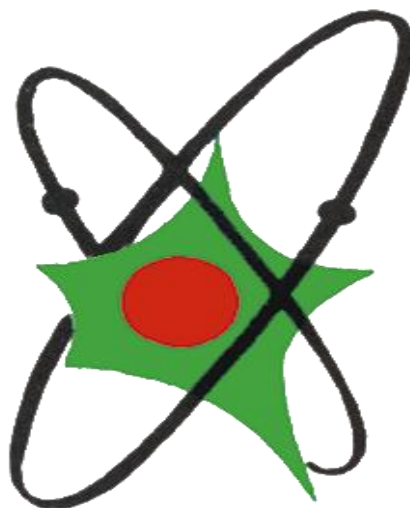


С.А. Сашенкова, Г.В. Ильина, Д.Ю. Ильин

ВЕТЕРИНАРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

Практикум



Пенза 2021

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

**Кафедра биологии, биологических технологий
и ветеринарно-санитарной экспертизы**

**С.А. Сашенкова
Г.В. Ильина
Д.Ю. Ильин**

**ВЕТЕРИНАРНАЯ
РАДИОБИОЛОГИЯ**

**Практикум
для студентов, обучающихся по специальности
36.05.01 Ветеринария**

Пенза 2021

УДК 619:577.34 (075)

ББК 28.071

С 22

Рецензент – доктор биологических наук, профессор кафедры селекции, семеноводства и биологии растений ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ А.И. Иванов.

Печатается по решению методической комиссии технологического факультета Пензенского ГАУ от 27 сентября 2021 г., протокол № 3.

Сашенкова, С.А.

С 22 Ветеринарная радиобиология: практикум / С.А. Сашенкова, Г.В. Ильина, Д.Ю. Ильин. – Пенза: РИО Пензенского ГАУ, 2021. – 147 с.

Практикум составлен в соответствии с программой курса «Ветеринарная радиобиология» для студентов, обучающихся по специальности 36.05.01 Ветеринария. Содержит краткие теоретические пояснения, примеры расчетов доз ионизирующих излучений, активности радионуклидов и оценки радиологического качества продукции животноводства. Даны методические указания по работе с приборами по определению дозы внешнего облучения и радиохимического анализа, а также постановке диагноза «лучевая болезнь» у животных и человека. Содержатся рисунки, таблицы и схемы, справочные материалы, позволяющие выполнить лабораторные работы и практические задания.

© ФГБОУ ВО
Пензенский ГАУ, 2021
© С.А. Сашенкова,
Г.В. Ильина,
Д.Ю. Ильин, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью радиобиологии является формирование системы теоретических знаний и практических навыков, необходимых для выполнения задач по контролю за радиоактивной загрязненностью объектов ветеринарного надзора и проведению комплекса организационных и специальных мероприятий по диагностике и предотвращению радиационного загрязнения продуктов питания и окружающей среды.

Основными задачами дисциплины являются:

- изучение основополагающих законов явления радиоактивности и свойств радиоактивных излучений;
- формирование навыков работы с радиоактивными источниками;
- освоение основных принципов работы на радиометрическом и дозиметрическом оборудовании;
- изучение основных закономерностей миграции наиболее опасных радионуклидов по пищевой цепочке, их токсикологической характеристики и особенностей накопления и выведения у разных видов сельскохозяйственных животных;
- освоение современных подходов к прогнозированию последствий масштабных радиоактивных загрязнений окружающей среды, организации ведения животноводства в этих условиях;
- изучение механизма биологического действия ионизирующих излучений на молекулы, клетки, ткани, организм и биологические популяции.

В рамках Федерального государственного стандарта высшего образования по специальности 36.05.01 Ветеринария, утвержденного приказом Минобрнауки России от 22.09.2017 г. № 974, дисциплина направлена на формирование общепрофессиональных компетенций: ОПК-2, ОПК-4 и ОПК-6. Итогом изучения дисциплины является получение студентами следующих знаний (З), умений (У) и навыков (В):

311 (ИД-1_{ОПК-2}) – знать особенности влияния на организм животных различных видов излучений, механизмы действия радиации на организм;

36 (ИД-1_{ОПК-4}) – технические возможности современного специализированного оборудования для регистрации ионизи-

рующих излучений и радионуклидов, методы решения задач профессиональной деятельности;

З2 (ИД-1_{ОПК-6}) – знать факторы риска возникновения лучевых поражений у животных, применение систем идентификации доз поглощенной радиации и системы радиационного контроля;

У11 (ИД-2_{ОПК-2}) – уметь учитывать влияние на организм животных ионизирующих излучений, в том числе проникающей радиации;

У6 (ИД-2_{ОПК-4}) – уметь применять современные технологии и методы исследований для регистрации ионизирующих излучений и радионуклидов;

У2 (ИД-2_{ОПК-6}) – уметь проводить оценку риска возникновения лучевых поражений животных, контроль радиоактивных изотопов в организме животных, продуктах животного происхождения и кормах;

В11 (ИД-3_{ОПК-2}) – владеть навыками оценки и прогнозирования влияния на организм различных видов излучений, в том числе проникающей радиации;

В6 (ИД-3_{ОПК-4}) – владеть навыками работы со специализированным оборудованием для регистрации ионизирующих излучений и радионуклидов;

В2 (ИД-3_{ОПК-6}) – владеть навыками проведения процедур идентификации источника радиации, выбора и реализации мер, которые могут быть использованы для снижения уровня риска.

Практикум предназначен для организации лабораторных и самостоятельных занятий, предусмотренных рабочей программой дисциплины. Авторы постарались максимально полно представить изучаемый материал, включая вводные пояснения, рисунки, схемы и задания, что служит необходимым методическим обеспечением дисциплины. С другой стороны практикум позволит студентом самостоятельно изучить некоторые темы. Проверить свои знания с помощью тестовых заданий, подготовиться к контрольным работам. Некоторые теоретические вопросы, имеющие непосредственное отношение к теме лабораторной работы, кратко освещены в практикуме, что способствует пониманию сущности изучаемого вопроса, но не заменяет учебники, учебные пособия и лекционный курс.

1 ВИДЫ И ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Вводные пояснения

Атомы всех химических элементов, входящих в периодическую систему, состоят из *электронов, протонов и нейтронов*. Элементы отличаются друг от друга только числом и расположением этих частиц. В начале XX века было выдвинуто несколько теорий строения атома, с помощью которых ученые пытались объяснить различные физические свойства. В 1911 году английский физик Эрнест Резерфорд предложил планетарную модель атома, которая получила развитие в трудах датского физика Нильса Бора (1913 г.). Согласно этой модели атом похож на Солнечную систему в миниатюре: вокруг крошечного ядра движутся по орбитам «планеты» – электроны. Размеры ядра в сто тысяч раз меньше размеров самого атома, но плотность его очень велика, поскольку масса ядра почти равна массе всего атома. Ядро, как правило, состоит из нескольких более мелких частиц, которые плотно сцеплены друг с другом (рис. 1).

Некоторые из этих частиц имеют положительный заряд и называются *протонами*. Число протонов в ядре и определяет, к какому химическому элементу относится данный атом: ядро атома водорода содержит всего один протон, атома кислорода – 8, урана – 92. В каждом атоме число электронов в точности равно числу протонов в ядре; каждый электрон несет отрицательный заряд, равный по абсолютной величине заряду протона, так что в целом атом электрически нейтрален.

В ядре, как правило, присутствуют и частицы другого типа, называемые *нейтронами*, поскольку они электрически нейтральны. Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одно и то же число протонов, но число нейтронов в них может быть разным. Атомы, имеющие ядра с одинаковым числом протонов, но различающиеся по числу нейтронов, относятся к разным разновидностям одного и того же химического элемента, называемым *изотопами* данного элемента. Их обозначают, приписывая к символу элемента число, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа. Так, уран-238 содержит 92 протона и 146 нейтронов; в уране-235 тоже 92 протона, но 143 нейтрона.

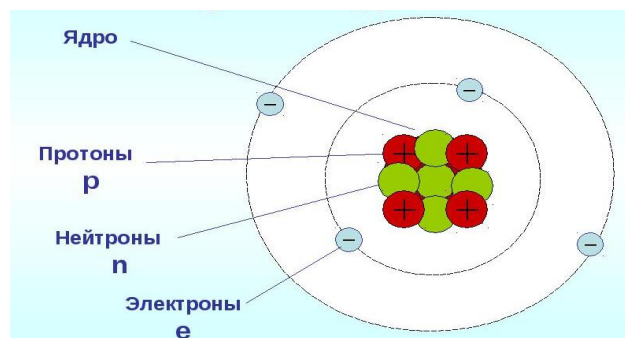


Рисунок 1 – Строение атома

Другими словами, изотопы – это разновидности атомов одного и того же элемента, в ядрах которых содержится разное число нейтронов. Следовательно, атомы данного химического элемента – это нуклиды с одинаковым зарядом ядра (атомным номером). Атомы с большой атомной массой являются неустойчивыми, они способны самопроизвольно превращаться в другие нуклиды – это явление получило название радиоактивности. При самопроизвольном распаде радионуклидов испускается ионизирующее излучение, которое, воздействуя на вещество, в том числе живое, приводит к его ионизации (образованию ионов разных знаков).

Выделяют ниже следующие виды ионизирующего излучения.

Непосредственно ионизирующее излучение – заряженные частицы, кинетическая энергия которых достаточна для ионизации среды. Например, α - и β -излучение.

Альфа-излучение – представляет собой ядра гелия, которые испускаются при радиоактивном распаде элементов тяжелее свинца или образуются в ядерных реакциях.

Бета-излучение – это электроны или позитроны, которые образуются при бета-распаде атомных ядер или частиц от самых легких (нейтрон) до самых тяжелых.

Космическое излучение. Приходит на Землю из космоса. В его состав входят преимущественно протоны и ядра гелия. Более тяжелые элементы составляют менее 1 %. Проникая вглубь атмосферы, космическое излучение взаимодействует с ядрами, входящими в состав атмосферы, и образует потоки вторичных частиц (мезоны, гамма-кванты, нейтроны и др.).

