз	
	персонал (группа А)	население (группа В)
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза:		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
в коже	500 мЗв	50 мЗв
в кистях рук	500 мЗв	50 мЗв

Примечание. Дозы облучения, как и все относительно допустимые производные уровни для персонала категории Б, не должны превышать 1/4 (25%) значений для персонала группы А.

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

Указанные дозы внешнего и внутреннего облучения не включают и не учитывают дозы, полученные при диагностических и терапевтических процедурах, а также дозу от естественного радиоактивного фона излучения.

На территории нашей страны естественный фон внешнего излучения составляет 4-40 мкР/ч или 40-400 мР/год.

Согласно НРБ-96, разрешается планируемое повышенное облучение при ликвидации радиационных аварий.

Допустимые дозы облучения в военное время: при однократном облучении 50 Р (в первые 4 суток после ядерного взрыва); при многократном облучении в течение 1 месяца – 100 Р; при многократном облучении в течение 3-х месяцев – 200 Р; при многократном облучении в течение 1 года – 300 Р.

Основные методы защиты от воздействия ионизирующего излучения:

Защита временем – нормируется и ограничивается время работы с источниками ионизирующего излучения.

Защита расстоянием – доза облучения уменьшается на величину, равную квадрату расстояния от источника ИИ до облучаемого объекта.

Использование индивидуальных средств защиты (респираторы, противогазы, комбинезоны, халаты, рукавицы, защитные очки) и специального оборудования (ручные захваты, манипуляторы, боксы) при работе с источниками ИИ.

2. Методы дозиметрического контроля

Радиоактивные излучения не воспринимаются органами чувств, но могут быть обнаружены (детектированы) при помощи специальных приборов – детекторов, работа которых основана на физико-химических эффектах, возникающих при взаимодействии ИИ с веществом.

Фотографический метод

Для измерения излучения используют фотопленку в светонепроницаемой кассете. При воздействии излучения на фотопленку происходят фотохимические изменения, выделяется серебро, входящее в состав фотоэмульсии. После проявления фотопленки в местах воздействия излучения наблюдается почернение различной степени в зависимости от дозы облучения, которая определяется путем сравнения с эталоном. В биологии на основе фотографического метода используется специальный метод – *метод автордиографии*.

Люминесцентный метод

Работа таких дозиметров основана на использовании специальных люминесцентных веществ, запаянных в стеклянную ампулу. Эти вещества под воздействием ИИ способны накапливать энергию возбуждения, которая выделяется в виде света при дополнительном освещении (явление сцинтилляции) и сохранять ее. По яркости вспышки люминесцентного вещества судят о величине дозы облучения. На основе этого разработаны сцинтилляционные счетчики для регистрации ионизирующего излучения.

Ионизационные камеры

Доза облучения измеряется с помощью ионизационных камер, которая представляет собой заполненную воздухом или газом полость, в которой находятся два электрода (ДК-0,2, КИД-1, ДП-22В, ДП-24 и др.) На эти электроды подается напряжение с помощью зарядного устройства. После зарядки прибор помещается в карман и человек отправляется в зону облучения.

Принцип работы ионизационной камеры основан на том, что под воздействием рентгеновского или гамма-излучения происходит ионизация

атомов и молекул воздуха или газа, в результате происходит снижение первоначально поданного напряжения. Определение разности потенциалов на электродах дает величину полученной дозы облучения.

На этом же принципе основаны работы пропорциональных счетчиков (САТ-7 и САТ-8 – счетчик альфа-частиц торцового типа), счетчики Гейгера-Мюллера (внутренний объем заполнен инертным газом при пониженном давлении), галоидные счетчики (к инертным газам внутри счетчика добавляются галоиды – Cl_2 , Br_2 , I_2) – СИ-1Г, СБТ, СИ-ЗБГ, СИ-1БГ и др.

Полупроводниковый метод

Физические процессы взаимодействия ядерного излучения с веществом (ионизация и возбуждение атомов и молекул) в газе и твердом теле в принципе не различаются. Однако тормозная способность ИИ во много раз превосходит тормозную способность газов. Поэтому пробег заряженных частиц в газе примерно в 1000 раз больше их пробега в твердом теле.

Замена газа в детекторах на твердое тело дает ряд преимуществ при регистрации излучения. Ионизационные камеры с «твердым» наполнителем имеют высокую эффективность и очень компактны по своим размерам. Чаще всего полупроводниковая ионизационная камера изготавливается из кремния и германия.

Калориметрический метод

Метод основан на том, что энергия излучения, поглощенная веществом, превращается в тепло. Количество тепла измеряют с помощью специальных приборов, которые называются **калориметрами**. Этот метод используется для измерения очень больших доз излучения (млн. Р).

Колориметрический метод

Метод основан на изменении цвета некоторых прозрачных пластмасс (полистирол) и сортов стекол (фосфатные, активизированные серебром). Они изменяют цвет под действием излучения. Интенсивность цвета (окраски) имеет прямую зависимость от дозы облучения.

Химический метод

Излучения, воздействуя на вещества, вызывают образование химически активных атомов и радикалов. Определение величины излучения производится по количеству продуктов химических реакций.

На этом принципе основана работа ферросульфатного дозиметра. В нем используются соли двухвалентного железа (ферросульфатный детектор) или соли церия (цериевый детектор). В процессе облучения в растворе накапливаются ионы трехвалентного железа или церия. В результате изменяется окраска раствора, по интенсивности которой определяют дозу облучения.

Контрольные вопросы

1. Что такое критические органы?
2. Каковы группы критических органов?
3. Принцип работы ионизационной камеры.
4. Что считают предельно-допустимой дозой облучения?
5. Какие методы дозиметрического контроля вы знаете?

ЗАНЯТИЕ 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель:

1. Изучить закономерности распространения ионизирующих излучений и их взаимодействие с веществами.
2. Научиться определять путем вычисления дозы, полученные организмом при внутреннем облучении.

Вид контроля:

- устный опрос студентов;
- практическая работа по вычислению доз облучения.

При авариях на предприятиях атомной промышленности и в учреждениях, использующих радиоактивные вещества, различные радиоизотопы могут попасть в организм человека и животных через органы пищеварения, дыхания и кожу. Во всех случаях поступления РВ в организме создается опасность лучевого поражения.

При проведении контроля степени облучения сельскохозяйственных животных необходимо определять дозы внутреннего облучения, это позволяет проводить количественную и качественную оценку состояния здоровья животных, а также выявить и предупредить возможные лучевые поражения. Определить дозу, полученную в результате внутреннего облучения, можно только расчетным путем.

Необходимо учитывать следующие закономерности:

1. Радиоактивные изотопы, попадающие в организм, будут облучать его в течение всего времени нахождения в нем. Время нахождения радиоизотопа в организме определяется его эффективным периодом полувыведения – $T_{эфф.}$, который вычисляется по формуле:

$$T_{эфф.} = T_{физ.} \times T_{биол.} / T_{физ.} + T_{биол.} \quad (1)$$

$T_{эфф.}$ показывает, за какое время количество радиоизотопов уменьшается в организме наполовину, в два раза; она зависит от периода полураспада радиоизотопа ($T_{физ.}$) и периода полувыведения из организма ($T_{биол.}$), т.е. времени, за которое выводится половина количества изотопа с экскрементами, потом и другими путями.

2. Радиоактивные вещества, попавшие в организм, вступают в химические соединения с различными веществами его тканей. Изотопы йода входят в состав гормонов щитовидной железы, а стронция и цезия, калия в состав костной ткани и мышц.

3. Радиоизотопы накапливаются в чувствительных к излучению и важных для жизнедеятельности органах и тканях организма, которые называются **критическими**. Например: изотопы йода концентрируются в щитовидной железе; изотопы стронция, фосфора, кальция – в костях; цезия – в

мышцах, полония – в почках и т.д. Инкорпорированные радиоизотопы, облучая органы и ткани, создают дозу внутреннего облучения.

4. При внутреннем облучении необходимо учитывать коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ) различных видов излучения. Наибольшую опасность или радиотоксичность при внутреннем облучении представляют альфа-излучающие изотопы полония-210, свинца-210, плутония-239 и другие, которые вызывают очень большую плотность ионизации тканей.

5. Поглощенная доза облучения при внутреннем воздействии прямо пропорциональна концентрации изотопа в органах и тканях организма.

Поглощенная доза за счет гамма-излучения, накапливающаяся от момента поступления изотопа до полного его распада, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$D_g = 0,032 \times K_g \times A \times T_{эфф.}, \quad (2)$$

а на момент времени t по формуле:

$$D_g = 0,032 \times K_g \times A \times T_{эфф.} \times (1 - e^{-0,693 \times t / T_{эфф.}}), \quad (3)$$

где D_g – поглощенная доза облучения, рад;

0,032 – постоянный расчетный коэффициент поглощенных доз;

K_g – гамма-постоянная радиоизотопа;

A – количество радиоизотопа в ткани, мКи;

$T_{эфф.}$ – эффективный период полувыведения радиоизотопа из организма или органа;

E – основание натуральных логарифмов ($E = 2,72$).

Поглощенная доза за счет бета-излучения, накапливающаяся от момента поступления радиоизотопа до полного его распада, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$D_b = 73,8 \times A \times E_b \times T_{эфф.}, \quad (4)$$

а на момент времени t по формуле:

$$D_b = 73,8 \times A \times E_b \times T_{эфф.} \times (1 - e^{-0,693 \times t / T_{эфф.}}), \quad (5)$$

где D_b – поглощенная доза облучения, рад;

73,8 – постоянный расчетный коэффициент поглощенных доз;

A – количество радиоизотопа в ткани, мКи;

E_b – средняя энергия бета-частиц, Мэв;

$T_{эфф.}$ – эффективный период полувыведения радиоизотопа из организма.

Поглощенная доза за счет альфа-излучения, накапливающаяся от момента поступления изотопа до полного распада, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$D_a = 73,8 \times A \times E_a \times T_{эфф.} \times КК (ОБЭ), \quad (6)$$

а на момент времени t по формуле:

$$D_a = 73,8 \times A \times E_a \times T_{эфф.} \times КК \times (1 - e^{-0,693 \times t / T_{эфф.}}), \quad (7)$$

где D_a – поглощенная доза облучения, бэр;

A – количество радиоизотопа в ткани, мКи;

E_a – энергия альфа-частиц, Мэв;

КК(ОБЭ) – относительная биологическая эффективность излучения.

$T_{эфф.}$ – эффективный период полувыведения радиоизотопа.

Если организм одновременно подвергается внутреннему облучению различными видами облучения, то рассчитанные дозы от каждого вида суммируются.

Показатель степени $(-0,693 \times t/T_{эфф.})$ основания натуральных логарифмов e вычисляется, а затем находят значение e по специальным таблицам значений функций e^x и e^{-x} (Приложение 2).

Задание. Вычислить поглощенные дозы облучения по вариантам. Данные оформить в виде таблицы 11.

Таблица 11

Расчет поглощенных доз облучения РВ

Радиоизотоп	Количество радиоизотопа	Вид излучения	Гамма-постоянная или энергия излучения	Критич. орган	$T_{эфф.}$ сут.	Доза бэр
			макс. сред			

Варианты задач

Au-198	1 мКи	гамма	$K=2,3$	все тело	2,6	
Po-210	1 мКи	альфа	$E=5,3$	все тело	25,0	
P-32	1 мКи	бета	$E=1,73$	все тело кости	13,5 14,1	
Co-60	1 мКи	гамма	$K=12,9$	все тело	9,5	
Po-210	1 мКи	альфа	$E=5,3$	почки	46,0	
S-35	1 мКи	бета	$E=0,17$	все тело кожа	44,3 82,4	
Cs-137	1 мКи	гамма	$K=3,1$	все тело	70,0	
Po-210	1 мКи	альфа	$E=5,3$	селезенка	42,0	
Ba-140	1 мКи	бета	$E=1,02$	все тело мышцы	10,07	
I-131	1 мКи	гамма	$K=2,3$	все тело	7,6	
Po-210	1 мКи	альфа	$E=5,3$	печень	32,0	
Ce-144	1 мКи	бета	$E=0,32$	все тело кости	191,0 243,0	
Na-24	1 мКи	гамма	$K=18,5$	все тело	0,6	
Po-210	1 мКи	альфа	$E=5,3$	кости	20,0	
Ru-106	1 мКи	бета	$E=3,7$	все тело кости	7,2 15,0	

Контрольные вопросы

1. Задачи и значение определения и расчета поглощенных доз облучения расчетным методом.

2. Основные закономерности формирования поглощенных доз облучения, которые необходимо учитывать при внутреннем облучении организмов.

3. Основные формулы, используемые в радиобиологии для расчета доз внутреннего облучения.

Контрольные вопросы

1. Как производится контроль степени облучения?
2. Какие меры необходимы при внутреннем облучении?
3. Поясните что такое поглощенная доза за счет бета-излучения.
4. Какие радиоизотопы называют критическими?
5. Как определить дозу, полученную в результате внутреннего облучения?

ЗАНЯТИЕ 4

РАДИОМЕТРИЯ

Цель занятия: изучить и освоить основные понятия радиометрии.

Вид контроля: устный опрос по контрольным вопросам.

1. Понятие радиоактивности и радиометрии

Радиоактивностью называется способность ядер атомов самопроизвольно превращаться в ядра других элементов с испусканием в окружающую среду энергии в виде того или иного вида ионизирующего излучения: гамма, бета, альфа, нейтронное, позитронное, электронное и др. **Радиоактивные превращения**, происходящие в природе без каких-либо внешних воздействий, называют **естественной радиоактивностью**. А **ядерные превращения**, возникающие под влиянием внешних факторов (нейтронное, альфа-, позитронное излучения) – **искусственной (наведенной) радиоактивностью**.

Радиометрией называется процесс измерения количества РВ и определение их концентрации в различных объектах исследования. Она позволяет проводить определение загрязнения РВ продуктов, сырья, кормов, воды, почвы, воздуха и других объектов окружающей среды.

2. Единицы измерения количества (активности) радиоактивных веществ

Мерой количества радиоактивных веществ является **активность** – число распада ядер атомов, происходящих самопроизвольно в единицу времени. Чем больше распадается ядер атомов данного РВ в единицу времени, тем больше его активность.

В Международной системе единиц СИ за единицу активности принят распад в секунду (расп/с), ему присвоено название беккерель (Бк), **1 Бк = 1 расп/с = $2,7 \times 10^{-11}$ Ки, 1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк**. Используются также десятичные кратные и дольные величины (Приложение 1, 3).

Единицей радиоактивности в системе СГС является **Кюри (Ки, Ci)**, **1 Кюри** – такое количество любого радиоактивного вещества, в котором происходит $3,7 \times 10^{10}$ превращений ядер атомов в секунду. Чаще используются дольные величины:

$$\text{мКи} = 2,22 \times 10^9 \text{ расп/мин} = 10^{-3} \text{ Ки} = 3,7 \times 10^7 \text{ расп/с};$$

$$\text{мкКи} = 2,22 \times 10^6 \text{ расп/мин} = 10^{-6} \text{ Ки} = 3,7 \times 10^4 \text{ расп/с};$$

$$\text{нКи} = 2,22 \times 10^3 \text{ расп/мин} = 10^{-9} \text{ Ки} = 3,7 \times 10 \text{ расп/с};$$

$$\text{пКи} = 2,22 \times 10 \text{ расп/мин} = 10^{-12} \text{ Ки} = 0,037 \text{ расп/с}.$$

Единица кюри для характеристики гамма-активности непригодна, для этой цели используется **эквивалент 1 мг радия (мг экв.радия)** – активность любого радиоактивного вещества, гамма-излучение которого создает такую же мощность экспозиционной дозы, как и гамма-излучение. 1 мг радия Государственного эталона радия при платиновом фильтре 0,5 мм создает в воздухе на расстоянии 1 см **мощность дозы 8,4 Р/ч** – и эта величина называется **ионизационной гамма-постоянной радия**

и обозначается **Kg**, с ней сравниваются гамма-постоянные всех других гамма-излучателей. Например: гамма-постоянная Co_{60} составляет 13,5 Р/ч, 1 мКи Co_{60} создает дозу излучения в 1,6 раза большую, чем 1 мКи радия ($13,5/8,4 = 1,6$).

Гамма-эквивалент любого изотопа **M** связан с его радиоактивностью **A** (мКи) через гамма-постоянную следующим образом:

$$M = A \times Kg/8,4; A = M \times 8,4/Kg.$$

С помощью этих формул можно сделать переход от активности РВ, выраженной в мг. экв. радия, к активности, выраженной в мКи, и наоборот.

3. Понятие физического периода полураспада радионуклидов

Период физического полураспада ($T_{\text{физ.}}$) – это время, в течение которого самопроизвольно распадается половина радиоактивного вещества, независимо от его количества, при этом через время T оно убывает в 2 раза. Период полураспада измеряется в секундах, минутах, часах, сутках, годах. У каждого радиоактивного изотопа свой строго определенный и постоянный период полураспада, он может быть от тысячных долей секунды до миллиона лет, например: период полураспада $U-235 = 7,1 \times 10^8$ лет, $Ra-226 - 1620$ лет, $J-131 - 8,1$ дня, $Na-24 - 15$ часов. (См. Приложение 4). У одного и того же элемента могут быть изотопы с различными периодами полураспада – $J-132 - 55$ часов, $J-125 - 60$ дней, $J-131 - 8,04$ дней.

В зависимости от этого показателя все изотопы подразделяются на короткоживущие ($T_{\text{физ.}}$ от секунд до дней), долгоживущие ($T_{\text{физ.}}$ годы и тысячелетия). Скорость распада не зависит от места нахождения РВ, ее невозможно изменить никакими факторами. Чем короче период полураспада изотопа, тем выше его радиоактивность и наоборот.

Например:

$U-235 T_{\text{физ.}} = 7,1 \times 10^8$ лет, 1 г = 0,3 мКи, 1 т = 1 Ки;

$Ra-226 T_{\text{физ.}} = 1620$ лет, 1 г = 1 Ки;

$J-131 T_{\text{физ.}} = 8,1$ дней, 1 г = 10^3 Ки, 1 мкг = 1 Ки.

С радиоактивностью связано понятие **радиотоксичности**.

Радиотоксичность – способность инкорпорированных (внедренных) в организм биологических объектов радиоактивных веществ вызывать тот или иной повреждающий биологический эффект.

Наибольшую радиотоксичность при попадании внутрь организма будут иметь радиоизотопы с малым периодом полураспада. Высокой радиотоксичностью для животных и человека обладают $J-131$, $Cs-137$, $Sr-90$.

Задание 1. Вычислить радиоактивность с помощью таблиц значений показательных функций e^x и e^{-x} (Приложение 2).

Для определения количества (активности) любого изотопа для любого момента времени t существует формула:

$$At = A_0 \times e^{-0,693 \times \frac{t}{T}}, \quad (1)$$

где At – активность изотопа на данный момент времени;

A_0 – начальная, исходная активность изотопа;
 e – основание натуральных логарифмов равно $2,72$;
 $0,693$ – натуральный логарифм 2 ($\ln 2$);
 t – промежуток времени, в течение которого распадается изотоп;
 T – период физического полураспада данного изотопа.

По этой формуле количество изотопа можно определять в любых единицах активности – Бк, Ки, имп/мин, имп/с. Период полураспада T и время t должны быть выражены в одинаковых единицах времени – с, мин, дни, год и т.д.

Сначала вычисляют величину показателя степени $0,693 \times t/T$, полученную величину обозначают X . При возведении в степень основания натуральных логарифмов пользуются таблицей значений e^x и e^{-x} (Приложение 2).

Задание 2. Вычислить радиоактивность с помощью таблиц И.Н.Верховской (Приложение 9).

В формуле 1 выражение e заменяется на коэффициент K , значения которого приведены в таблице И.Н.Верховской:

$$e^{-0,693 \times \frac{t}{T}} = K. \quad (2)$$

Для определения K нужно сначала определить отношение t/T , а затем по значению этого отношения найти коэффициент K (Приложение 9).

Для того, чтобы определить, сколько радиоизотопа останется, нужно начальную активность изотопа разделить на коэффициент K :

$$A_t = A_0 / K. \quad (3)$$

Для того, чтобы определить, сколько было радиоизотопа, нужно имеющуюся активность изотопа умножить на коэффициент K :

$$A_t = A_0 \times K. \quad (4)$$

Задания для самостоятельной работы. С помощью данных Приложения 9 решить следующие задачи:

1. 1 января 1989 года получен кобальт-60 в количестве 50 мКи. Определить, сколько этого радиоизотопа останется на 1 мая 1989 года, 1 февраля 1990 года, 1 января 1997 года.

2. На сегодняшний день активность йода-131 составляет 5 мКи. Определить, сколько этого радиоизотопа останется через 4, 20 и 56 суток, а также сколько его было 4, 20 и 56 суток тому назад.

3. Имеется радиоизотоп бром-82, его активность 1000 Бк. Рассчитать, какова будет его активность через 90 часов, 6 и 12 суток.

4. На 1 января активность йода-125 составляет 25 мКи. Вычислить, сколько этого радиоизотопа будет 1 апреля и 1 ноября данного года, а также сколько его было 6 месяцев и один год тому назад.

5. Для лечения больных поступило радиоактивное золото А-198 в количестве 0,1 мКи. Сколько этого радиоизотопа останется через 26 часов, 4 суток и 8 суток.

6. В хозяйстве имеется 5 ц грубого корма (сена). Сено загрязнено йодом-131 в количестве 20 мКи. Определить, сколько этого радиоизотопа останется в сене через 16, 24 и 32 дня и можно ли будет скармливать его мясному и молочному скоту и в каком количестве. (ПДУ загрязнения РВ в суточном

рационе: для молочных животных – 4 мККи, для мясных животных – 10 мККи).

7. В колхозе имеется комбикорм, загрязненный цезием-134 в количестве 1,5 мККи/кг. Определить, сколько цезия-134 останется в комбикорме через 2,5 месяца, 12 месяцев и 2 года и когда этот комбикорм можно будет скармливать мясным животным (ПДУ загрязнения комбикорма $0,8 \times 10^{-6}$ Ки/кг).

8. Мясо-баранина загрязнено калием-42 в количестве: 10 мККи/кг. Определить, какова степень загрязнения мяса будет через 1, 2, 3 и 4 суток.

9. Грубый корм (сено) загрязнено фосфором-32 в количестве 78 мККи/к. Определить, сколько радиофосфора было в сене 7 и 58 дней тому назад, а также сколько его будет через 29 и 115 дней.

10. На складе хранится 10 ц овечьей шерсти, загрязненной серой-35 в количестве 100 мКи. Вычислить, сколько в шерсти было радиосеры 175 и 218 дней тому назад и сколько останется ее через 175 и 218 дней.

11. Радиоактивный эталон, изготовленный из цезия-137, имеет активность 1 мКи. Определить, чему будет равна активность эталона через 1, 5 года, 6 лет, 15 лет и 27 лет.

12. На сегодняшний день загрязнение зернового корма рутением-106 составляет 5 мКи. Определить, сколько этого радиоизотопа останется через 15 суток, 2,5 месяца, 0,5 года, 1 год.