К косвенно ионизирующему излучению относят незаряженные частицы, при взаимодействии которых со средой образуется непосредственно ионизирующее излучение. Например, нейтроны, образующиеся в ядерных реакциях (в ядерных реакторах и в других промышленных и исследовательских установках, а также при ядерных взрывах); фотоны – кванты электромагнитного излучения. Различают также рентгеновское излучение – излучение рентгеновских трубок и характеристическое излучение возбужденных атомов; γ -излучение – излучение возбужденных атомных ядер; тормозное излучение получают на ускорителях электронов.

Необходимость количественной и качественной оценки действия ионизирующего излучения на организм человека и животных, проведения контроля качества продуктов питания, воды, состояния территории, обеспечения работы с радиоактивными материалами способствовали развитию *дозиметрии и радиометрии*. Это разделы ядерной физики, которые разрабатывают теоретические и прикладные вопросы измерения и идентификации ионизирующих излучений. Величина, используемая для оценки степени воздействия ионизирующего излучения на любые вещества, живые организмы и их ткани получила название *дозы облучения*.

Дозу организм может получить от любого радионуклида или их смеси независимо от того, находятся ли они вне организма или внутри его (в результате попадания с пищей, водой или воздухом). Дозы можно рассчитывать по-разному, с учетом того, каков размер облученного участка и какова его чувствительность, где он расположен, один ли человек подвергся облучению или группа людей, в течение какого времени это происходило и т.д. Поэтому выделяют ниже следующие виды доз.

Экспозиционная доза – это величина, характеризующая степень ионизации вещества. Это такое количество энергии от гамма- и рентгеновского излучения, потраченное на ионизацию одного кубического сантиметра сухого воздуха, при нормальных условиях, с образованием в этом объёме определённого числа пар ионов одинакового знака, к массе воздуха в этом объёме. Другими словами количественная сторона. Есть один кубический объём воздуха. На него воздействовало жёсткое гамма- или рентгеновское излучение, в результате чего в нем образовалось некоторое количество ионов с одним знаком. То есть, тут доза пред-

ставлена, как ущерб воздуху в образовавшихся ионах. В системе СИ для измерения экспозиционной дозы используется – Кулон/кг (Кл/кг), а внесистемной единицей является рентген (Р). Соотношение этих единиц представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Основные радиологические величины и их единицы

Физическая величина	Единица, её наименование, обозначение (международное, русское)		Соотношение между внесистемной единицей и единицей СИ
	внесистемные	СИ	
Активность нуклида	кюри (Ci, Ки)	беккерель (Bq, Бк)	$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Экспозиционная доза излучения	рентген (R, Р)	кулон/килограмм (C/kg, Кл/кг)	$1 \text{ Р} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощённая доза излучения	рад (rad, рад)	грей (Gy, Гр) = Дж/кг	$1 \text{ рад} = 0.01 \text{ Гр}$
Эквивалентная доза излучения	бэр (rem, бэр)	зиверт (Sv, Зв)	$1 \text{ бэр} = 0.01 \text{ Зв}$
Мощность экспозиционной дозы излучения	рентген в секунду (R/s, Р/с)	ампер/килограмм (A/kg, А/кг)	$1 \text{ Р/с} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$
Мощность поглощённой дозы излучения	рад в секунду (rad/s, рад/с)	грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	$1 \text{ рад/с} = 0.01 \text{ Гр/с}$
Мощность эквивалентной дозы излучения	бэр в секунду (rem/s, бэр/с)	зиверт в секунду (Sv/s, Зв/с)	$1 \text{ бэр/с} = 0.01 \text{ Зв/с}$
Интегральная доза излучения	рад-грамм (rad·g, рад·г)	грей-килограмм (Gy · kg, Гр · кг)	$1 \text{ рад} \cdot \text{г} = 10^{-5} \text{ Гр} \cdot \text{кг}$

Поглощенная доза – энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым телом (тканями организма), в пересчете на единицу массы.

Эквивалентная доза – поглощенная доза, умноженная на коэффициент, отражающий способность данного вида излучения повреждать ткани организма.

Эффективная эквивалентная доза – эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению.

Коллективная эффективная эквивалентная доза – эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации

Полная коллективная эффективная эквивалентная доза – коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают поколения людей от какого-либо источника за все время его дальнейшего существования.

Таким образом, можно заметить, что все виды доз облучения измеряются своими единицами, как системными, так и несистемными, что представлено в таблице 1, могут быть вычислены одна из другой с использованием определенных коэффициентов. Например, использование единицы поглощенной дозы рад не исключает измерение излучения в рентгенах, так как 1Р эквивалентен 0,88 рад. Для мягких тканей $1\text{Р} = 0,95\text{ рад}$. Как видно из последнего соотношения, экспозиционная и поглощенная дозы, выраженные во внесистемных единицах численно практически равны (разница составляет всего 5 %). Данное обстоятельство отчасти оправдывает использование внесистемной единицы рентгена. Зная коэффициенты биологического действия ионизирующих излучений на живой организм (таблица 2) и поглощенную дозу, можно определить эквивалентную (биологическую) дозу облучения.

В свою очередь, из эквивалентной дозы можно получить эффективную, используя данные рисунка 2.

Мощность дозы – это доза, отнесённая к единице времени, или количество энергии гамма-излучения в единицу времени. Другими словами, мера воздействия. Приращение дозы ко времени. Например, чем больше мощность экспозиционной дозы, тем большую дозу получит воздух за то же самое время. Зная мощ-

ность дозы, легко определить дозу за известный промежуток времени.

Таблица 2 – Значение коэффициента биологического действия разных видов излучения

Вид излучения	Коэффициент, Зв/Гр
Рентгеновское и γ -излучение	1
Электроны, позитроны, β -излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10,0 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

Органы человека

Гонады (половые железы)

Красный костный мозг

Толстый кишечник

Желудок

Легкие

Мочевой пузырь

Печень

Пищевод

Щитовидная железа

Кожа

Клетки костных поверхностей

Головной мозг

Остальные ткани

Организм в целом

Коэффициент

0,2

0,12

0,12

0,12

0,12

0,05

0,05

0,05

0,05

0,01

0,01

0,025

0,05

1



Рисунок 2 – Коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела

Интегральная доза излучения – количество энергии, поглощенной в облучаемом объеме. Интегральная доза измеряется в

джоулях, так как ее единица – «грей на килограмм» ($1 \text{ Гр} \cdot \text{кг} = 1 \text{ Дж}$).

Порядок выполнения заданий

Рассмотрим пример решения задачи по определению общей поглощенной, эквивалентной и эффективной дозы.

Задача 1. Определить общую поглощенную, эквивалентную и эффективную эквивалентную дозу облучения организма в целом за год, ткани и органы которого были однократно равномерно облучены разными видами радиоактивных излучений, если дозы составили: от γ -излучения – 2 рад, β -излучения – 2 Р, α -излучения – 0,1 Гр?

Решение.

1. Переводим все используемые единицы измерения разных видов излучения к одному (используемые единицы должны быть одинаковыми). Например, если использовать единицу поглощенной дозы Грей (Гр), то доза от γ -излучения составит 0,02 Гр (таблица 1), β -излучения – $2 \text{ Р} \times 0,88 = 1,76 \text{ рад} = 0,0176 \text{ Гр}$. Общая поглощенная доза составит: $D_n = 0,02 + 0,0176 + 0,1 = 0,1376 \text{ Гр}$ или 13,76 рад.

2. Используя коэффициенты из таблицы 2, определяем эквивалентную дозу, полученную организмом от этого источника: $D_э = 0,02 \times 1 + 0,0176 \times 1 + 0,1 \times 20 = 2,0376 \text{ Зв}$. Обратите внимание, что, так как единицы поглощенной дозы мы использовали в греях, поэтому единицы эквивалентной дозы получили в зивертах. Если бы мы использовали рады, то получили бы бэры.

3. Соответственно исходным данным, организм облучен равномерно, поэтому по рисунку 2 для организма в целом коэффициент равен 1. Следовательно, эффективная эквивалентная доза будет равна: $D_{эф} = 2,0376 \times 1 = 2,0376 \text{ Зв}$ или 203,76 бэр. Если бы по условию задачи организм облучался неравномерно, то эффективная эквивалентная доза определялась бы как сумма произведений эквивалентных доз, полученных каждым органом, и соответствующими коэффициентами.

Задания

1. Зарисуйте строение атомного ядра, используя рисунок 1. Заполните таблицу 3.

Таблица 3 – Виды излучений

Вид излучения	Характеристика	Источник

2. Рассчитайте общую поглощенную и эффективную эквивалентную дозу, которую получит организм животного или человека при равномерном облучении организма от смешанных источников излучений со следующими характеристиками:

а) α -излучение – 2 рад, β -излучение – 20 рад, быстрые нейтроны – 0,1 Гр; γ -излучение – 2 Гр;

б) α -излучение – 1 Гр, β -излучение – 10 Р, медленные нейтроны – 2 рад; γ - излучение – 100 Р;

в) α -излучение – 100 мР, β -излучение – 5 Р, γ -излучение – 10 мГр?

3. Какую дозу получит организм животного и человека за сутки, месяц и год, если он находится в зоне, где радиационный фон составляет: а) 55 мР/час; б) 38 мкР/час; в) 0,2 рад/с?

4. Какую дозу в греях получит животное весом 150 кг, если излучение идет на каждый килограмм живой массы от смешанного источника и составляет α -излучение – 1 рад, β -излучение – 10 рад, γ - излучение – 20 рад?

5. Рассчитайте эффективную эквивалентную дозу полученную организмом при облучении щитовидной железы рентгеновским излучением дозой: а) 8Р; б) 30 мГр; в) 5рад?

6. Рассчитайте эффективную эквивалентную дозу полученную организмом животного при облучении γ -излучением, если поглощенная доза для гонад составила 1,5 Р, для кожи 1 Р, для легких 2 Р?

7. Какова эквивалентная доза излучения, если животное облучали 7 часов потоком быстрых нейтронов с мощностью излучения 6 Гр/час?

8. Общая поглощенная доза составила 15000 мР. На 80 % получено от β -излучения, 10 % от γ -излучения, 5 % от α -излучения и 5 % – от быстрых нейтронов. Рассчитайте поглощенную и эквивалентную дозы для каждого вида излучения. Какой вид излу-

чения занимает наибольшую долю в эквивалентной биологической дозе в данном случае? Ответ поясните.