13. Во фляге 40 л молока, которое загрязнено натрием-24 в количестве 19800 Бк. Определить, сколько натрия-24 в молоке было 3 часа тому назад, сколько его будет через 6 часов и можно ли его использовать в пищу людям (ПДУ загрязнения РВ молока 375 Бк/л).

14. Туша говяжьего мяса массой 233 кг загрязнена цезием-134 в количестве 26 мККи. Определить, сколько радиоцезия останется в мясе через 60 дней, 8 месяцев и 1 год. Через какое время это мясо можно будет использовать без ограничения в пищу людям (ПДУ загрязнения мяса 8×10^{-8} Ки/кг).

15. Загрязнение кальцием-45 сгущенного молока составляет 0,5 мККи/кг. Определить, каково будет загрязнение молока этим радиоизотопом через 66 дней, 11 месяцев и 1 год 10 месяцев. Когда это молоко можно будет использовать в пищу людям (ПДУ загрязнения сгущенного молока 3×10^{-8} Ки/кг).

16. Комбикорм загрязнен цезием-143 в количестве 500 мККи/кг. Определить, сколько цезия-143 было в корме одни сутки тому назад и сколько его останется через 5, 10 и 14 суток.

17. Радиоактивный эталон, изготовленный из кобальта-60, имеет на сегодняшний день активность (угол $2\pi = 180^0$) 18000 расп/мин. Определить, какова была активность 2 года тому назад и чему она будет равна через 1 год, 5 лет и 6,5 года.

18. Для диагностических исследований получено радиоактивное железо-59, в количестве 2 мКи. Определить, сколько этого изотопа останется через 15 дней, 3 месяца и 1 год.

19. Радиоактивный эталон – цезий-137 на 1 января 1989 года имеет активность (при телесном угле $2\pi=180^\circ$) 1600 Бк. Определить, чему была равна активность эталона 2 года тому назад и чему она будет равна через 6 и 15 лет.

20. На сегодняшний день активность фосфора-32 составляет 100 Ки. Определить, сколько этого изотопа было 3 недели тому назад и чему будет равна его активность через 43 дня и 86 дней.

21. На сегодняшний день загрязнение корма барием-140 составляет 12 мКи/кг. Определить, сколько радиобария было в корме 2 недели тому назад и сколько его будет через 7 суток и 1,5 месяца.

22. Зерновой корм загрязнен полонием-210 в количестве 15 мКи/кг. Определить, сколько этого радиоизотопа останется через 70, 280 и 350 дней.

23. При закладке силоса зеленая трава была загрязнена сурьмой-124 в количестве 3 мКи/кг. Определить, сколько этого радиоизотопа останется в силосе через 6 и 10 месяцев.

24. Пастбищная трава загрязнена теллурием-127 в количестве 0,5 мКи/кг. Определить, сколько этого радиоизотопа останется через 1, 2, 6 и 12 месяцев.

Контрольные вопросы

1. Назвать единицы радиоактивности и соотношение между ними в разных системах (СИ, СГС).
2. Дайте определение понятию радиоактивность?
3. Что называется естественной радиоактивностью?
4. Что такое радиометрия?
5. Что является мерой количества радиоактивных веществ?
6. Объяснить, что такое $T_{\text{физ.}}$, короткоживущие и долгоживущие радионуклиды?
7. Что такое радиотоксичность? Какая взаимосвязь $T_{\text{физ.}}$ с радиотоксичностью?

ЗАНЯТИЕ 5

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ВНЕШНЕМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ

Цель: научиться вычислять дозы внешнего облучения расчетным методом.

Метод: расчетная работа по индивидуальным заданиям на занятии, самостоятельная работа на дому.

Время: 80 минут.

Виды контроля:

- устный опрос по теоретической части работы;
- сдача самостоятельной работы студентом преподавателю.

При проведении контроля степени облучения сельскохозяйственных животных необходимо определять дозы внешнего облучения. Это можно делать с помощью дозиметрических приборов, но дозу можно определить и путем вычисления. В основе расчетных методов определения доз облучения лежат закономерности взаимодействия ионизирующих излучений с веществом.

Вычисление доз облучения при внешнем гамма-облучении

Доза облучения прямо пропорциональна мощности дозы облучения и времени его воздействия:

$$D = P \times t, \quad (1)$$

где D – доза облучения;

P – мощность дозы облучения;

t – время облучения.

Доза облучения от внешних точечных источников прямо пропорциональна времени и мощности дозы облучения и обратно пропорциональна квадрату расстояния до него:

$$D = P \times t / R^2, \quad (2)$$

где R – расстояние до источника излучения, см;

D – доза облучения, Р;

P – мощность дозы излучения, Р/ч;

t – время облучения, часы.

Существует взаимосвязь между активностью (A) радиоактивных веществ и мощностью дозы излучения, создаваемой их гамма-излучением. Поэтому в формуле 2 мощность дозы излучения (P) можно заменить выражением ($P = K \times A$) и формула примет вид:

$$D = K \times A \times t / R^2, \quad (3)$$

где D – доза облучения, Р;

K – гамма-постоянная данного радиоизотопа ($P \times \text{см}^2/\text{ч} \times \text{мКи}$);

A – активность данного радиоизотопа, мКи;

t – время облучения, часы;

R – расстояние до источника излучения, см.

Доза облучения может быть уменьшена с помощью поглощения излучения материалами защитных экранов. При использовании защитных экранов в знаменатель формул 1, 2, 3 должен быть введен коэффициент ослабления ($K_{осл.}$). Значение этого коэффициента зависит от вида излучения, его энергии, материала экрана и толщины. Для гамма-излучения его можно рассчитать по следующей формуле:

$$K_{осл.} = 2 \times h/d_{пол.}, \quad (4)$$

где $K_{осл.}$ – коэффициент ослабления излучения, (см. табл. 2);

h – толщина защитного слоя материала, см;

$d_{пол.}$ – слой половинного ослабления материала, см, т.е. такая толщина слоя материала, которая ослабляет интенсивность излучения в 2 раза.

Таблица 2

**Средние значения коэффициента ослабления дозы радиации ($K_{осл.}$)
укрытия и транспортом**

Наименование укрытий и транспортных средств	$K_{осл.}$
Открытое расположение на местности	1
Открытие щели	3
Производственные одноэтажные здания (цех) (коровник, свинарник кирпичный без перекрытия)	7
Коровник, свинарник кирпичный с ж/б перекрытием	12,5
<i>Жилые каменные дома</i>	
Одноэтажные	10
Подвал одноэтажного каменного дома	40
Двухэтажные	15
Подвал двухэтажного каменного дома	100
<i>Жилые деревянные дома</i>	
Одноэтажные	2
Подвал одноэтажного деревянного дома	7
Погреб	20

Пользуясь этими тремя основными закономерностями, защиту от облучения можно проводить следующими методами:

1. Защита временем. В зоне облучения следует находиться минимальное время.

2. Защита расстоянием. Следует находиться от источника излучения на максимальном расстоянии.

3 Защита экранами. Следует использовать защитные средства из различных материалов (оргстекло, дерево, кирпич, бетон, свинец, резина).

**Самостоятельная работа по вычислению
поглощенных доз облучения
при внешнем гамма-облучении организма**

Для расчета доз облучения от внешних гамма-источников используют следующую формулу:

$$D = 0,93 \times K \times A \times t/R^2, \quad (5)$$

где D – доза облучения, рад;

K – гамма-постоянная гамма-излучателя (табл. 2);

A – количество радионуклида, мКи;

t – время облучения, часы;

R – расстояние до источника, см;

0,93 – коэффициент перевода рентгена в рад.

Таблица 3

Гамма-постоянные (K_g) радионуклидов

№ п/п	Радионуклид	K_g	№№ п/п	Радионуклид	K_g
1	⁷ B (бериллий)	0,3	17	⁹² St (стронций)	6,6
2	²² Na (натрий)	11,9	18	¹⁰⁵ Ag (серебро)	6,7
3	Mg (магний)	7,7	19	¹²⁴ Sb (сурьма)	9,6
4	⁴⁷ Ca (кальций)	5,5	20	¹²⁵ Sn (олово)	2,0
5	⁵¹ Cr ([хром)	0,5	21	¹³¹ I (йод)	2,1
6	⁵⁴ Mn (марганец)	4,7	22	¹³² I (йод)	11,5
7	⁵⁹ Fe (железо)	6,2	23	¹³⁴ Cs (цезий)	8,7
8	⁵⁸ Co (кобальт)	5,5	24	¹³⁷ Cs (цезий)	3,5
9	⁶⁰ Co (кобальт)	12,9	25	¹³⁵ Ba (барий)	1,7
10	⁵⁶ Ni (никель)	9,4	26	¹⁴⁰ Ba (барий)	1,2
11	⁶⁷ Cu (медь)	0,5	27	¹⁴⁰ Zr (лантан)	11,4
12	⁶² Zn (цинк)	1,8	28	¹⁴¹ Ce (церий)	0,3
13	⁶⁵ Zn (цинк)	3,0	29	¹³² Te (теллур)	1,8
14	⁷⁴ As (мышьяк)	4,4	30	¹⁸⁷ W (вольфрам)	2,8
15	⁸² Br (бром)	14,5	31	²⁰³ Hg (ртуть)	1,2
16	⁸⁴ Rb (рубидий)	4,5	32	²⁴⁹ Cf(калифорний)	1,9

Задания

1. Для самостоятельной работы начертить в рабочей тетради таблицу 4.

Таблица 4

Расчет доз при внешнем гамма-облучении

Радиоизотоп	К-во изотопа	Доза за 1 час на расстоянии от источника, рад		Доза за 1 сутки на расстоянии от источника, рад	
		1 см	10 см	0,5 м	1 м
1.	1 мКи				
	0,1 мКи				
2.	1 мКи				
	0,1 мКи				

2. По индивидуальным заданиям (по данным табл. 3) вычислить дозы внешнего облучения от точечного внешнего источника, данные занести в таблицу.

Контрольные вопросы:

1. Что такое доза, мощность дозы облучения ИИ? Формулы для их расчета.
2. Какими методами можно проводить защиту от облучения?
3. Объяснить сущность методов защиты биологических объектов (человека, животных) от ИИ.
4. Как вычисляется доза облучения при внешнем гамма-облучении?

ЗАНЯТИЕ 6

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Цель занятия: ознакомить студентов с определением удельной радиоактивности экспресс-методами.

Время: 90 минут.

Вид контроля: устный опрос по контрольным вопросам.

При применении противником ядерного и термоядерного оружия, а также при аварийных ситуациях на предприятиях, использующих РВ, может возникнуть необходимость быстрого определения радиоактивности загрязнения различных объектов. В таких случаях и будут применяться экспресс-методы определения удельной радиоактивности продовольственных продуктов, любых видов кормов, воды.

Удельная радиоактивность экспресс-методом может быть определена с помощью рентгенметра СРП-68-01.

1. Определение удельной радиоактивности с помощью рентгенметра СРП-68-01

Это геологоразведочный прибор, предназначенный для поиска руд по их гамма-излучению. Прибор широко применялся при ликвидации последствий аварийного выброса Чернобыльской АЭС для определения степени загрязненности РВ животных, продуктов растительного и животного происхождения, кормов, воды и т.д.

Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения от 0 до 3000 мкР/ч и потока гамма-излучения в пределах от 0 до 10000 имп/с.

Метод определения удельной радиоактивности основан на соотношении показателей степени загрязнения РВ и мощности дозы излучения исследуемого объекта.

Порядок определения удельной радиоактивности

1. Определяют внешний гамма-фон. Для этого зонд прибора располагают горизонтально на высоте 0,7-1 м от поверхности земли. Для снижения радиоактивного фона, особенно в полевых условиях, измерения следует проводить с использованием свинцового экрана. Гамма фон не должен превышать 40 мкР/ч, иначе показания прибора будут неверными.

2. Удельную радиоактивность исследуемого объекта вычисляют по следующей формуле:

$$q = (P_{\text{общ.}} - P_{\text{фон.}}) \times K, \quad (1)$$

где $P_{\text{общ.}}$ – мощность дозы излучения исследуемого продукта и фона вместе в мкР/ч;

$P_{\text{фон.}}$ – мощность дозы излучения фона в мкР/ч;

K – коэффициент перевода мощности дозы излучения в удельную радиоактивность.

Коэффициент К зависит от вида объекта и его объема, установлен экспериментальным путем в связи с аварией на ЧАЭС.

Таблица 8

**Коэффициенты перевода (К) мощности дозы излучения (Р)
в удельную активность (q)**

Вид объекта	Чувствительность К при измерении мкР/ч		Примечание
	Ки/кг	Бк/кг	
Все продукты	$0,12 \times 10^{-7}$	$0,45 \times 10^3$	Сосуд Маринелли объемом 3 литра
Молоко	$0,21 \times 10^{-9}$	6,67	Объем более 1 м ³
Молоко	$0,12 \times 10^{-7}$	$0,45 \times 10^3$	Объем 1 литр
Животные, туши, полутуши	$0,40 \times 10^{-8}$	$0,15 \times 10^3$	Со свинцовым коллектором

При измерениях, проводимых в однолитровых банках, торец датчика должен находиться на расстоянии 2-3 см от дна банки, а в жидкие и сыпучие продукты зонд погружается на глубину 30-40 см (при измерении в цистернах, ларях и др.).

Измерение мощности дозы излучения туш, полутуш, животных проводится в области ягодичных мышц и мышц плеча у верхнего края средней части плечевой кости. Для расчета удельной радиоактивности берут среднюю величину измерений в указанных областях. Например: на месте проведения измерения $P_{\text{фон}} = 35$ мкР/ч.

Мощность дозы излучения от полутуши мяса $P_{\text{общ}}$ составляет 90 мкР/ч. Определить удельную радиоактивность мяса.

Решение: $q = (90 - 35) \times 0,4 \times 10^{-8} = 2,2 \times 10^{-7}$ Ки/кг.

Экспресс-метод определения удельной радиоактивности при помощи прибора СРП-68-01 не заменяет лабораторного исследования.

2. Определение удельной радиоактивности с помощью рентгенметра-радиометра типа ДП-5 (А,Б,В)

Этот метод используется для определения удельной радиоактивности веществ, находящихся в больших объемах и хранящихся на складах, в буртах, скирдах, зернохранилищах размерами не менее 1,5 м в каждом направлении (длина, ширина, высота), а для скирд и ометов не менее 3 метров.

Мощность дозы излучения измеряют на поверхности: при этом зонд прибора располагают на 1,0-1,5 см от исследуемой поверхности и на глубине объекта – для этого на конец зонда надевают острый металлический наконечник и погружают его в исследуемый объект. Измерение проводят в трех точках и берут среднюю величину. Удельная радиоактивность вычисляется по следующей формуле:

$$q = P \times K \text{ (мкКи/кг или мкКи/л)}, \quad (2)$$

где q – удельная радиоактивность объекта;

P – мощность дозы исследуемого объекта, Р/ч;

K – коэффициент перевода мощности дозы излучения в удельную радиоактивность.

Коэффициент K для продуктов, хранящихся на складах, в буртах, зернохранилищах, равен 1×10^3 и применим в течение года после ядерного взрыва.

По этой же формуле вычисляется удельная радиоактивность травы, зерна на корню, поверхности почвы, снега, и т.д. Для этого мощность дозы измеряют на высоте 1 м от исследуемой поверхности в 3-х точках на удалении 100-200 м друг от друга.

Коэффициент K для травы на корню равен 1×10^5 , для зерна на корню 2×10^4 , для почвы и снега 1×10^5 Ки/см². Эти коэффициенты применимы в течение 30 дней после ядерного взрыва.

3. Экспресс-методы прижизненного контроля радиоактивного загрязнения мышечной ткани животных с помощью рентгенметра-радиометра СРП-68-01

Метод может быть использован для определения объемной гамма-радиоактивности животного на скотоприемных пунктах, убойных площадках, мясокомбинатах.

Замеры радиоактивности проводятся в областях ягодичных мышц и мышц плеча у верхнего края средней части плечевой кости 2 раза, вычисляется средняя величина радиоактивного загрязнения, время замера не менее 30 секунд.

Порядок работы

1. Для измерения используется датчик, оборудованный защитным экраном из свинца длиной 100 мм и толщиной 10-12 мм.

2. Во избежание загрязнения РВ на датчик прибора надеть полиэтиленовый пакет.

3. Определить величину гамма-фона ($P_{\text{фон.}}$) в мкР/ч на месте контроля.

4. Замерить мощность дозы излучения в области ягодичных мышц и мышц плеча, найти среднюю величину мощности дозы излучения в мкР/ч. Датчик устанавливается на чистую от РВ поверхность животного.

5. Удельная радиоактивность мышечной ткани животного вычисляется по формуле:

$$q = 4,2 \times (P_{\text{общ.}} - 0,6 P_{\text{фон.}}) \times 10^{-9} \text{ Ки/кг.} \quad (3)$$

Например: мощность дозы излучения в области ягодичных мышц и составила 29 мкР/ч, а в области плечевых мышц 26 мкР/ч. Гамма-фон ($P_{\text{фон.}}$) на месте контроля животных составил 10 мкР/ч.

Средняя величина мощности дозы излучения $P_{\text{общ.}} = (29+26) / 2 = 27,5$ мкР/ч. Удельная радиоактивность мышц животных составляет:

$$q = 4,2 \times (27,5 - 0,6 \times 10) \times 10^{-9} = 9,0 \times 10^{-8} \text{ Ки/кг.}$$

В экспресс-методе прижизненного контроля радиоактивного загрязнения мышечной ткани животных используются следующие критерии:

а) для крупного рогатого скота:

если $R_{\text{общ.}} - 0,6 R_{\text{фон.}} =$ или < 17 мкР/ч, то $q = 8 \times 10^{-8}$ Ки/кг и менее – ткань «чистая»;

если $R_{\text{общ.}} - 0,6 R_{\text{фон.}} =$ или > 17 мкР/ч, то $> 8 \times 10^{-8}$ Ки/кг – ткань «грязная»;

б) для свиней:

если $R_{\text{общ.}} - 0,6 R_{\text{фон.}} =$ или < 7 мкР/ч, то ткань «чистая»

если $R_{\text{общ.}} - 0,6 R_{\text{фон.}} > 7$ мкР/ч, то ткань «грязная».

4. Экспресс-методы определения удельной радиоактивности с помощью лабораторных радиометров

Метод толстого слоя

Толстослойными пробами называются такие пробы, скорость счета которых не меняется при дальнейшем увеличении их толщины (свыше 6 мм). При этом используются подложки высотой 10-12 мм и диаметром 40 мм. Такая подложка заполняется на 1 мм до краев измельченным исследуемым продуктом без взвешивания и измеряется на радиометре ДП-100.

Картофель, овощи, фрукты, ягоды, пищевую зелень и т.п. промывают проточной водой. Мясо и рыбу моют, у рыбы удаляют чешую и внутренности. У колбасных изделий снимают оболочку, с сыра – слой парафина. Подготовленные продукты измельчают с помощью мясорубки, терки, кофемолки, ножницами или ножом в эмалированной кювете.

Для определения скорости счета на радиометре ДП-100 подложка с исследуемой пробой размещается на этажерку свинцового экрана на второй полке сверху. Удельная радиоактивность вычисляется по следующей формуле:

$$q = (N_{\text{общ.}} - N_{\text{фон.}}) \times K, \quad (4)$$

где q – удельная радиоактивность Ки/кл(л) или Бк/кг(л);

$N_{\text{общ.}}$ – скорость счета пробы и фона вместе, имп./мин;

$N_{\text{фон.}}$ – скорость счета фона, имп./мин;

K – коэффициент перевода скорости счета в удельную радиоактивность.

Коэффициент K для мяса и мясопродуктов, молока и молочных продуктов, рыбы, картофеля, хлеба и воды равен 1×10^3 Бк/кг или Бк/л; $2,8 \times 10^{-8}$ Ки/кг или Ки/л.

Для овощей, фруктов, ягод, зерна, крупяных культур и продуктов, комбикормов, сена $K = 5,4 \times 10^2$ Бк/кг или $1,4 \times 10^{-8}$ Ки/кг.

Например, скорость счета фона $N_{\text{фон.}} = 19$ имп/мин;
 $N_{\text{общ.}} = 182$ имп/мин.

$$q = (182 - 19) \times 1,4 \times 10^{-8} = 2,28 \times 10^{-6} \text{ Ки/кг.}$$

$$q = (182 - 19) \times 5,4 \times 10^2 = 8,8 \times 10^4 \text{ Бк/кг.}$$

Метод тонкого слоя

Применяется при определении удельной радиоактивности жидкостей – воды, молока, растворов, при этом используются подложки высотой 10-12 мм и диаметром 18 или 40 мм. В эти подложки вносят по 1 мл жидкости и определяют скорость счета в имп/мин на торцовых счетчиках типа МСТ-17,

БФЛ – 25 или других. Время счета 5 минут. Удельную радиоактивность вычисляют по следующей формуле:

$$q = N \times K, \quad (5)$$

где q – удельная радиоактивность, мкКи/кг(л);

N – скорость счета исследуемой пробы без фона в имп/мин;

K – коэффициент перевода скорости счета в удельную радиоактивность.

Таблица 9

**Значения коэффициента K в зависимости от расстояния
и диаметра подложки**

Расстояние от пробы до счетчика	Значение коэффициента K в мкКи/л или кг			
	счетчик МСТ-17		счетчик Т-25-ВФЛ	
	диаметр подложки		диаметр подложки	
	18 мм	40 мм	18 мм	40 мм
10	0,0025	-	0,0015	-
15	0,0045	0,007	0,002	0,003
20	0,007	0,009	0,003	0,0045
30	0,012	0,013	0,007	0,009

На основании радиометрических исследований составляется заключение, в нем указывается степень радиоактивного загрязнения исследуемых объектов, для этого ориентируются на предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения РВ различных объектов, утвержденные Минздравом и следующими нормативными документами:

1. Нормы радиационной безопасности НРБ 96. Они распространяются на все учреждения, министерства, ведомства и регламентируют уровень воздействия ИИ в мирное время.

2. «Временные допустимые уровни содержания РВ в продуктах и питьевой воде» и «Временно-допустимые уровни содержания РВ в кормах и суточном рационе сельскохозяйственных животных». Они устанавливаются на определенное время при авариях на предприятиях атомной промышленности.

3. Нормы зараженности РВ в военное время. Заключение о возможности и порядке использования продуктов животноводства и растениеводства дается по одному из следующих вариантов:

а) продукт можно использовать без ограничения, если количество РВ (удельная радиоактивность) не превышает ПДУ, установленного на данное время;

б) продукт условно годен и может быть использован в ограниченном количестве или после соответствующей переработки, или после определенного срока хранения. В результате этого количество РВ в продукте снижается. *Например:* удельная радиоактивность молока $1,5 \times 10^{-8}$ Ки/л, а ПДУ загрязнения для молока 1×10^{-8} Ки/л. *Заключение:* содержание РВ в молоке превышает ПДУ.

Рекомендуется переработать молоко на масло (количество РВ в масле снижается в 10 раз; при получении топленого масла РВ в нем практически нет);
в) продукт не годен для использования, если удельная радиоактивность превышает ПДУ.

Задание. Самостоятельно определить удельную радиоактивность мяса и молока методом толстого и тонкого слоя.