9. При облучении биологической ткани потоком альфа-частиц с кинетической энергией 4,4 МэВ каждый грамм ткани получил дозу, равную 0,5 Зв. Полагая, что для альфа-частиц коэффициент биологического действия равен 20, найти число частиц, поглощенных тканью массой 1 кг?

Контрольные вопросы

1. Какие виды ионизирующих излучений существуют и чем они отличаются?

2. В чем отличие поглощенной дозы от экспозиционной дозы облучения?

3. В каких единицах измеряются эквивалентная и эффективная дозы облучения?

4. Как соотносятся системные и несистемные единицы измерения доз облучения? Чем объясняется использование разных единиц измерения?

5. Что такое мощность излучения и почему её нужно учитывать при прогнозировании полученной дозы?

2 ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА, АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ

Вводные пояснения

Практическое использование радионуклидов и метода меченных атомов делает необходимым использование такой характеристики, как активность радионуклида. *Активность* – это количественная мера радиоактивности вещества. Зависит от первоначального количества радиоактивного вещества, периода полураспада ($T_{1/2}$), постоянной распада (λ), то есть от процессов, происходящих в самом ядре. Поэтому *радиоактивность* определяется числом распадов радионуклидов в единицу времени (расп. /с; расп./ мин и т.д.).

В системе СИ за единицу радиоактивности принят беккерель (Бк): 1 Бк = 1 распад в секунду.

Внесистемной единицей является кюри (Ки):

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ расп./ с} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк.}$$

По закону радиоактивного распада радиоактивность источника (A) прямо пропорциональна числу имеющихся в нем ядер, постоянной распада λ , но обратно пропорциональна периоду полураспада ($T_{1/2}$) (формула 1).

$$A = \frac{N_0 \times 0,693}{T_{1/2}} \quad (1)$$

Постоянная распада связана с периодом полураспада изотопа следующим соотношением: $\lambda = 0,693 : T_{1/2}$

Поэтому можно рассчитать количество распавшихся ядер по формуле 2.

$$Nt = N_0 \times \lambda, \quad (2)$$

где Nt – количество распадающихся ядер в данный момент времени; N_0 – первоначальное количество ядер; λ – постоянная распада для данного радионуклида.

Следовательно, активность можно определить по формуле 3.

$$A = N_0 \times \lambda \quad (3)$$

Период полураспада ($T^{1/2}$) – время, в течение которого происходит распад половины имеющихся в наличии радиоактивных атомов данного радионуклида.

Постоянная распада (λ) – доля радиоактивных атомов, распадающихся за единицу времени.

В ряде случаев источники сравнивают между собой по их гамма-излучению. Если при одинаковых условиях измерения два радионуклида создают на стандартном расстоянии одну и ту же мощность экспозиционной дозы, то говорят, что они имеют одинаковый гамма-эквивалент. Единицей гамма-эквивалента является миллиграмм-эквивалент радия (мг-экв. Ра). 1 мг-экв. Ра – это гамма-эквивалент такого радиоактивного препарата, гамма-излучения которого при тождественных условиях измерения создает такую же мощность дозы, что и гамма-излучение 1 мг Ра при платиновом фильтре толщиной 0,5 мм. Принято считать, что в таких условиях радий создает мощность дозы 8,4 Р/ч на расстоянии 1 см от источника. Гамма-эквивалент радионуклида М (мг-экв. Ра) связан с его активностью А (мКи) без фильтрации излучения следующим выражением (4):

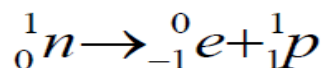
$$M = A \times K_g / 8,4, \quad (4)$$

где K_g – полная гамма постоянная радионуклида – это мощность дозы (в Р/ч) от точечного источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см.

Гамма постоянные некоторых радионуклидов представлены в таблице 4.

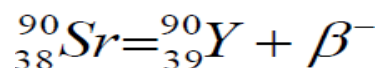
Что же происходит с нуклидами в процессе радиоактивного распада? В качестве примера возьмем атом урана-238, в ядре которого протоны и нейтроны едва удерживаются вместе силами сцепления. Время от времени из него вырывается компактная группа из четырех частиц: двух протонов и двух нейтронов (α -частица). Уран-238 превращается, таким образом, в торий-234, в ядре которого содержатся 90 протонов и 144 нейтрона. Но торий-234 также нестабилен. Его превращение происходит, однако, не так, как в предыдущем случае: один из его нейтронов превращается в протон, и торий-234 превращается в протактиний-234, в ядре которого содержатся 91 протон и 143 нейтрона.

– β -позитронный распад – распад с испусканием одного позитрона (β^+ – частицы (e^+) – обладает массой электрона и зарядом, равным заряду электрона, но противоположным по знаку) и β -распаду предшествует процесс превращения в ядре нейтрона в протон:

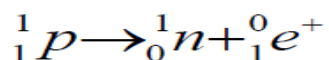


Поэтому при испускании электрона заряд ядра увеличивается на единицу, а массовое число не изменяется.

β -электронный распад характерен для ядер с избыточным числом нейтронов. Примером электронного бета-распада может служить распад изотопа стронция-90:



Позитронному распаду предшествует ядерный процесс превращения протона в нейтрон. Число протонов в ядре при позитронном распаде уменьшается на единицу, а массовое число не изменяется:



Известно, что в атомной массе (Am) любого радионуклида содержится $6,023 \cdot 10^{23}$ атомов (число Авогадро). Можно установить связь между активностью радионуклида A и его массой m (5):

$$A = m \times 6,023 \cdot 10^{23} \times 0,693 / Am \times T_{1/2}, \text{ Бк}, \quad (5),$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада, с; $6,023 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро; m – масса радионуклида.

Из формулы (5) можно получить следующие соотношения (6):

$$\begin{aligned} A &= 1,13 \cdot 10^{13} / (Am T_{1/2}), \text{ где } (T_{1/2}, \text{ с}), \\ A &= 1,88 \cdot 10^{11} / (Am T_{1/2}), \text{ где } (T_{1/2}, \text{ мин}), \\ A &= 3,1 \cdot 10^9 / (Am T_{1/2}), \text{ где } (T_{1/2}, \text{ ч}), \\ A &= 1,3 \cdot 10^8 / (Am T_{1/2}), \text{ где } (T_{1/2}, \text{ сутки}), \\ A &= 3,57 \cdot 10^5 / (Am T_{1/2}), \text{ где } (T_{1/2}, \text{ годы}), \end{aligned} \quad (6)$$

где A – активность 1 г любого радионуклида, Ки.

Удельная активность – общая активность радионуклида, приходящаяся на единицу длины, площади, объема или массы в источнике. Указанные величины носят соответственно названия линейной, поверхностной, объемной и массовой удельной активности радионуклида.

Порядок выполнения заданий

Рассмотрим примеры расчета активности радионуклидов и их превращений при радиоактивном распаде.

Задача 1. Активность A_0 радиоактивного элемента P^{32} на определенный день равна 5 мКи. Определить активность этого элемента через неделю? Период полураспада $T_{1/2}$ элемента P^{32} составляет 14,3 дня.

Решение.

1. Активность любого радиоактивного препарата по истечении времени t определяют по формуле, соответствующей основному закону радиоактивного распада:

$$A_t = A_0 e^{-0,693 t : T}$$

Активность P^{32} через 7 суток:

$$A_7 = 5 \cdot 2,72^{-0,693 \times 7 : 14,3} = 5 \cdot 2,72^{-0,34} = 3,55 \text{ мКи.}$$

2. Для упрощения расчетов в 1954 году И.Н. Верховская предложила универсальный метод расчета поправок на радиоактивный распад. По этому методу время t выражается в долях периода полураспада, т.е. определяется соотношение этих параметров $t : T_{1/2}$, от которого зависит поправочный коэффициент K , рассчитанный И.Н. Верховской и представленный в таблице 5.

Используя этот метод для решения задачи, можно определить, что соотношение $t : T_{1/2} = 7 : 14,3 = 0,49$. По таблице 5 находим поправочный коэффициент $K = 1,41$. Это значит, что активность снизится в 1,41 раза и составит $A_7 = 5 : 1,41 = 3,549 \text{ мКи}$.

Очевидно, что полученные результаты примерно равны, но второй способ решения проще. Если таким способом нужно рассчитать исходную активность, то соответствующий коэффициент умножается на активность радионуклида, данную в условии задачи.

*Таблица 5 – Значение поправочного коэффициента
на радиоактивный распад, выраженный
в долях периода полураспада*

$t : T_{1/2}$	K	$t : T_{1/2}$	K
0	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	3,0	8,00
0,2	1,15	3,5	11,36
0,3	1,23	4,0	16,0
0,4	1,32	4,5	22,65
0,5	1,41	5,0	32,00
0,6	1,52	6	64,00
0,7	1,62	7	128,00
0,8	1,76	8	256,00
0,9	1,86	9	512,00
1,0	2,00	10	1024,00

Задача 2. Рассчитайте гамма-эквивалент иридия-192 активностью 2,2 ТБк.

Решение.

1. Определим активность источника в мКи:

$$2,2 \cdot 10^{12} \text{ Бк} / 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 59,46 \text{ Ки} = 5,946 \cdot 10^4 \text{ мКи}$$

2. Гамма-эквивалент составит:

$$M = 5,946 \cdot 10^4 \text{ мКи} \times 4,65 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи}) / 8,4 = 32915 \text{ мг-экв.}$$

$$\text{Ra} = 32,915 \text{ г-экв. Ra.}$$

Задача 3. Определить активность Co^{60} на 1 сентября 2021 г., если на 1 января 2016 г. активность составляла 10 мг-экв. радия. Период полураспада $T_{1/2}$ Co^{60} составляет 5,3 года.

Решение.

Для удобства расчетов переведем $T_{1/2}$ и t в месяцы. $t=80$ месяцев, $T_{1/2} = 64$ месяца. Активность Co^{60} на заданный момент времени $A_t = A_0 e^{-0,693t : T}$.

$$A_t = 10 \cdot 2,72^{-0,693 \times 80 : 64} = 10 \cdot 2,72^{-0,867} = 4,237 \text{ мг-экв. радия.}$$

Переведем активность, выраженную в мГ-экв. радия, в мКи.