Контрольные вопросы

1. Дать понятие об экспресс-методах определения удельной радиоактивности.
2. Порядок определения удельной радиоактивности с помощью рентгенметров- радиометров ДП-5 и СРП-68-01.
3. Методы прижизненного контроля загрязнения РВ сельскохозяйственных животных.
4. Экспресс-методы определения удельной радиоактивности помощью лабораторных радиометров.
5. Порядок оформления заключения о пригодности продуктов и нормативная документация, используемая при этом.

ЗАНЯТИЕ 7

ПРОГНОЗ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННУЮ ПРОДУКЦИЮ

Цель: изучить методику прогноза поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, уметь составлять прогноз и дать рекомендацию по использованию сельскохозяйственной продукции.

Время: 90 минут, самостоятельная работа на дому для закрепления знаний.

Вид контроля: сдача индивидуального задания преподавателю.

Прогноз загрязнения растениеводческой продукции позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами угодьях, их размещение по полям севооборотов и отдельным участкам с учетом плотности загрязнения почв и возможности использования получаемой продукции.

Для прогнозирования поступления радионуклидов в корма и продукцию животноводства необходимо, прежде всего, установить, какими радионуклидами загрязнены воздух и территории сельскохозяйственных угодий и каковы плотность и равномерность этих загрязнений. Другие важнейшие показатели – биологическая доступность и способность радионуклидов мигрировать по пищевым цепочкам.

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции зависит как от плотности загрязнений, так и от типа почв, от их гранулометрического состава и агрохимических свойств. При повышении содержания в почве физической глины от 5 до 30 %, гумуса от 1 до 3, 5 % переход радионуклидов в растения снижается в 1,5-2 раза, по мере содержания в почве подвижных форм калия и фосфора от низкого (K_2O менее 100 мг/кг почвы) до оптимального (200-300 мг/кг) и изменения реакции почвы от кислой (рН 4,5-5,0) к нейтральной (рН 6,5-7,0) – в 2-3 раза (см. данные Приложений 7 и 8).

Еще в большей степени на накопление радионуклидов влияет режим увлажнения почвы. Минимальное накопление Cs-137 в многолетних травах обеспечивается при поддержании уровня грунтовых вод на глубине 90-120 см от поверхности осушенных торфяных и торфяно-глеевых почв. На переувлажненных песчаных и торфяных почвах высокая степень загрязнения кормов и молока наблюдается даже при относительно низких плотностях загрязнения Cs-137 (2-5 Ки/км²) и Sr-90 (0,3 – 1 Ки/км²). В то же время на окультуренных участках дерново-подзолистых суглинистых почв продукция с допустимым содержанием радионуклидов была получена при плотности загрязнения Cs-137 до 20-30 Ки/км². На переход Cs-137 из почвы в растение существенно влияет содержание в ней органического вещества. Поступление этого радионуклида в растения из торфяных почв превышает его поглощение из минеральных в несколько раз.

Сортовые различия в накоплении радионуклидов значительно меньше (до 1,5-3 раз).

Для прогноза накопления радионуклидов в продукции растениеводства используются:

а) коэффициенты перехода из почвы в урожай в расчете на 1 Ки/км^2 , которые дифференцированы в зависимости от типа и гранулометрического состава почв, содержания обменного калия и реакции почвенной среды (см. данные Приложений 7 и 8);

б) результаты агрохимического и радиологического обследований почв.

1. Определение уровня содержания радионуклидов с использованием коэффициента пропорциональности накопления в растениеводческой продукции

Для прогноза уровня загрязнения конкретной культуры радионуклидами цезия или стронция необходимо коэффициенты, рассчитанные для плотности загрязнения почв 1 Ки/км^2 (37 Бк/м^2), умножить на величину плотности фактической загрязненности почвы (формула 1):

$$A = B \times K \times 37, \quad (1)$$

где A – уровень загрязненности растениеводческой продукции, Бк/кг ;

B – плотность загрязнения почвы, Ки/км^2 ;

K – коэффициент пропорциональности (удельная радиоактивность 1 кг продукции при плотности загрязнения почв 1 Ки/км^2 , данные Приложений 6 и 7), нКи/кг ;

37 – коэффициент для перевода нКи в Бк .

Сопоставляя полученную величину с нормативной, определяем возможность использования корма.

Например: необходимо определить уровень радиоактивной загрязненности сена многолетнего злаково-бобового (по Cs-137) на дерново-подзолистой суглинистой почве. Плотность загрязнения почвы по данным радиохимических исследований равна 15 Ки/км^2 при содержании обменного калия 150 мг/кг почвы.

По данным Приложения 6, коэффициент пропорциональности равен $0,57 \text{ нКи/кг}$.

Решение: $A = 15 \text{ Ки/км}^2 \times 0,57 \times 37 = 316 \text{ Бк/кг}$.

Аналогично делают расчеты для прогноза содержания Sr-90 в сельскохозяйственных культурах с учетом уровня кислотности почв (Приложение 8).

2. Метод определения накопления Sr-90 в растениях с помощью комплексного показателя (КП) В.М.Клечковского

Для определения содержания Sr-90 в растениях пользуются формулой:

$$A = \text{КП} \times a/c, \quad (2)$$

где A – содержание Sr-90 в почве, с. Е. (стронц/единицы.);

c – содержание Ca на 100 г почвы, мг.экв. ;

a – плотность загрязнения почвы радионуклидом Sr-90 , мКи/км^2 или Бк/м^2 ;

КП – комплексный показатель В.М.Клечковского (табл. 12).

**Величина комплексного показателя (КП)
для сельскохозяйственной продукции**

Вид продукции	Значение КП	
	экстремальные	средние
Сено: естественных лугов	30-200	60
клевера	13-16	15
люцерны	11-14	12
Сил. культуры и солома	9-16	14
Зерно злак. и злак.-боб.	7-11	9

Одна стронциевая единица (1 с.е.) – отношение концентрации Sr-90 (пКи/кг продукции) к концентрации в нем кальция (г/кг). При поверхностном загрязнении естественных кормовых угодий Sr-90, равном 1 мКи/км² (37 Бк/м²), 1 кг сухого вещества естественных трав содержит 4,9 с.е., сеяных злаковых трав – 1,5 с.е., свеклы – 1,7 с.е., клубней картофеля – 1,56 с.е., а в 1 кг зерна пшеницы – 0,8 с.е. Sr-90.

Например: необходимо дать прогноз концентрации Sr-90 в сене клевера, если известно, что содержание Sr-90 в почве равно 40 мКи/км² (1480 Бк/м², а содержание обменного Са – 10 мг экв./100 г почвы.

Содержание Sr-90 в растениях составит:

$$A = 15 \times (40 \text{ мКи/км}^2 : 10 \text{ мг экв.}) = 60 \text{ с.е.}$$

Этот метод прогноза вполне удовлетворителен на пахотных землях с содержанием обменного Са от 4 до 25 мг экв./100 г почвы.

3. Определение содержания Sr-90 в растениеводческой продукции методом проростков (по Б.Н.Анненкову и Е.В.Юдинцевой)

Образцы почв берут с глубины пахотного слоя конкретного поля, тщательно перемешивают, затем на таком усредненном образце высевают проращенные семена. Через 20 дней надземную массу растений срезают на уровне почвы, промывают проточной водой, высушивают и в воздушно-сухом материале определяют содержание радионуклидов радиохимическим методом.

Коэффициенты пересчета содержания радионуклидов в 20-дневных растениях для прогноза загрязненности урожая

Cs-137			Sr-90		
культура	зерно, клубни	солома, ботва	культура	зерно, клубни	солома, ботва
Овес	0,20	0,45	Овес	0,050	0,70
Ячмень	0,20	0,50	Ячмень	0,035	0,50
Яр. пшеница	0,22	0,46	Оз. пшеница	0,060	0,60
Гречиха	0,21	0,39	Яр. пшеница	0,045	0,70
Вика	0,35	0,70	Горох	0,040	1,25
Картофель	0,56	0,70	Картофель	0,035	0,70

Примечание. Коэффициенты пересчета приведены в расчете на воздушно-сухую массу урожая.

4. Прогноз поступления радионуклидов в продукцию животноводства

Определяющим фактором для прогноза накопления радионуклидов в продукции животноводства является степень загрязнения кормов. Большое значение имеют биологическая доступность и способность радионуклидов мигрировать по пищевым цепочкам, характеризующаяся коэффициентами их перехода в корма и продукцию животноводства. Накопление радионуклидов в организме животных и получаемой от них продукции зависит также от вида, возраста, физиологического состояния животных, их продуктивности, типа рациона.

Прогноз содержания радионуклидов в продукции животноводства рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{прод.}} = A_{\text{рац.}} \times K_{\text{пер.}} / 100, \quad (3)$$

где $A_{\text{прод.}}$ – содержание радионуклидов в продукции, Бк/кг;

$A_{\text{рац.}}$ – активность или содержание радионуклидов в суточном рационе;

K – коэффициент перехода радионуклидов из рациона в 1 л (кг) продукции, в % от суточного поступления;

100 – процентный коэффициент.

С увеличением содержания клетчатки в рационе от 1,3 до 3,1 кг/сут. уменьшается коэффициент перехода Cs-137 от 0,9 до 0,6. В условиях содержания коров на малопродуктивном естественном пастбище с изреженным травостоем отмечается многократное повышение перехода радиоцезия в молоко.

Переход Sr-90 для взрослых жвачных животных из почвы в концентратный рацион в среднем составляет 0,8, в сенной рацион – 1,5-2,5. Содержание Sr-90 в мышцах животных, пользующихся концентратным рационом, в среднем в 4 раза меньше, чем у животных, получающих сенной рацион (см. данные табл. 14)

Таблица 14

Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (% на 1 кг продукта)

Вид продукции	Радионуклиды	
	¹³⁷ C	⁹⁰ Sr
Молоко коровье (в среднем за год)	0,62	0,14
В том числе в период: стойловый	0,48	0,14
	пастбищный	0,74
Говядина	4	0,04
Свинина	25	0,10
Баранина	15	0,10
Мясо кур	450	0,20
Яйцо	3,5	3.20

Таблица 15

Коэффициент накопления ¹³⁷Cs в организме животных в зависимости от их возраста и массы тела, % суточного поступления в расчете на 1 кг живой массы

Крупный рогатый скот			Свиньи		
возр., мес.	масса, кг	коэф. накопления	возр., мес.	масса, кг	коэф. накоплен
2-3	100	26,0	2	15	60,0
6-9	200	6,5	4	40	25,0
12-15	300	3,5	5	50	20,0
15-16	400	3,0	6	70	15,0
Взрослые	500	2,5	7	90	12,0
Взрослые	600	2,0	8	110	10,0

По уровню накопления Sr-90 в организме мясопродуктивные животные располагаются в следующем порядке: овцы – крупный рогатый скот – свиньи – куры (в убывающей последовательности).

Контрольные вопросы

1. Какие нормативно-технические документы используются при прогнозировании уровня содержания радионуклидов в продукции сельского хозяйства?

2. Перечислить и объяснить сущность методов прогнозирования содержания радионуклидов в растениеводческой продукции.

3. Перечислить и объяснить сущность методов прогнозирования содержания радионуклидов в животноводческой продукции.

4. Объяснить сущность методов прогнозирования поступления радионуклидов в корма: а) Cs-137; б) Sr-90.

5. Как можно снизить поступление радионуклидов Cs-137 в растениеводческую продукцию, от каких показателей почвы (физических, химических) зависит этот процесс?

6. Как можно снизить поступление радионуклидов Sr-90 в растениеводческую продукцию, от каких показателей почвы (физических, химических) зависит этот процесс?