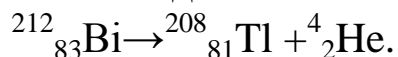
$A = 8,4 \text{ М / Кг}$, где Kg – гамма постоянная $Co^{60} = 13,5 \text{ Р/ч}$

$A = 8,4 \cdot 4,237 : 13,5 = 2,64 \text{ мКи.}$

Задача 4. Определить, в какое ядро превратится ядро $^{212}_{83}\text{Bi}$, испустив α -частицу?

Решение.

Обозначим неизвестное ядро символом ^A_ZX . Так как при α -распаде атомный номер изменяется на -2 , а массовое число на -4 , то $Z = 83 - 2 = 81$, $A = 212 - 4 = 208$. Элемент с порядковым номером 81 в периодической системе – таллий (Приложение 1). Следовательно, ядро $^{212}_{83}\text{Bi}$ превратится в ядро $^{208}_{81}\text{Tl}$. Уравнение реакции имеет вид:



Задача 5. Определить массу радионуклида по его активности, если активность препарата ^{32}P равна 2 мКи, период полураспада 14,5 суток?

Решение.

Учитывая формулы 1 – 3, активность препарата можно записать в виде выражения 7.

$$A = dN/dT = \lambda \times N = \frac{N \times 0,693}{T_{1/2}}, \quad (7)$$

где N – количество ядер вещества, λ – постоянная распада; $T_{1/2}$ – период полураспада.

Количество ядер в образце массой m определяется по формуле 8.

$$N = \frac{m \times N_A}{A}, \quad (8)$$

где N_A - число Авогадро, A - массовое число.

Используя эти формулы, можем вычислить массу:

$$m = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ Ки} \times 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп. в с} \times 14,5 \text{ суток} \times 8640 \text{ с в сутках} \times 32}{6,02 \cdot 10^{23} \times 0,693} = 7,1 \cdot 10^{-12} \text{ г.}$$

Тот же результат можно получить, используя соотношения 6. Так как период полураспада измеряется для данного нуклида в сутках, то можно вычислить активность 1 г этого вещества.

$A = 1,3 \cdot 10^8 / 32 \times 14,5 = 2,8 \cdot 10^5$ Ки. Составив пропорцию, можно узнать массу вещества, имеющего активность $2 \cdot 10^6$ Ки.

Задания

1. Трава на участке выпаса, по данным радиохимического анализа, содержит йод-131 в концентрации 12 мКи/кг. Какова активность по йоду-131 будет через 24 дня, если период полураспада 8 суток? Какую дозу при выпасе на этом участке может получить корова в каждом случае, если рацион зеленой массы составит 15 кг?

2. Активность Co^{60} на 1 января 2019 года составляла 12 Ки. Определите активность этого препарата: а) на 1 мая 2019 г.; б) на 1 января 2021 г.? Период полураспада 5,3 года.

3. Конечная активность P^{32} составила 10 Ки. Определите исходную активность препарата, если период полураспада 14,5 суток?

4. Исходная активность стронция-90 (Sr^{90}) составила 20 мКи. Определите его активность через: а) 7 суток; б) 30 суток; в) 2 года? Период полураспада 28 лет.

5. Определить начальную активность A_0 радиоактивного магния ^{27}Mg массой $m = 0,2$ мкг, а также активность A по истечении времени $t = 1$ ч. Предполагается, что все атомы изотопа радиоактивны, период полураспада 21,3 часа.

6. Определить активность 1 г радия-226 ($^{226}_{88}\text{Ra}$), находящегося в равновесии с дочерними продуктами распада, если $T_{1/2} = 1600$ мин.

7. Активность препарата ^{32}P равна 50 Ки, период полураспада 14,5 суток. Сколько весит такой препарат?

8. Свежеприготовленный препарат содержит 1,4 мкг радиоактивного натрия ($^{24}_{11}\text{Na}$). Какую активность он будет иметь через сутки?

9. Рассчитайте гамма-эквивалент цезия-137 активностью: а) 3200 Бк; б) 58 Ки?

10. Исходная активность радиоизотопа ^{59}Fe равна 15 мКи, требуется рассчитать его активность через: а) 6 суток; б) 36 суток; в) 1 год. Период полураспада $^{59}\text{Fe} = 45,1$ суток.

11. Элемент астат (At^{211}) был получен облучением изотопа висмута-209 ($_{83}\text{Bi}^{209}$) α -частицами ядер гелия. Напишите уравнения ядерной реакции. Сколько частиц гелия в ней приняло участие и какие частицы еще образовались в этой реакции? Ответ поясните.

12. Определите, какой элемент образуется при радиоактивном распаде радия Ra^{226} , если образуется одна α -частица?

13. При бомбардировке ядер атомов бора B^{10} нейтронами был получен изотоп лития Li^7 . Определите промежуточное ядро и выброшенную частицу. Напишите уравнение реакции.

14. В результате бомбардировки изотопа неона Ne^{21} некоторыми частицами образуется фтор и α -частица. Определите бомбардирующую частицу.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон радиоактивного распада. Какие параметры радиоактивности с его помощью можно прогнозировать?

2. Почему происходит радиоактивный распад? Чем отличаются α - и β -распады?

3. Что такое активность радиоизотопа и почему ее нужно учитывать?

4. Для чего рассчитывается гамма-эквивалент радионуклида?

5. Почему и как радиоактивность нуклида связана с его массой и временем распада?

6. Чем отличаются период полураспада от постоянной распада?

7. Как активность радионуклида влияет на дозу, получаемую животным или человеком?

3 ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Вводные пояснения

Ионизирующие излучения не воспринимаются органами чувств. Они могут быть обнаружены при помощи специальных приборов, работа которых основана на физико-химических эффектах, возникающих при взаимодействии излучений с веществом.

Методы регистрации ионизирующих излучений можно разделить на две группы:

1. Ионизационный метод, основанный на регистрации эффектов ионизации;
2. Методы, основанные на регистрации вторичных эффектов:
 - фотографический;
 - химический;
 - экзоэмиссионный;
 - биологический.

При этом под биологическим методом понимают определение реакции живого организма на действие ионизирующих излучений: выживаемость, морфологические и функциональные изменения, время их развития, интенсивность выраженности первичной реакции на облучение.

Приборы для измерения ионизирующих излучений подразделяют на:

1. *Радиометры* – используются для измерения плотности потока и мощности доз излучений, а также активности радионуклидов;
2. *Спектрометры* – предназначены для изучения распределения излучений по энергиям, заряду, массам частиц, то есть, для детального анализа образцов каких-либо материалов, источников ионизирующих излучений;
3. *Дозиметры* – применяют для измерения индивидуальной эквивалентной дозы и мощности доз рентгеновского, бета- и гамма-излучения в диапазоне энергий от 50 кэВ до 2–3 МэВ. Распространенные модели: ДКГ и ДКС (индивидуальные), МКС (до-

зиметр-радиометр) – отличаются по классу точности и опциям (бытовые или профессиональные), количеству и типу детекторов, конструкции (переносные или стационарные) и т.д.

Воспринимающая часть большинства устройств, предназначенных для регистрации ионизирующих излучений, представляет собой разновидность газового конденсатора и состоит из двух изолированных пластин, на которые подается напряжение от батареи. При отсутствии источника излучения воздух между пластинами конденсатора является изолятором, так как через конденсатор ток не проходит. Если на воздух действует ионизирующее излучение, то происходит образование ионов, которые под влиянием электрического поля перемещаются к обкладкам конденсатора и в цепи возникает ионизационный ток. Сила тока, обусловленная ионизацией, зависит от напряжения на обкладках конденсатора. Эта зависимость достаточно сложна и может быть отражена в виде вольт-амперной характеристики газового конденсатора.

Газоразрядные счетчики могут быть выполнены из стекла или металла и имеют напряжение подачи около 400 В. Объем газоразрядного счетчика обычно заполнен инертным газом – аргоном. Давление внутри счетчика меньше атмосферного. В связи с высоким напряжением на обкладках каждый акт ионизации вызывает импульс тока, который может быть зарегистрирован. Для того чтобы возникающий лавинообразный разряд не носил непрерывный характер, в состав газовой смеси вводят высокомолекулярные соединения, прекращающие газовый разряд после каждого акта ионизации.

Кратко остановимся на методах, основанных на регистрации вторичных эффектов.

Фотографический метод основан на использовании различных фотоматериалов с фоточувствительными слоями. Под воздействием ионизирующих излучений в фотоэмульсионном слое, содержащем галогениды серебра, образуются центры скрытого почернения. При их обработке проявителями происходит восстановление металлического серебра, воспринимающегося как черные точки. Не подвергшиеся воздействию ионизирующих излучений молекулы галогенулов серебра растворяются в фиксаже и имеющиеся почернения фотоэмульсионного слоя могут быть из-

мерены с помощью приборов. Плотность почернения пропорциональна действовавшему на вещество ионизирующим излучениям.

На основе этого метода работает прибор ИФКУ-1 (индивидуальный фотометрический контроль), который регистрирует поглощенные дозы в диапазоне от 0,05 до 2 рад и используется на практике в рентгеновских кабинетах для контроля набранных персоналом доз рентгеновского излучения.

Химический метод основан на возникновении под воздействием ионизирующих излучений ионов, атомов и молекул, свободных радикалов, которые вступают в химические реакции между собой и другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о качественной и количественной характеристике ионизирующего излучения.

Данный метод имеет две разновидности. Собственно химический метод, лежащий в основе работы химического гамма-нейтронного дозиметра типа ДП-70М, в котором для регистрации гамма-нейтронного излучения используется раствор азотно-кислого серебра с добавкой солей борной кислоты. Под воздействием ионизирующих излучений ион NO_3 переходит в ион NO_2 , который вступает во взаимодействие с реактивом Грисса, входящим в состав жидкости, и придает раствору характерную малиновую окраску. Степень окраски зависит от количества образовавшихся ионов NO_2 и, следовательно, от дозы излучения. Степень изменения окраски может быть определена колориметрическим методом. Однако данный метод измерения ионизирующих излучений, особенно, если он используется в полевых условиях, достаточно груб, что и является его недостатком.