**Основные физические величины, используемые
в радиационной биологии, и их единицы**

Физическая величина	Единица, ее наименование, обозначение (межд., русское)		Соотношение между единицами	
	внесистемная	системы СИ	внесис. и СИ	СИ и внесис.
Активность нуклида в радиоакт. источнике	кюри (Ci, Ки)	беккерель (Bq, Бк)	1 Ки= =3,7x10 ¹⁰ Бк	1 Бк= =2,7x10 ⁻¹¹ Ки
Экспозиционная доза излучения	рентген (R, P)	кулон на кг (C/kg, Кл/кг)	1 P= =2,58x10 ⁻⁴ Кл/кг	1 Кл/кг= =3876 P
Мощность экспозиционной дозы излучения	рентген в сек. (R/s, P/c)	ампер на кг (A/kg, А/кг)	1 P/c= =2,58x10 ⁻⁴ А/кг	1 А/кг= =3876 P/c
Поглощенная доза излучения	рад (rad, рад)	грей (Gy, Гр)	1 рад=0,01 Гр	1 Гр=100 рад
Мощность поглощенной дозы излучения	рад в секунду (rad/s, рад/с)	грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	1 рад/с= =0,01 Гр/с	1 Гр/с= =100 рад/с
Интегральная доза излучения	рад-грамм (rad × g рад × г)	джоуль (J, Дж)	1 рад × г= =0 ⁻⁵ Дж	1 Дж= =10 ⁵ рад × г
Эквивалентная доза излучения	бэр (rem, бэр)	зиверт (Sv, Зв)	1 бэр= =0,01 Зв	1 Зв= =100 бэр
Мощность эквив. дозы излучения	бэр в секунду (rem/s, бэр/с)	зиверт в сек. (Sv/s, Зв/с)	1 бэр/с= =0,01 Зв/с	1 Зв/с= =100 бэр/с

Таблица значений e^x и e^{-x}

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
0,00	1,0000	1,0000	0,40	1,4918	0,6703	0,80	2,2255	0,4493
0,01	1,0101	0,9900	41	1,5068	0,6637	81	2,2479	0,4449
02	1,0202	0,9802	42	1,5220	0,6570	82	2,2705	0,4404
03	1,0305	0,9704	43	1,5373	0,6505	83	2,2933	0,4360
04	1,0408	0,9608	44	1,5527	0,6440	84	2,3164	0,4317
0,05	1,0513	0,9512	0,45	1,5683	0,6376	0,85	2,3396	0,4274
06	1,0618	0,9418	46	1,5841	0,6313	86	2,3632	0,4232
07	1,0725	0,9324	47	1,6000	0,6250	87	2,3869	0,4190
08	0,0833	0,9231	48	1,6161	0,6188	88	2,4109	0,4148
09	1,0942	0,9139	49	1,6323	0,6126	89	2,4351	0,4107
0,10	1,1052	0,9048	0,50	1,6487	0,6065	0,90	2,4596	0,4066
11	1,1163	0,8958	51	1,6653	0,6005	91	2,4843	0,4025
12	1,1275	0,8869	52	1,6820	0,5945	92	2,5093	0,3985
13	1,1388	0,8781	53	1,6989	0,5886	93	2,5345	0,3946
14	1,1503	0,8694	54	1,7160	0,5827	94	2,5600	0,3906
0,15	1,1618	0,8607	0,55	1,7333	0,5769	0,95	2,5857	0,3867
16	1,1735	0,821	56	1,7507	0,5712	96	2,6117	0,3829
17	1,1853	0,8437	57	1,7683	0,5655	97	2,6379	0,3791
18	1,1972	0,8353	58	1,7860	0,5599	98	2,6645	0,3753
19	1,2092	0,8270	59	1,8040	0,5543	99	2,6912	0,3716
0,20	1,2214	0,8187	0,60	1,8221	0,5488	1,00	2,7183	0,3679
21	1,2337	0,8106	61	1,8404	0,5434	01	2,7456	0,3642
22	1,2461	0,8025	62	1,8589	0,5379	02	2,7732	0,3606
23	1,2586	0,7945	63	1,8776	0,5326	03	2,8011	0,3570
24	1,2712	0,7866	64	1,8965	5273	04	2,8202	0,3535
0,25	1,2840	0,7788	0,65	1,9155	0,5220	1,05	2,8577	0,3499
26	1,2969	0,7711	66	1,9348	0,5169	06	2,8864	0,3465
27	1,3100	0,7634	67	1,9542	0,5117	07	2,9154	0,3430
28	1,3231	0,7558	68	1,9739	0,5066	08	2,9447	0,3396
29	1,3364	0,7483	69	1,9937	0,5016	09	2,9743	0,3362
0,30	1,3499	0,7408	0,70	2,0138	0,4966	1,10	3,0042	0,3329
31	1,3634	0,7334	71	2,0340	0,4916	11	3,0344	0,3296
32	1,3771	0,7261	72	2,0544	0,4868	12	3,0649	0,3263

x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}
33	1,3910	0,7189	73	2,0751	0,4819	13	3,0957	0,3230
34	1,4049	0,7118	74	2,0950	0,4771	14	3,1268	0,3198

0,35	1,4191	0,7047	0,75	2,1170	0,4724	1,15	3,1582	0,3166
36	1,4333	0,6977	76	2,1383	0,4677	16	3,1899	0,3135
37	1,4477	0,6907	77	2,1598	0,4630	17	3,2220	0,3103
38	1,4623	0,6839	78	2,1815	0,4584	18	3,2544	0,3074
39	1,4770	0,6771	79	2,2034	0,4538	19	3,2871	0,3042

1,20	3,3201	0,3012	1,65	5,2070	0,1920	2,10	8,1662	0,1225
21	3,3535	0,2982	66	2,2593	0,1901	11	8,2482	0,1212
22	3,872	0,2952	67	5,3122	0,1882	12	8,3311	0,1200
23	3,4212	0,2923	68	5,3656	0,1864	13	8,4149	0,1188
24	3,4556	0,2894	69	5,4195	0,1845	14	8,4994	0,1177

1,25	3,4903	0,2865	1,70	5,4739	0,1827	2,15	8,5849	0,1165
26	3,5254	0,2837	71	5,5290	0,1809	16	8,6711	0,1153
27	3,5609	0,2808	72	5,5845	0,1491	17	8,7583	0,1142
28	3,5966	0,2780	73	5,6407	0,1773	18	8,8463	0,1130
29	3,6328	0,2753	74	5,6973	0,1755	19	8,9352	0,1119

1,30	3,6693	0,2725	1,75	5,7546	0,1738	2,20	9,0250	0,1108
31	3,7062	0,2698	76	5,8124	0,1720	21	9,1157	0,1097
32	3,7434	0,2671	77	5,8709	0,1703	22	9,2073	0,1086
33	3,7810	0,2645	78	5,9299	0,1686	23	9,2999	0,1075
34	3,8190	0,2618	79	5,9895	0,1670	24	9,3933	0,1065

1,35	3,8574	0,2592	1,80	6,0496	0,1653	2,25	9,4877	0,1054
36	3,8962	0,2567	81	6,1104	0,1637	26	9,5831	0,1044
37	3,9384	0,2541	82	6,1719	0,1620	27	9,6794	0,1033
38	3,9749	0,2516	83	6,2339	0,1604	28	9,7767	0,1023
39	3,0149	0,2491	84	6,2965	0,1588	29	9,8749	0,1013

1,40	4,0552	0,2466	1,85	6,3598	0,1572	2,30	9,9742	0,10026
41	4,0960	0,2441	86	6,4237	0,1557	31	10,074	0,09926
42	4,1371	0,2417	87	6,4883	0,1541	32	10,176	0,09827
43	4,1787	0,2393	88	6,5535	0,1526	33	10,278	0,09730
44	4,2207	0,2369	89	6,6194	0,1511	34	10,381	0,09623

1,45	4,2631	0,2346	1,90	6,6859	0,1496	2,35	10,486	0,09537
46	4,3060	0,2322	91	6,7531	0,1481	36	10,591	0,09442
47	4,3492	0,2299	92	6,8210	0,1566	37	10,697	0,09348

x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}
48	4,3929	0,2276	93	6,8895	0,1451	38	10,805	0,09255
49	4,4371	0,2254	94	6,9588	0,1437	39	10,913	0,09163

1,50	4,4817	0,2231	1,95	7,0287	0,1423	2,40	11,023	0,09072
51	4,5267	0,2209	96	7,0993	0,1409	41	11,134	0,08982
52	4,5722	0,2187	97	7,1707	0,1395	42	11,246	0,08892
53	4,6182	0,2165	98	7,2427	0,1381	43	11,359	0,08804
54	4,6646	0,2144	99	7,3155	0,1367	44	11,473	0,08716

1,55	4,7115	0,2122	2,00	7,3891	0,1353	2,45	11,588	0,08629
56	5,7588	0,2101	01	7,4633	0,1340	46	11,705	0,08543
57	4,8066	0,2080	02	7,5383	0,1327	47	11,822	0,03458
58	4,8550	0,4060	03	7,6141	0,1313	48	11,914	0,08374
59	4,9037	0,2039	04	7,6906	0,1300	49	12,016	0,08291

1,60	4,9530	0,2019	2,05	7,7679	0,1287	2,50	12,182	0,0820
61	5,0028	0,1999	06	7,8460	0,1275	51	12,305	0,08127
62	5,0531	0,1979	07	7,9248	0,1262	52	12,429	0,08046
63	5,1039	0,1959	08	8,0045	0,1249	53	12,554	0,07966
64	5,1552	0,1940	09	8,0849	0,1237	54	12,680	0,07887

2,55	12,807	0,07808	3,00	20,086	0,04979	3,45	31,500	0,03175
56	12,936	0,07730	01	20,287	0,04929	46	31,817	0,03143
57	13,066	0,07654	02	20,491	0,04880	47	32,137	0,03112
58	13,197	0,07577	03	20,697	0,04832	48	33,460	0,03081
59	13,330	0,07502	04	20,905	0,04783	49	32,786	0,03050

2,60	13,464	0,0742	3,05	21,115	0,04736	3,50	33,115	0,03020
61	13,599	0,0735	06	21,328	0,04689	51	33,448	0,02990
62	13,736	0,0728	07	21,542	0,04642	52	33,784	0,02960
63	13,874	0,0720	08	21,758	0,04596	53	34,124	0,02930
64	14,013	0,0713	09	21,977	0,04550	54	34,467	0,02901

2,65	14,154	0,07065	3,10	22,198	0,04505	3,55	34,813	0,02872
66	14,296	0,06995	11	22,421	0,04460	56	35,163	0,02844
67	14,440	0,06925	12	22,646	0,04416	57	35,517	0,02816
68	14,585	0,06856	13	22,874	0,04372	58	35,874	0,02788
69	14,732	0,06783	14	23,104	0,04328	59	36,234	0,02760

2,70	14,880	0,06721	3,15	23,336	0,04285	3,60	36,598	0,02732
71	15,029	0,06654	16	23,571	0,04243	61	36,966	0,02705
72	15,180	0,06587	17	23,807	0,04200	62	37,338	0,02678

x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}
73	15,333	0,06522	18	24,047	0,04159	63	37,713	0,02652
74	15,487	0,06457	19	24,288	0,04117	64	38,092	0,02625

2,75	15,643	0,06393	3,20	24,533	0,04076	3,65	38,475	0,02599
76	15,800	0,06329	21	24,779	0,04036	66	38,861	0,02573
77	15,999	0,06266	22	25,028	0,03996	67	39,252	0,02548
78	16,119	0,06204	23	25,280	0,03956	68	39,646	0,02522
79	16,281	0,06142	24	25,534	0,03916	69	40,045	0,02497

2,80	16,445	0,06081	3,25	25,790	0,03877	3,70	40,447	0,02472
81	16,610	0,06020	26	26,050	0,03839	71	40,854	0,02448
82	16,777	0,05961	27	26,311	0,03801	72	41,264	0,02423
83	16,945	0,05901	28	26,576	0,03763	73	41,679	0,02399
84	17,116	0,05843	29	26,843	0,03725	74	42,098	0,02375

2,85	17,288	0,05784	3,30	27,113	0,03688	3,75	42,521	0,02352
86	17,462	0,05727	31	27,385	0,03652	76	42,948	0,02328
87	17,637	0,05680	32	27,660	0,03615	77	43,380	0,02305
88	17,814	0,05613	33	27,938	0,03579	78	43,816	0,02282
89	17,993	0,05558	34	28,219	0,03544	79	44,256	0,02260

2,90	18,174	0,05502	3,35	28,503	0,03508	3,80	44,701	0,02237
91	18,357	0,05448	36	28,789	0,03474	81	45,150	0,02215
92	18,541	0,05393	37	29,079	0,03439	82	45,604	0,02193
93	18,728	0,05340	38	29,371	0,03405	83	46,063	0,02171
94	18,916	0,05287	39	29,666	0,03371	84	46,525	0,02149

2,95	19,106	0,05234	3,40	29,964	0,03337	3,85	46,993	0,02128
96	19,298	0,05182	41	30,265	0,03304	86	47,465	0,02107
97	19,492	0,05130	42	30,509	0,03271	87	47,942	0,02086
98	19,688	0,05079	43	30,877	0,03239	88	48,424	0,02065
99	19,886	0,05020	44	31,187	0,03206	89	48,911	0,02045

3,90	49,402	0,02024	5,5	244,69	0,00409	8,0	2981,0	0,000335
91	49,899	0,02004	6	270,43	0,00370	1	3294,5	0,000304
92	50,400	0,01984	7	298,87	0,00335	2	3641,0	0,000275
93	50,907	0,01964	8	330,30	0,00303	3	4023,9	0,000249
94	51,419	0,01945	9	365,04	0,00274	4	4447,1	0,000225

3,95	51,935	0,01925	6,0	403,43	0,002479	8,5	4914,8	0,000203
96	52,457	0,01906	1	445,86	0,002243	6	5431,7	0,000184
97	52,985	0,01887	2	492,75	0,002029	7	6002,9	0,000167

x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}	x	e ^x	e ^{-x}
98	53,517	0,01889	3	514,57	0,001836	8	6634,2	0,000151
99	54,055	0,01850	4	601,85	0,001662	9	7332,0	0,00136

4,00	54,598	0,01832	6,5	665,14	0,001503	9,0	8103,1	0,000123
1	60,340	0,01657	6	735,10	0,001360	1	8955,3	0,000112
2	66,686	0,01500	7	812,41	0,001231	2	9897,1	0,000101
3	73,700	0,01357	8	897,85	0,001114	3	10,938	0,000091
4	81,451	0,01228	9	992,27	0,001008	4	12,088	0,000083

4,5	90,017	0,01111	7,0	1096,6	0,000912	9,5	13,360	0,000075
6	99,484	0,01005	1	1212,0	0,000825	6	14,765	0,000068
7	109,92	0,00910	2	1339,4	0,000747	7	16,318	0,000061
8	121,51	0,00823	3	1480,3	0,000676	8	18,034	0,000055
9	134,29	0,00745	4	1636,0	0,000611	9	19,930	0,000050

5,0	148,41	0,00674	7,5	1808,0	0,000553	10,0	22026	0,000015
1	164,02	0,00610	6	1998,2	0,000500	20	4,85x10 ⁸	2,1x10 ⁻⁹
2	181,27	0,00502	7	2208,3	0,000453	30	1,07x10 ¹³	9,3x10 ⁻¹⁴
3	200,34	0,00499	8	2440,6	0,000410	40	2,35x10 ¹⁷	4,2x10 ⁻¹⁸
4	221,41	0,00452	9	2697,3	0,000371	50	5,18x10 ²¹	1,93x10 ⁻²²

**Множители и приставки для образования десятичных
кратных и дольных единиц**

Множитель	Приставка		Множитель	Приставка	
	наименование	обозначение		наименование	обозначение
10^{12}	тера	T/Г	10^{-1}	деци	d/д
10^9	гига	G/Г	10^{-2}	санتي	c/с
10^6	мега	M/М	10^{-3}	милли	m/м
10^3	кило	k/к	10^{-6}	микро	μ /мк
10^2	гекто	h/г	10^{-9}	нано	n/п
10^1	дека	da/да	10^{-12}	пико	p/п

Периоды полураспада радиоизотопов

Изотоп	Период полураспада (Т физ.)	Изотоп	Период полураспада (Т физ.)
Углерод-14 (^{14}C)	5730 лет	Цезий-134 (^{134}Cs)	2 года
Натрий-24 (^{24}Na)	14 часов	Цезий-137 (^{137}Cs)	30 лет
Фосфор-32 (^{32}P)	14,3 суток	Барий-140 (^{140}Ba)	13 суток
Сера-35 (^{35}S)	87,4 суток	Церий-143 (^{143}Ce)	33,4 часа
Калий-40 (^{40}K)	$1,42 \times 10^9$ лет	Радий-226 (^{226}Ra)	1600 лет
Калий-42 (^{42}K)	12,3 часа	Бром-82 (^{82}Br)	36 часов
Кальций-45 (^{45}Ca)	163 суток	Золото-198 (^{198}Au)	64 часа
Железо-59 (^{59}Fe)	44,5 суток	Сурьма-124 (^{124}Sb)	60 суток
Кобальт-60 (^{60}Co)	5,3 года	Теллур-127 (^{127}Te)	9,3 часа
Стронций-89 (^{89}Sr)	50,5 суток	Полоний-210 (^{210}Po)	139 суток
Стронций-90 (^{90}Sr)	28,6 года	Уран-235 (^{235}U)	7×10^8 лет
Рутений-106 (^{106}Ru)	1 год	Иттрий-90 (^{90}Y)	2,6 суток
Йод-125 (^{125}I)	60 суток	Тритий-3 (^3H)	12,35 года
Йод-131 (^{131}I)	8,06 суток	Плутоний-238 (^{238}Pu)	87,74 года

Временные допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 в пищевых продуктах и питьевой воде, установленные в связи с аварией на Чернобыльской АЭС (Бк/кг)

Продукт	Удельная активность,		
	ВДУ-88	ВДУ-93	РДУ-96 Белоруссия
Вода питьевая	18,5	18,5	18,5
Молоко, кисло-молочные продукты, сметана, творог, сыр, масло сливочное	370	370	111
Молоко сгущенное	1110	1200	740
Молоко сухое	1850	6000	740
Масло сливочное	1110	370	185
Мясо и продукты из них:			
говядина	2960	600	600
свинина	1850	600	370
птицы	1850	600	370
баранина	1850	600	600
Жиры растительные и животные, маргарин	370	370	185
Картофель, корнеплоды, овощи, столовая зелень, садовые фрукты, ягоды, овощи,	740	600	100
консервированные продукты из овощей, садовых фруктов и ягод	740	600	74
Хлеб и хлебобродуты, крупы, мука, сахар	370	370	74
Свежие дикорастущие ягоды и грибы	1850	600	370
Сухофрукты	11100	6000	3700
Сушеные грибы	11100	6000	3700
Специализированные продукты детского питания	370	185	37
Лекарственные растения			

**Временно допустимые уровни содержания ⁹⁰Sr
в пищевых продуктах, Бк/кг (Ки/кг)**

Продукт	Россия (ВДУ-93)	Белоруссия (РДУ-96)
Вода питьевая	0,37 (1×10^{-11})	0.37 (1×10^{-12})
Молоко и цельномолочные продукты	37 (1×10^{-9})	3,7 (1×10^{-10})
Молоко сухое и концентрированное	200 (6×10^{-9})	74 (2×10^{-10})
Хлеб и хлебопродукты	37 (1×10^{-9})	3,7 (1×10^{-10})
Картофель	100 (3×10^{-9})	3,7 (1×10^{-10})
Детское питание	3,7 (1×10^{-10})	1.86 (5×10^{-11})
Специи, чай, мед	1000 (3×10^{-9})	37 (1×10^{-9})
Прочие продукты	100 (3×10^{-9})	37 (1×10^{-9})

Примечание

1. Отдельные республики имеют право устанавливать контрольные уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде как для всей республики, так и для отдельных территорий. При этом они не должны превышать численность значений ВДУ- 91. Контрольные уровни устанавливаются, исходя из реальной радиационной обстановки и экономических возможностей республики в целом или отдельных территорий.

2. Производство детского питания из продуктов, получаемых на загрязненных территориях, не рекомендуется.

3. Соблюдение ВДУ по цезию, как правило, обеспечивает соблюдение ВДУ по стронцию-90.

**Гигиенические нормативы качества и безопасности
продовольственного сырья и пищевых продуктов**

Группа продуктов	Допустимое содержание, не более, Бк/кг		Примечание
	Sr-90	Cs-137	
1. Мясо и мясопродукты, птица, яйца и продукты их переработки			
Мясо и субпродукты свежие, охл., замор.;	50	160	без костей
п/ф мяса всех видов;	80	250	оленина (без костей) диких животных кости (все виды)
колбасные изделия;	100	320	
консервы (контроль по сырью)	200	160	
Птица всех видов, субпродукты, колбасные изделия, консервы из птицы	80	180	Контроль по сырью
Яйца и продукты их перераб.	50	80	
2. Молоко и молочные продукты			
Молоко сырье, сливки-сырье, кисломолочные продукты	25	50	
Консервы молочные (молоко сгущенное и концентрированное)	100	200	
Продукты молочные сухие: молоко и сливки	200	360	
Сыры сычужные и плавленые	100	50	
Масло коровье	60	100	
3. Рыба и продукты из рыбы			
Рыба живая, замор., фарш, филе	100	130	
Рыба сушеная, вяленая	200	260	
5. Сахар и кондитерские изделия			
Сахар	100	140	
Мед	80	100	
6. Плодоовощная продукция			
Свежие, свежемороженые:			
картофель	60	320	
овощи, бахчевые	50	130	
фрукты, ягоды	50	40	
грибы	50	500	
Сухие овощи, картофель, фрукты, ягоды, грибы:			
картофель	240	1200	
овощи, бахчевые	240	600	
фрукты, ягоды	240	200	
грибы	250	2500	

Группа продуктов	Допустимое содержание, не более, Бк/кг		Примечание
	Sr-90	Cs-137	
Орехи	100	200	
Чай (все виды)	100	400	
7. Масличное сырье и жировые продукты			
Семена масличных культур	90	70	
Масло растительное (все виды)	80	60	
Жир-сырец всех видов, шпик свиной	80	60	
	50	100	
Масло коровье	60	100	
9. Другие продукты			
Изоляты, концентраты, гидролизаты раст. белков; мука и пищевой шрот из семян бобовых, масличных и нетр. культур	100	80	
Отруби пищевые из зерновых и зернобобовых культур, пищевые волокна из отрубей	140	80	зерновые зернобоб.
	100	60	

Примечание. Источник – выписка из СанПиН 2.3.2.560-96.

При обосновании нормативов удельной активности стронция-90 и цезия-137 в продовольственном сырье и пищевых продуктах было принято:

1. Предлагаемые нормативы для конкретных отечественных продуктов должны обеспечивать не превышение предела годовой дозы облучения (1 мЗв), а также пределов годовых поступлений стронция-90 и цезия-137 с пищей соответственно **$3,6 \times 10^4$ Бк** и **$7,7 \times 10^4$ Бк.**

2. Указанным пределам годовых поступлений соответствует активность суточного рациона: **100 Бк/сутки для стронция-90 и 210 Бк/сутки для цезия-137.**

Расчеты допустимой удельной активности пищевых продуктов произведены с учетом доли вклада данного конкретного вида продукта в загрязненность суточного рациона, масса которого равна 1860 г/сутки и реальной удельной активности стронция-90 и цезия-137 в пищевых продуктах. Для отдельных территорий эти нормативы могут быть изменены в порядке, установленном НРБ-96.