В основе второго метода лежит явление люминесценции – свечение вещества, вызванное возбуждением атомов и молекул под воздействием ионизирующих излучений, проявляющееся кратковременными вспышками на каждое воздействие ионизирующего излучения. Разновидностями сцинтилляционного метода являются термо- и фотолюминесценция. Метод используется в работе приборов ДРГ-01, 02, 03, 04 (цифра обозначает диапазонную разницу измерений) – детектор радиационный гамма-излучений, предназначенный для контроля условий труда при работе с ионизирующими излучениями.

Реализация фотолюминесцентного метода регистрации ионизирующих излучений получила применение в измерителе дозы ИД-11. Суть его работы состоит в том, что некоторые сорта стекол с различными добавками меняют свои свойства под воздействием ионизирующих излучений.

Эффект термолюминесценции заключается в том, что в некоторых солях, в том числе солях лития, под воздействием ионизирующих излучений возникают центры возбуждения, которые в дальнейшем при нагревании начинают испускать видимый свет. Интенсивность свечения пропорциональна накопленной дозе. В дальнейшем интенсивность свечения может быть измерена с помощью измерительного устройства.

Рассмотрим характеристики дозиметра ИМД-5 (рис. 4), в котором используется газоразрядный счетчик. Он предназначен для измерения γ -излучения и наличия радиоактивного загрязнения местности и различных предметов по β -излучению.

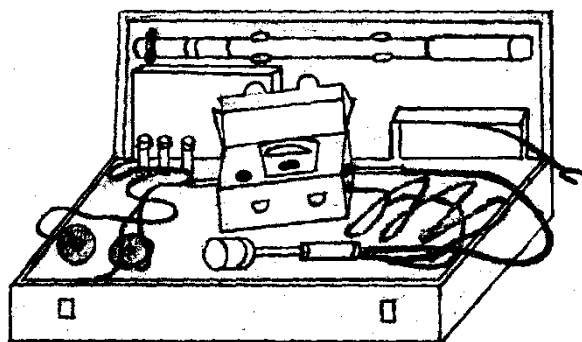


Рисунок 4 – Общий вид дозиметра ИМД-5.

Мощность дозы гамма-излучения определяется в миллирадах в час (мрад/ч) или радах в час (рад/ч) в той точке пространства, в которой помещен при измерениях соответствующий счетчик прибора. Прибор имеет возможность измерять уровни излучения по гамма-излучению от 0,05 мрад/ч (мР/ч) до 200 рад/ч (Р/ч).

Прибор состоит из следующих основных частей: зонд с гибким кабелем, измерительный пульт, головные телефоны, футляр с контрольным источником. Кроме того, в комплект прибора входит укладочный ящик, в котором размещаются удлинительная штанга, колодка питания, комплект запасного имущества и комплект технической документации.

Зонд прибора (рис. 5) представляет собой стальной цилиндр, в котором размещаются детекторы излучения, усилитель-нормализатор и другие элементы схемы. В качестве детекторов излучения используются галогенные счетчики типов СТС-5 и СИ-ЗБГ.

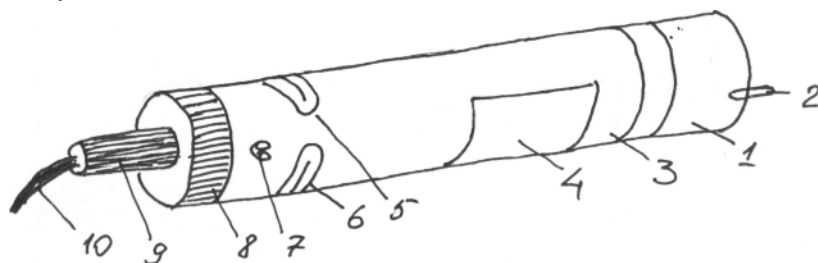


Рисунок 5 – Зонд прибора. 1 – стальной корпус зонда; 2 – опорный штифт; 3 – вращающийся латунный цилиндрический экран с вырезом; 4 – окно в кожухе зонда; 5 – фиксатор; 6 – стопорный буртик; 7 – опорная вилка; 8 – накидная гайка; 9 – плата; 10 – гибкий кабель

В стальном корпусе цилиндра имеется окна для регистрации β -излучения и γ -излучения, которые устанавливаются путем вращения цилиндра. Для смены положения экрана необходимо слегка подвинуть его в сторону опорного штифта (фиксатор выходит из паза стопорного буртика) и повернуть до желаемого положения.

Электрическая часть зонда крепится на плату. Корпус зонда соединяется с плато при помощи накидной гайки. Для удобства измерения зонд имеет ручку. Гибкий кабель длиной 1,2 м соединяет зонд с пультом прибора.

Диапазон измерений γ -излучений разбит на шесть поддиапазонов, β -излучений – на три (таблица 6).

Таблица 6 – Показатели диапазонов измерения

Под-диапа-зон	Положение ручки пере-ключателя	Шкала прибора	Единица измерений	Пределы измерений
1	200	0–200	рад/ч	5–200
2	$\times 1000$	0–5	мрад/ч	500–5000
3	$\times 100$	0–5	мрад/ч	50–500

Продолжение таблицы 6

4	$\times 10$	0–5	мрад/ч	5–50
5	$\times 1$	0–5	мрад/ч	0,5–5
6	$\times 0,1$	0–5	мрад/ч	0,05–0,5
4	$\times 10^4$	0–5	част/мин·см ²	5000–50000
5	$\times 10^3$	0–5	част/мин·см ²	500–5000
6	$\times 10^2$	0–5	част/мин·см ²	50–500

Порядок выполнения заданий

Подготовка прибора к работе, его проверка.

1. Извлечь прибор из укладочного ящика и провести внешний осмотр на отсутствие механических повреждений.

2. Если прибор подготавливается к работе впервые или после долгого перерыва, необходимо установить или заменить источники питания. Для установки источников питания отвинчиваются винты, и снимается крышка отсека питания.

3. Включить прибор, проверив его работоспособность. Для этого ручку переключения диапазонов устанавливают на метке (▼). Стрелка прибора в случае его работоспособности должна располагаться примерно посередине шкалы, отмеченной черным цветом.

4. Вращением ручки устанавливают необходимый для измерения режим.

С помощью специального радиоактивного источника можно проверить работу прибора на всех поддиапазонах, кроме первого.

Проверка работоспособности проводится следующим образом:

1. Открывают контрольный источник, вращая защитную пластинку (экран) вокруг оси;

2. Экран зонда устанавливают в положение для улавливания γ -излучения;

3. Устанавливают зонд опорными точками над источником;

4. Подключают головные телефоны.

Работоспособность прибора проверяется по наличию щелчков в телефонах. В исправном приборе частота щелчков увеличивается с увеличением интенсивности излучения или при прибли-

жении датчика к контрольному препарату.

Измерение уровня излучения.

Перед измерением уровней гамма-излучения необходимо установить режим и проверить работоспособность прибора. Установка режима работы проводится перед каждым измерением уровня гамма-излучения. Замер уровня гамма-излучения проводится на высоте 1 м, т.е. на уровне «критических» органов, имеющих быстроделаящиеся клетки, которые являются наиболее радиопоражаемыми (лимфоидная ткань, эпителий кишечника, клетки красного костного мозга, эпителий половых желез, клетки кожи).

Для определения мощности дозы γ -излучения необходимо выполнить следующее:

- а) поставить экран зонда в положение γ ;
- б) переключатель поддиапазонов поставить в пятое или шестое положение. Поднести зонд к объекту. Через 15 секунд следует провести отсчет по положению стрелки прибора на нижней шкале. Если стрелка прибора на каком-либо поддиапазоне отклоняется незначительно, то следует проводить измерение на более чувствительном поддиапазоне. Записать полученное показание прибора;
- в) провести расчет полученных показаний. Для этого показания прибора должны быть умножены на соответствующие коэффициенты, зависящие от поддиапазона и представленные в таблице 6. Например, если измерения проводили в положении ручки в шестом поддиапазоне, то показания прибора нужно умножить на 0,1. Предположим, что записанное показание 0,2. Это будет соответствовать значению 0,02 мрад/ч или 20 мкрад/ч. При необходимости можно использовать внесистемную единицу Р/ч.

Для измерения уровня β -излучения необходимо открыть соответствующий экран зонда. Установить ручку в положения 4, 5 или 6 поддиапазонов, провести замер и вычислить результат с использованием таблицы 6.

Правила проведения радиометрического контроля.

При радиометрическом контроле измерение степени загрязненности объектов производится в местах, где внешний фон не превышает предельно допустимого загрязнения объекта более

чем в 3 раза. Гамма-фон измеряется на расстоянии 15–20 м от загрязненных объектов.

Для измерения степени загрязненности зонд необходимо поднести к поверхности объекта и, медленно перемещая его, определить место максимального загрязнения по наибольшей частоте щелчков в головных телефонах или по максимальному показанию микроамперметра. Затем зонд надо поднести к поверхности объекта на высоте 1–1,5 см и снять показания прибора. Сравнить полученный результат с фоновым значением. В том случае, если он больше, величина радиоактивного загрязнения объекта определяется как разность полученного значения уровня радиации на объекте с величиной γ фона. Загрязненность объектов измеряется на всех поддиапазонах, кроме первого.

Для обнаружения бета-излучений на загрязненном объекте необходимо установить экран зонда в положение β . Увеличение показаний прибора на одном и том же поддиапазоне по сравнению с показаниями по гамма-излучению будет свидетельствовать о наличии β -излучения, а следовательно, о загрязнении обследуемого объекта бета-, гамма- радиоактивными веществами, что повышает степень опасности загрязненного объекта по отношению к контактному обращению с этим объектом.

При измерении загрязненности жидких и сыпучих веществ на зонд надевается чехол из полиэтиленовой пленки для предохранения датчика от загрязнения радиоактивными веществами.

Загрязненность воды и продовольствия меньше, чем поверхности объекта, следовательно, измерения их могут проводиться при меньшем гамма-фоне. Гораздо достовернее измерение загрязненности воды и продовольствия в защитных сооружениях, которые существенно снижают гамма-фон.

Для удобства работы при измерении загрязнения различных объектов используется удлинительная штанга. Она же позволяет при необходимости увеличить расстояние от дозиметриста до контролируемого объекта.

Задания

1. Заполните таблицу 7, используя вводные пояснения и дополнительные источники информации.

Таблица 7 – Приборы для обнаружения ионизирующих излучений

Класс прибора	Назначение	Метод, лежащий в основе детектирования ионизирующего излучения	Примеры (названия, приборов)
Радиометры			
Дозиметры			
Спектрометры			

2. Используя порядок выполнения задания по этой теме, подготовьте прибор к работе, проверьте его работоспособность и проведите измерение уровней γ - и β -излучений в аудитории.

3. Разделившись на группы, проведите замеры уровней ионизирующих излучений в разных помещениях университета, заполните таблицу 8. Сделайте вывод о радиационном фоне на территории ПГАУ.

Таблица 8 – Результаты измерения уровня ионизирующих излучений

Помещение	Показание прибора при положении зонда		Расчетное значение		Примечания
	γ -	β -	γ -	β -	

Контрольные вопросы

1. Какие приборы используются для регистрации ионизирующих излучений?
2. Как устроен счетчик Гейгера?
3. Как правильно измерить радиационный фон в здании и на открытом воздухе?
4. Для чего используются спектрометры и в чем их отличие от дозиметров?
5. Как провести замер мощности дозы излучения от животного, кормов и продуктов питания?

4 МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

Вводные пояснения

Государственный мониторинг радиационной обстановки на территории РФ – составная часть *государственного экологического мониторинга*. Он осуществляется в рамках единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки на территории России и ее функциональных подсистем. Ведение единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки осуществляется уполномоченными Правительством РФ федеральными органами исполнительной власти, а также Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом».

Порядок организации и ведения единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки, полномочия органов и организаций, порядок и периодичность представления данных мониторинга радиационной обстановки в единую государственную автоматизированную систему мониторинга радиационной обстановки на территории РФ и ее функциональные подсистемы устанавливаются Правительством РФ.

Задачи системы радиационного мониторинга включают:

- наблюдение за радиационными параметрами контролируемых природных сред;
- предоставление оперативной информации.

Наблюдения за содержанием радионуклидов в объектах природной среды на территории РФ проводятся сетью радиационного мониторинга Росгидромета. Руководство его работой на федеральном уровне осуществляется Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета через территориальные филиалы – Центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и региональные радиометрические лаборатории. В состав сети государственного радиационного мониторинга Росгидромета входят пункты наблюдений за содержанием радиоактивных веществ в приземной атмосфере

(53 пункта), атмосферных выпадениях (415), атмосферных осадках (33), поверхностных пресных водоемах и морских водах (73), а также 1307 станций и постов наблюдения для измерения мощности экспозиционной дозы излучений.

Система радиоэкологического мониторинга использует данные:

- мобильных средств контроля: автомобильный и водный комплексы;

- стационарных средств контроля, которые интегрированы в режимную сеть наблюдения (134 пункта), сеть стационарных постов контроля воздушного (шесть) и водного бассейна (64 поста), сеть автоматических измерителей радиационного фона – 50 точек. Измерители радиационного фона размещены на автомагистралях, крупных предприятиях, в местах массовых миграций населения с учетом планомерного охвата всех административных округов. Это полностью автоматизированный элемент мониторинга, выполняющий функции непрерывного измерения радиационного фона в автоматическом режиме отслеживания заданных пороговых уровней фона и выход на связь с информационным центром при их превышении.

При получении сведений о повышении доз ионизирующих излучений, работе с радиоактивными веществами, а также в случае аварий на АЭС и других чрезвычайных ситуациях проводят оценку радиационной обстановки и пользуются методами прогнозирования радиационного поражения людей.

Радиационная обстановка – это ситуация, сложившаяся в результате радиационного загрязнения местности, оказывающая влияние на деятельность сил ГОЧС и населения.

Радиационная обстановка характеризуется масштабом заражения (размерами зон – их длина и ширина) и степенью радиационного загрязнения местности (уровнями радиации), являющимися основными показателями опасности для людей.

Целью оценки является определение возможного влияния на работоспособность рабочих, служащих и личного состава формирования ГОЧС, населения, позволяющие своевременно принять меры защиты людей и обосновать решения по организации производственной деятельности и проведению специальных мероприятий.

Оценка включает: определение масштабов и степени радиационного загрязнения местности; анализ их влияния на деятельность экономики, сил ГОЧС и населения; выбор наиболее целесообразных вариантов действий, при которых исключается радиационное поражение людей.

Оценка радиационной обстановки методом прогнозирования производится в управлениях, отделах (штабах) по делам ГОЧС города, области, края и т.п. Исходными данными для прогнозирования, например, при ядерных взрывах и радиационных авариях являются: мощность, вид, координаты эпицентра и время взрыва, направление и скорость среднего ветра. Оценка по прогнозу сводится к определению длины и ширины зон радиационного загрязнения и к нанесению их на карту. При этом также рассчитываются время выпадения осадков, ожидаемые уровни радиации на объектах и в тех или иных населенных пунктах. Оцениваются возможные дозы облучений для персонала и населения. Преимуществом этого метода является быстрота получения данных о возможном радиационном загрязнении и опасности для людей. Поэтому, не смотря на приблизительный характер, он позволяет заблаговременно принять меры по защите людей, установить и уточнить задачи радиационной разведки, проводимой на местности.

Решение задач по оценке радиационной обстановки производится по формулам, полученным в результате интегрирования и преобразования зависимости, которая описывает закон изменения уровней радиации на местности:

$$P_t = P_0 (t/t_0)^{-n} , \quad (9)$$

где P_0 – уровень радиации в рассматриваемый момент времени t_0 после аварийного выброса (ядерного взрыва); P_t – уровень радиации в рассматриваемый момент времени t после аварийного выброса РВ (ядерного взрыва); n – показатель степени, характеризующий величину спада радиации во времени и зависящий от изотопного состава радионуклидов (например, после ядерного взрыва $n = 1,2$, а при аварии на Чернобыльской АЭС – 0,4).

Величина $(t/t_0)^{-n} = K_n$ обеспечивает возможность пересчитывать измеренные уровни радиации на различное время t после

аварии (катастрофы) на АЭС или после ядерного взрыва (Приложение 2).

При оценке степени радиоактивного загрязнения местности и объектов внешней среды используют *единицы радиоактивности*. Как уже упоминалось ранее, единицей активности радиоактивного вещества в международной системе СИ является *беккерель*, Бк (один распад в секунду). Внесистемная единица измерения активности – *кюри* (Ки).

Плотность радиоактивного загрязнения территории выражают в Ки/км^2 . При плотности загрязнения почвы 1 Ки/км^2 (37 кБк/м^2), на квадратном метре каждую секунду происходит распад 37000 атомов.

Степень загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания, воды, воздуха выражают в единицах активности в расчете на единицу массы (пКи/кг, мкКи/кг, кБк/кг и т.п.) или на единицу объема (пКи/м³, пКи/л, кБк/л и т.п.).

При радиоактивности территории 1 Ки/км^2 (37 кБк/м^2) живые организмы, в том числе человек, могут получить эквивалентную дозу $0,8 \text{ мЗв/в год}$. Если активность выражена в мкР/час, то коэффициентом для получения эквивалентной дозы в мЗв/год служит $0,05$. 1 Бк/м^2 соответствует эквивалентной дозе $0,022 \text{ мкЗв/год}$. Таким образом, по плотности радиоактивного загрязнения территории легко можно вычислить эквивалентную дозу, которую получит организм животного, постоянно находясь на этой территории.

Расчет уровня радиационного излучения на местности в зависимости от времени производится по формуле 10:

$$P_t = P_{\text{изм.}} \times K_n, \quad (10)$$

где $P_{\text{изм.}}$ – уровень радиации, измеренный в момент времени t после аварийного выброса; P_t – уровень радиации в момент времени t , на который пересчитывается измеренный уровень радиации; K_n – табличное значение.

Доза радиации на заданный промежуток времени вычисляется по формуле 11:

$$D = \frac{t \times P_{\text{ср.}}}{K_{\text{ос.}}}, \quad (11)$$

где D – доза, получаемая организмом; t – время пребывания на загрязненной территории; P_{cp} – средний уровень радиационного загрязнения; K_{oc} – коэффициент ослабления, который учитывается, если человек находится в здании, в транспорте, использует защитный экран.

При работе с радионуклидами полученная доза будет обратно пропорциональна расстоянию, вычисляется по формуле 12:

$$D = \frac{A \times K_g \times t}{R^2}, \quad (12)$$

где D – доза, получаемая организмом; t – время пребывания на загрязненной территории; K_g – гамма-постоянная для радионуклида; A – активность радионуклида; R – расстояние до радионуклида.

Порядок выполнения заданий

Рассмотрим примеры прогнозирования радиационного загрязнения и полученных доз облучения.

Задача 1. На городской АЭС произошла авария с радиоактивным заражением местности. Измеренный уровень радиации через 2 ч после аварии составил 60 рад/ч. Определить ожидаемый уровень радиации через 6 ч после аварии.

Решение.

Измеренный уровень радиации пересчитываем на заданное время по формуле 10:

$$Pt = K_{пер} \times P_{изм}, \text{ или } P_6 = 0,64 \times 60 = 38,4 \text{ (рад/ч)}$$

($K_{пер} = 0,64$ определяем по Приложению 2).

Задача 2. Какую дозу получит кролик за 30 часов облучения раствором йода-131 активностью 8 мКи/см², если колба с радиозотопом находится в 30 см от животного? Гамма-постоянная йода-131 равна 2,3Р/ч.

Решение.

Эта задача на расчет активности радионуклидов и дозы, создаваемой гамма-излучением, решается по формуле 12.

$$D = (2,3Р/ч \times 8 \text{ мКи/см}^2 \times 30ч) : 30\text{см}^2 = 6,13 \text{ мКи}$$

Задача 3. Вследствие аварии на АЭС сводной команде ГОЧС предстоит работать 6 ч на радиоактивно зараженной местности ($K_{осл} = 1$). Определить дозу радиации, которую получит

личный состав команды при входе в зону через 4 ч после аварии, если уровень радиации к этому времени составил 5 рад/ч.

Решение.

Дозу радиации за 6 ч определяем по формуле 11, где P_{cp} необходимо определить по формуле 10.

$P_{cp} = K_n \times P_{изм.}$ или $P_{10} = 0,7 \times 5 = 3,5$ (рад/ч) (K_n находим по таблице Приложения 2).

Тогда $D = (3,5 \times 6) : 1 = 21$ рад.