3. Пищевой продукт годен к употреблению, если

$$(A/N) \text{ цезий-137} + (A/N) \text{ стронций-90} \leq 1,$$

где A – удельная активность радионуклидов стронция-90 и цезия-137 в данном пищевом продукте;

N – нормативы по стронцию-90 и цезию-137 для этого вида берутся из таблицы.

Если $(A/N) \text{ цезий-137} + (A/N) \text{ стронций-90} > 1$ или когда в пищевых продуктах, пищевом сырье присутствуют другие радионуклиды техногенного происхождения, то следует руководствоваться НРБ-96 п. 7.2.4.

4. Контроль за удельной активностью пищевого продукта проводится на основе действующих ГОСТов, методических указаний, утвержденных Минздравом России.

5. Нормативные документы:

- Федеральный закон «О радиационной безопасности населения»;
- Нормы радиационной безопасности – НРБ-96;
- Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. Под. Ред. А.Н.Марья, А.С.Зыковой, М., 1980.

**Содержание Cs-137 (нКи/кг) в урожае сельскохозяйственных культур
в зависимости от типа посевов и обеспеченности их обменным калием
при плотности загрязнения 1 Ки/км²**

Культура	Массовая доля обменного калия, мг/кг почвы				
	менее 80	81-140	141-200	201-300	более 300

Дерново-подзолистая супесчаная почва

Зерно (14 % влажн.):					
Овес	0,42	0,25	0,21	0,18	0,11
Озимая пшеница	0,10	0,05	0,04	0,03	0,05
Ячмень	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04
Солома (вл. 20 %):					
Овес	0,82	0,70	0,41	0,29	0,20
Озимая пшеница	0,38	0,22	0,18	0,09	0,05
Ячмень	0,38	0,24	0,19	0,16	0,14
Сено (влажн. 16 %):					
Клевер	1,24	2,06	0,63	0,59	0,51
Многолетние злаковые	2,33	1,72	0,80	0,65	0,58
Многолетние зл.-бобовые	1,79	1,39	0,72	0,61	0,54
Однолетние зл.-бобовые	0,80	0,50	0,40	0,33	0,26
Ест. травы	3,23	2,17	1,81	1,59	1,49
Зел. масса (вл. 82 %):					
Клевер	0,26	0,23	0,13	0,12	0,11
Многолетние злаковые	0,50	0,37	0,17	0,14	0,12
Многолетние зл.-бобовые	0,38	0,30	0,15	0,13	0,11
Однолетние зл.-бобовые	0,17	0,11	0,09	0,09	0,07
Ест. травы					0,45
Картофель	0,11	0,07	0,05	0,05	0,04
Св. кормовая	0,13	0,09	0,06	0,05	0,04

Дерново-подзолистая суглинистая почва

Зерно (14 % влажн.):					
Овес	0,29	0,23	0,17	0,10	0,09
Озимая пшеница	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01
Ячмень	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02
Солома (вл. 20 %):					
Овес	0,49	0,43	0,36	0,24	0,18
Озимая пшеница	0,29	0,26	0,18	0,15	0,13
Ячмень	0,18	0,17	0,12	0,06	0,05
Сено (влажн. 16 %):					
Клевер	1,37	0,93	0,56	0,48	0,31

Культура	Массовая доля обменного калия, мг/кг почвы				
	менее 80	81-140	141-200	201-300	более 300
Многолетние злаковые	1,72	1,04	0,57	0,49	0,36
Многолетние зл.-бобовые	1,55	0,99	0,57	0,49	0,36
Однолетние зл.-бобовые	0,56	0,35	0,28	0,23	0,18
Ест. травы	2,72	2,56	2,02	1,76	1,70
Зел. масса (вл. 82 %):					
Клевер	0,29	0,19	0,12	0,10	0,05
Многолетние злаковые	0,37	0,22	0,12	0,10	0,08
Многолетние зл.-бобовые	0,33	0,21	0,12	0,10	0,07
Однолетние зл.-бобовые	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05
Ест. травы	0,58	0,56	0,43	0,38	0,30
Картофель	0,08	0,07	0,03	0,02	0,02
Свекла кормовая	-	-	0,05	0,03	0,03

Дерново-подзолисто-песчаная почва

Зерно (14 % влажн.):					
Овес	0,46	0,31	0,26	0,22	0,15
Озимая пшеница	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05
Ячмень	0,10	0,08	0,07	0,06	0,04
Солома (вл. 20 %):					
Овес	0,84	0,65	0,53	0,48	0,28
Озимая пшеница	0,42	0,36	0,30	0,23	0,19
Ячмень	0,35	0,29	0,22	0,19	0,15
Сено (влажн. 16 %):					
Клевер	1,35	1,16	0,79	0,59	0,55
Многолетние злаковые	2,40	1,86	0,85	0,67	0,62
Многолетние зл.-бобовые	1,88	1,51	0,82	0,63	0,59
Однолетние зл.-бобовые	1,1	0,69	0,55	0,46	0,36
Ест. травы	6,08	4,09	3,40	2,98	2,81
Зел. масса (вл. 82 %):					
Клевер	0,29	0,25	0,17	0,13	0,11
Многолетние злаковые	0,52	0,40	0,18	0,14	0,13
Многолетние зл.-бобовые	0,40	0,32	0,18	0,14	0,13
Однолетние зл.-бобовые	0,23	0,15	0,13	0,13	0,10
Ест. травы	1,30	0,87	0,72	0,64	0,60
Картофель	0,14	0,10	0,08	0,05	0,04
Св. кормовая	-	0,15	0,13	0,08	0,05

Примечание. Материалы взяты из Руководства по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997-2000 гг.

**Содержание Sr-90 (нКи/кг) в урожае сельскохозяйственных культур
в зависимости от степени кислотности дерново-подзолистых почв
при плотности загрязнения 1 Ки/км²**

Культура	Уровень кислотности почвы, pH (KCl)					
	менее 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,0-7,0	более 7,0
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
Зерно (вл. 14 %):						
Овес	1,62	1,36	1,21	1,18	1,17	1,16
Озимая пшеница	1,07	1,43	1,33	1,32	1,05	1,06
Ячмень	1,92	1,73	1,63	1,50	1,45	1,35
Солома (вл. 20 %):						
Овес	6,55	5,60	4,54	4,20	4,15	4,10
Озимая пшеница	6,10	6,44	5,99	5,94	4,77	4,77
Ячмень	6,96	6,69	6,42	5,83	5,48	5,20
Сено (вл. 16 %):						
Клевер	-	33,95	25,68	22,17	18,56	14,41
Многолетние злаков.	13,64	11,79	9,89	8,24	7,65	5,8
Многолетние зл.-боб.	-	22,87	17,79	15,20	13,11	10,11
Однолетние зл.-бобовые	-	14,21	13,44	11,63	9,15	5,85
Ест. сенокосы	18,62	13,56	11,40	8,45	7,90	6,05
Зел. мас. (вл. 82 %):						
Клевер	-	7,27	5,49	4,74	3,97	3,09
Многолетние злаковые	2,92	2,52	2,12	1,76	1,64	1,24
Многолетние зл.-бобов.	-	4,89	3,81	3,25	2,81	2,16
Однолетние зл.-бобов.	-	3,19	2,88	2,49	1,96	1,25
Естеств. лугов	3,99	2,90	2,44	1,81	1,69	1,29
Картофель	0,37	0,28	0,24	0,17	0,12	0,12
Свекла корм.	-	-	0,97	0,67	0,58	0,53
Дерново-подзолистая суглинистая почва						
Зерно (14 % вл.):						
Овес	1,55	1,22	1,15	1,11	1,08	1,02
Озимая пшеница	0,93	1,26	0,09	0,96	0,83	0,73
Ячмень	5,70	5,28	4,57	4,44	4,35	4,28
Солома (вл. 20 %):						
Овес	4,82	4,78	4,51	4,06	3,97	1,90
Озимая пшеница	5,34	5,06	4,34	3,95	3,47	3,04
Ячмень	5,70	5,28	4,57	4,44	4,35	4,28
Сено (вл. 16 %):						
Клевер	-	30,44	23,10	17,55	14,03	12,18
Многолетние злаковые	12,41	10,21	8,57	7,79	7,08	5,30
Многолетние зл.-бобовые	-	20,33	15,84	12,52	10,56	8,74
Однолетние зл.-бобовые	-	11,61	10,47	9,06	7,12	4,55
Ест. травы	14,61	10,99	8,95	7,95	7,37	5,45

Культура	Уровень кислотности почвы, pH (KCl)					
	менее 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,0-7,0	более 7,0
Зел. мас (вл. 82 %):						
Клевер	-	6,52	4,95	3,76	3,00	2,61
Многолетние злаковые	2,66	2,19	1,84	1,60	1,52	1,13
Многолетние зл.-бобовые	-	4,35	3,39	2,68	2,26	1,87
Однолетние зл.-бобовые	-	2,50	2,26	1,96	1,54	0,98
Ест. травы	3,12	2,35	1,92	1,70	1,57	1,17
Картофель	0,33	0,25	0,20	0,14	0,12	0,11
Св. кормовая	-	-	0,83	0,56	0,50	0,48
Дерново-подзолистая песчаная почва						
Зерно (14 % вл.):						
Овес	1,90	1,50	1,43	1,36	1,28	1,20
Озимая пшеница	1,24	1,14	1,07	0,99	0,90	0,64
Ячмень	2,40	2,04	1,72	1,60	1,54	1,50
Солома (вл. 20 %):						
Овес	6,99	6,10	5,51	4,99	4,80	4,73
Озимая пшеница	6,72	6,00	5,40	4,54	4,54	4,10
Ячмень	8,02	7,93	7,03	5,62	5,62	5,40
Сено (вл. 16 %):						
Клевер	-	40,64	33,84	26,39	21,80	17,25
Многолетние злаковые	18,31	16,70	14,45	11,96	11,42	8,10
Многолетние зл.-бобовые	-	17,90	24,15	19,18	16,61	12,68
Однолетние зл.-бобовые	-	18,01	16,13	13,96	10,98	7,02
Ест. травы	21,79	18,10	15,82	12,75	12,01	8,15
Зел. мас. вл. 82 %:						
Клевер	-	8,70	7,25	5,65	4,67	3,69
Многолетние злаковые	3,92	3,58	3,09	2,56	2,45	1,73
Многолетние зл.-бобовые	-	6,14	5,17	4,11	3,56	2,72
Однолетние зл.-бобовые	-	3,83	3,45	2,99	2,35	1,50
Ест. травы	4,67	3,88	3,39	2,73	2,57	1,75
Картофель	0,72	0,30	0,45	0,33	0,24	0,24
Св. кормовая	-	-	1,36	0,90	0,81	0,79

Примечание. Материалы взяты из Руководства по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997-2000 гг.

Значение поправочного коэффициента «К» на радиоактивный распад для различных значений времени (по И.Н.Верховской)

$\frac{t}{T}$	К	$\frac{t}{T}$	К
0,00	1,00	1,25	2,36
0,02	1,02	1,50	2,82
0,04	1,03	1,75	3,35
0,06	1,04	2,00	4,00
0,08	1,06	2,5	5,64
0,1	1,07	3,00	8,00
0,2	1,15	3,5	11,36
0,3	1,23	4,0	16,00
0,4	1,32	4,5	22,65
0,5	1,41	5,0	32,0
0,6	1,52	6,0	64,0
0,7	1,62	7,0	128,0
0,8	1,76	8,0	256,0
0,9	1,86	9,0	512,0
1,0	2,00	10,0	1024,0