Задания

1. Определить время допустимого нахождения человека на открытой местности в период аварийной ситуации при интенсивности радиационного заражения 1 Зв/час. Предельно допустимая доза радиации – 10 бэр.

2. Оцените возможную эквивалентную дозу человека и животных, если фоновое излучение на территории составляет:
а) 45 мКи; б) 50 мР/час; в) 150 Бк/м²?

3. Экспозиционное излучение внутри жилого дома составило 18,2 мкР/час, фоновое излучение составляет 14 мкР/час. Примут ли дом в эксплуатацию, если предельно допустимая доза для населения 5 бэр?

4. Определить допустимое число 8-часовых смен нахождения человека в поле, если дозовый предел составляет 1000 мкЗв/год, дозовая постоянная – 0,07 (мкЗв/ч)/(Ки/км²), плотность радиоактивного загрязнения территории ¹³⁷Cs – 10 Ки/км², ⁹⁰Sr – 4 Ки/км² и дозе годового внутреннего облучения 400 мкЗв.

5. На рабочем месте имеем радионуклид ¹³¹I ($K_g = 2,3$ Р/ч), активностью 37 мКи. Какую дозу получит экспериментатор за 2 часа работы, если он находится на расстоянии 0,5 м от объекта? Предельно допустимая доза (ПД) составляет 17 мР/сут.

6. Какую дозу получит персонал, работающий с радиоизотопом кобальта-60 на расстоянии 30 см, в течении 20 минут в день при пятидневной рабочей неделе, если активность изотопа 20 мКи, гамма-постоянная 12,9? Какое время в год можно работать с таким радионуклидом, если допустимая нагрузка для персонала 50 мЗв/год?

7. Мощность поглощенной дозы при работающем электронном микроскопе 0,001 мГр/мин. Сколько часов в год могут рабо-

тать при включенном микроскопе сотрудники, если предельная допустимая доза 50 мЗв/год?

8. Мощность поглощенной дозы на открытой территории после аварии составила 30 мР/час. Определите допустимое время работы персонала на открытой местности и в кирпичном здании с коэффициентом ослабления 0,6, если предельная допустимая доза 17мР/сутки?

9. Рабочие прибыли на место аварии с уровнем радиационного загрязнения 3Р/час. Определите дозу, которую получают рабочие за 4 часа нахождения в промышленном здании с коэффициентом ослабления 0,2?

10. Определить ожидаемый на промышленном объекте уровень радиации через 5 ч после аварии на АЭС, если измеренный на территории завода уровень радиации через 1,5 ч после аварии составил 35 рад/ч.

11. Определить дозу, которую получают рабочие и служащие на радиоактивно зараженной местности в производственных зданиях объекта ($K_{осл} = 7$) 6 ч, если облучение началось через 3 ч после аварии на АЭС и уровень радиации к этому времени составил 2 рад/ч?

12. Определить допустимую продолжительность работы личного состава формирования ГО на радиоактивно зараженной местности ($K_{осл} = 7$), если измеренный уровень радиации при входе в зону через 2 ч после аварии на АЭС составлял 3 рад/ч. Заданная доза радиации 10 рад.

Контрольные вопросы

1. Как проводится мониторинг радиационной обстановки в РФ?
2. Каковы задачи радиационного мониторинга?
3. Для чего и как проводится прогнозирование доз облучения после аварий на АЭС?
4. Как зависит полученная организмом животного или человека доза облучения от активности источника и расстояния до него?
5. Что такое плотность радиоактивного загрязнения и в каких единицах она измеряется?

5 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЯ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ

Вводные пояснения

Контроль радиационной ситуации и прогноз состояния здоровья животных на ближайшее время и в перспективе, а также контроль загрязненности получаемой продукции – основная задача ветеринарной службы в условиях радиационной опасности. Если плотность радиоактивных выпадений высокая и существует реальная опасность массовых и глубоких поражений животных, то их необходимо перевести на стойловое безвыгульное содержание, молодняк – на подсос, а в последующем организовать эвакуацию скота. В зависимости от вида радионуклидов используют антидоты и организуют водопой. Данная ситуация наблюдалась в 30-километровой зоне вокруг Чернобыльской АЭС. В этот период с целью защиты щитовидной железы от поражения радиоактивным йодом животным давали препарат KI.

Через 4....6 суток после окончания выпадения радиоактивных осадков и распада, коротко живущих изотопов реальная опасность поражения людей и животных снижается в сотни раз. Основная задача в этот период – определение примерного радионуклидного состава выпадения, плотности радионуклидного залегания, степени загрязнения кормов и кормовых угодий. Также необходимо провести диспансеризацию всего поголовья с целью сортировки животных.

По опыту чернобыльской катастрофы были разработаны простые объективные тесты оценки состояния и жизнеспособности животных, согласно которым необходимо выявлять животных со следующими изменениями: нарушением органов дыхания, с ректальной температурой ниже 37 градусов С, содержанием лейкоцитов в венозной крови 5000 в одном мм³, толщиной кожной складки в области шеи более 12 мм, длиной волос на холке более 80 мм и курчавостью.

У таких животных выборочно исследуют титры аутоантител к тканям щитовидной железы и определяют радиоиммунологиче-

ским методом уровень тиреоидных гормонов в сыворотке и плазме крови. Производят контрольный убой животных (5 % общего числа), у которых определяют массу щитовидной железы и оценивают состояние околопочечной и перикардиальной жировой ткани. Состояние органов дыхания определяют с помощью функциональной нагрузки – перегона животных в течение 1..3 мин. После этого выявляют животных с хриплым везикулярным и затрудненным дыханием и кашлем.

Кожную складку определяют в области шеи с помощью кушетметра или штангенциркуля.

При повышении титров аутоантител к тканям щитовидной железы более 2,5 балла, снижении концентрации тироксина менее одного мкг/100 мл и массы щитовидной железы меньше 4 грамм, при наличии слизистого перерождения околопочечной или перикардиальной жировой ткани животных выбраковывают. А остальных животных либо эвакуируют, либо содержат на месте с соблюдением комплекса мер, направленных на снижение последующей дозовой нагрузки и радионуклидного загрязнения организма. При первой же возможности этих животных заменяют на новых, не попавших под радиоактивное воздействие, предварительно проведя комплекс мер прижизненной очистки организма с целью получения пригодной в пищу продукции.

Задача ветеринарной службы – проведение мероприятий, направленных на снижение заболеваемости животных вирусными, бактериальными инфекциями и незаразными болезнями, на профилактику нарушений иммунной системы, обмена веществ. Вакцинацию животных проводят по обычной схеме. В пострадавших хозяйствах исследуют всех животных на туберкулез и бруцеллез, положительно реагирующих сразу отправляют на санитарный убой.

Чтобы уменьшить ущерб, сохранить здоровье животных, обеспечить их воспроизводство, получить доброкачественную и незагрязненную РВ продукцию на зараженной местности, необходимо правильно организовать режим содержания животных.

Кормление животных является главным. В первую очередь, потому что основное количество РВ поступает в организм животного с кормами, а во-вторых, получение чистых кормов – пер-

воочередная задача, без решения которой нельзя рассчитывать на успех.

Решая вопрос о режиме содержания животных на территории загрязненной РВ, надо ставить три неразделимые между собой цели: создать безопасные условия для работы обслуживающего персонала, второе – обеспечить безопасность животных и третье – получить животноводческую продукцию с минимальными (допустимыми) концентрациями РВ.

Если во время выпадения радиоактивных осадков животные находились на пастбище, их надо немедленно перегнать на незагрязненную территорию. Кратчайший путь в данном случае – маршрут, проложенный под углом 90° к направлению движения радиоактивного облака.

На незагрязненной территории или там, где уровни радиации допустимы, животные проходят ветеринарный осмотр и дозиметрический контроль. В зависимости от показаний ветспециалисты сортируют их, направляя на ветеринарную обработку или в хозяйство на стойловое содержание.

Те животные, которые проходили ветеринарную обработку, могут быть направлены на убой, на лечение или в хозяйство, где должны содержаться отдельно от других, под постоянным наблюдением ветеринаров.

Если при приближении радиоактивного облака животные были вблизи фермы, их следует немедленно укрыть. После этого лишний обслуживающий персонал покидает помещение, плотно закрыв двери, и уходит в укрытие или другое защищенное помещение. Для дежурства остается 2–3 человека. Сразу же после размещения животных им задают немного грубых кормов из запасов, созданных внутри фермы.

Продолжительность пребывания в помещениях зависит от температур наружного воздуха, скорости ветра, количества животных.

Если замечено, что у животных участилось дыхание, появились слюноотделение и потливость, значит, повысилось содержание углекислого газа (зажженная спичка моментально гаснет при содержании в воздухе 5 % CO_2) и им не хватает кислорода. В этом случае нужно немедленно проветрить помещение, открыв окна и двери с подветренной стороны, выдвинуть задвижки вен-

тиляционных труб.

Животных содержат в помещениях до тех пор, пока не будет ликвидирована опасность поражения, т.е. уровень радиации на местности не снизится до установленных норм.

Первое кормление и дойку следует провести через 4–6 ч после укрытия. В последующем их проводят раз в сутки. Корм и вода даются одновременно. При недостатке воды следует использовать сочные корма: картофель, свеклу, турнепс, капусту, морковь и другие корнеплоды. Соль на этот период из рациона исключается.

Минимальная суточная норма кормов для укрытых животных на одну голову примерно такая: крупному рогатому скоту – 5–6 кг сена или 4–5 кг сена и 1–2 кг концентратов, 20–30 л воды; овцам и козам – 0,5–1 кг сена, 4–5 л воды; свиньям 2–3 кг концентратов, 6–8 л воды.

Кормить животных в начальный период после выпадения радиоактивных осадков рекомендуется «чистыми» кормами. Основную угрозу для человека и животных в это время представляет радиоизотоп йод-131. Через 1–2 месяца, когда уменьшится опасность поражения йодом-131, главными и наиболее опасными радионуклидами останутся на длительное время стронций-90, цезий-134 и 137.

Основу кормовых рационов должны составлять сеяные травы или корма, полученные с полевых севооборотов. Такие корма при прочих равных условиях меньше будут загрязнены РВ, чем полученные с естественных лугов и пастбищ, где радиоактивные вещества после выпадения концентрируются в верхнем 5-сантиметровом слое (дернине). Сено с естественных лугов не должно превышать половину суточного рациона.

Чернобыль подтвердил, что при составлении рационов для различных групп животных необходимо учитывать следующее: дойным коровам и беременным животным скармливать в первую очередь зерно, грубые корма злаковых культур, кукурузу, картофель. Крайне нежелательно включать в рацион ботву корнеплодов, так как в ней содержится повышенное количество стронция-90. Необходимо увеличить количество минеральных добавок, содержащих калий и кальций. Их можно давать в виде мясокостной или костной муки и трикальций фосфата. Если в рационе дойных

коров увеличить долю кальция с 50–70 г до 220–240 г в сутки, то концентрация стронция-90 в молоке снизится на 30% .

Чернобыль также показал, что при уровне загрязнения до 0,05 мР/ч скот можно пасти без ограничений. При 0,15–0,40 мР/ч – только рабочий и откормочный скот, а также дойных коров, но при условии, что их молоко будет перерабатываться на масло.

Если возникнет необходимость эвакуировать скот, то в первую очередь это осуществляется из района, непосредственно примыкающего к месту аварии. Прибывший из зоны заражения скот осматривают и подвергают дозиметрическому контролю.

Опыт ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС показал, что в тех хозяйствах, где своевременно приступили к проведению мероприятий по рациональному ведению сельского хозяйства на территории загрязненной РВ, уже сейчас получают чистую продукцию животноводства, пригодную для питания человека и всех видов переработки.

В случае радиационной опасности и ведении хозяйства в условиях радиационного загрязнения территорий используют ниже следующие методы контроля и прогнозирования.

Дозиметрический контроль осуществляется регулярно с помощью радиометров и дозиметров по методике, описанной выше. При этом определяется мощность экспозиционной дозы на открытом воздухе и внутри животноводческих помещений. Замер производят по периметру не менее шести раз, после чего рассчитывают среднее значение.

Измерение фона проводится на расстоянии 1 м от поверхности земли – P_{ϕ} . Измерение мощность дозы – на расстоянии 1–1,5 см от поверхности тела животного – $P_{изм.}$

Мощность дозы облучения, создаваемая поверхностью тела животного – $P_{об}$ рассчитывается по формуле 13:

$$P_{об} = (P_{изм} - P_{\phi}) : K, \quad (13)$$

где K – коэффициент учитывающий экранирующее действие тела животного (для крупного рогатого скота $K = 1,2$).

Допустимые уровни загрязнения: КРС – на военное время – 100 мР/ч, при аварии на АЭС – 1 мР/ч. Кожные покровы людей, соответственно, – 50 мР/ч и 0,1 мР/ч.

Прогнозирование содержания радионуклидов в кормах и животноводческой продукции осуществляется с помощью коэффициентов концентрации, накопления и перехода.

Коэффициент концентрации радионуклидов – это отношение удельной активности радионуклида в организме к его активности в окружающей среде.

Коэффициент перехода (K_p) – это отношение удельной активности радионуклида в сухом растении (например, зерне) Бк/кг к плотности загрязнения почвы, на которой выращено растение (кБк/м²).

Коэффициент накопления радионуклидов в растениях и животных (K_n) – это отношение удельной активности радионуклида в сухом растении Бк/кг к удельной активности 20-см пахотного сухого слоя почвы Бк/кг, на которой выращено растение или отношение удельной активности радионуклида в организме животного к содержанию радионуклида в его кормах.

Величина K_n позволяет прогнозировать содержание радионуклида в растениях по его содержанию в почве, а также содержание радионуклидов в разных звеньях питательной цепи.

У растений этот коэффициент перехода (K_p) не отличается от коэффициента накопления (K_n), численно он равен удельной активности растения при уровне загрязнения почвы в 1 Ки/км².

Для прогноза уровня загрязнения конкретной культуры радионуклидами ¹³⁷Cs или ⁹⁰Sr необходимо коэффициенты, рассчитанные для плотности загрязнения почв, 1 Ки/км² (37 кБк/м²) умножить на величину плотности фактической загрязненности почвы (формула 14):

$$A = B \times K_N \times 37, \quad (14)$$

где A – уровень загрязненности растениеводческой продукции, Бк/кг; B – плотность загрязнения почвы, Ки/км²; K_N – коэффициент накопления (таблица 9); 37 – коэффициент для перевода нКи в Бк.

Сопоставляя полученную величину с предельно допустимой, определяем возможность использования корма.

*Таблица 9 – Коэффициенты перехода радионуклидов в сено
и продукцию животноводства
(Н.А. Сироткин, Р.Г. Ильязов, 2000)*

Радионуклид	Звено миграции	Кп
¹³¹ I	Сено	$7,7 \cdot 10^{-6}$
	Молоко	$1,3 \cdot 10^{-6}$
	Мясо	$1,3 \cdot 10^{-6}$
¹³⁷ Cs	Сено	$5,3 \cdot 10^{-6}$
	Молоко	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Мясо	$5,9 \cdot 10^{-7}$
⁹⁰ Sr	Сено	$4,0 \cdot 10^{-6}$
	Молоко	$3,1 \cdot 10^{-8}$
	Мясо	$8,0 \cdot 10^{-8}$
¹⁴¹ ¹⁴⁴ Ce	Сено	$3,8 \cdot 10^{-6}$
	Молоко	$3,5 \cdot 10^{-9}$
²³⁵ ²³⁸ U	Сено	$3,5 \cdot 10^{-8}$
²³⁹ Pu	Сено	$3,5 \cdot 10^{-6}$

Можно использовать метод определения накопления радионуклидов в растениях с помощью комплексного показателя.

Для этого пользуются формулой 15:

$$A = (КП \times a) : c, \quad (15)$$

где A – содержание стронция или цезия в почве, с. ед.; c – содержание кальция (Са) на 100 г почвы, мг-экв.; a – плотность загрязнения почвы радионуклидом, мКи/км² или Бк/м²; $КП$ – комплексный показатель по В.М. Ключковскому (таблица 10).

*Таблица 10 – Величина комплексного показателя (КП)
для сельскохозяйственной продукции*

Вид продукции	Значение КП	
	экстремальные	средние
Сено естественных лугов	30–200	60
Клевер	13–16	15
Люцерна	11–14	12
Силосные культуры и солома	9–16	14
Зерно злаковых и бобовых	7–11	9

Оценка загрязнения радионуклидами животноводческой продукции несколько сложнее, поскольку переход радионуклидов в молоко и мясо происходит из различных составляющих рациона животного, имеющих разный уровень загрязнения.

Кроме того, кормовой рацион животных различен в стойловый и пастбищный периоды, что ставит перед необходимостью дифференцированных прогнозных оценок для этих периодов. Обычно в стойловый период уровень загрязнения продукции, особенно в общественном секторе, уменьшается вследствие снижения в рационе удельного веса сена и трав с естественных угодий.

Суммарное количество радионуклида, поступающего в организм животного с пищей, определяется с учетом усредненного суточного рациона животных (СР). Результат расчета суммируется по всем компонентам рациона и всем радионуклидам, представляющим интерес (обычно это ^{137}Cs и ^{90}Sr).

Для каждого компонента рациона животного определяется активность (удельная) «сырой» продукции и суммарное суточное поступление по каждому радионуклиду.

Также используется показатель кратности накопления. *Кратность накопления (F)* рассчитывается на массу животного по формуле 16:

$$F = \frac{C \times m}{Q}, \quad (16)$$

где C – концентрация радионуклида в организме; Q – количество радионуклида, ежедневно потребляемое с кормом; m – масса животного.

Порядок выполнения заданий

Задача 1. Рассчитайте прогнозируемую радиоактивность сена, получаемого с угодий, расположенных вблизи санитарной зоны атомной электростанции. Интенсивность контролируемых выпадений ^{131}I – $5 \cdot 10^6$ Бк/(км²·мес).

Решение.

Используем формулу 14. Коэффициент K_n определим по таблице 9. Для йода-131 $K_n = 7,7 \cdot 10^{-6}$. Учитывая, что загрязнение дано в Бк, коэффициент 37 для перевода Ки в Бк не используем. В этом случае $A = B \times K_n = 5 \cdot 10^6 \times 7,7 \cdot 10^{-6} = 42,35$ Бк/кг.

Если радионуклидов несколько, то для получения общей радиоактивности кормов или продукции животноводства показатели суммируются. То есть, чем больше радионуклидов содержится в почве, тем выше общая радиоактивность.

Задача 2. В хозяйстве почва – чернозем выщелоченный, плотность поверхностного загрязнения составляет 10 Ки/км^2 по ^{137}Cs и по ^{90}Sr – 5 Ки/км^2 , рацион кормления животных – зерно ячменя, соответствует стойловому содержанию. Определите возможное загрязнение молока и допустимость его использования в пищу?

Решение.

Для расчета необходимо знание коэффициентов накопления (K_n) в растительную продукцию из почвы. По таблице 11 для зерна ячменя этот показатель равен 0,2 для цезия и 0,035 для стронция. Следовательно, при данном уровне загрязнения почвы прогнозируемое содержание радионуклидов в зерне будет:

для цезия $0,2 \times 10 \times 37 = 74 \text{ Бк/кг}$,

а для стронция $0,035 \times 5 \times 37 = 6,47 \text{ Бк/кг}$.

Общая радиоактивность $74 + 6,47 = 80,47 \text{ Бк/кг}$.

Таблица 11 – Коэффициенты накопления содержания радионуклидов в 20-дневных растениях для прогноза загрязненности урожая

^{137}Cs			^{90}Sr		
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
Яровая пшеница	0,22	0,46	Озимая пшеница	0,060	0,60
Гречиха	0,21	0,39	Яровая 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

По таблице 12 находим коэффициент перехода в молоко при стойловом содержании 0,48 для цезия и 0,14 для стронция. Зная

количество радионуклидов в корме, определяем содержание в молоке:

цезия будет $0,48 \times 74 = 35,5$ Бк/кг,

а стронция будет $0,14 \times 6,47 = 0,9$ Бк/кг.

Сравнивая эти показатели с табличными (СанПиН) (Приложение 3), видим, что они намного меньше, поэтому молоко можно использовать в пищу.

Таблица 12 – Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (% на 1 кг продукта)

Вид продукции	Радионуклиды	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Молоко коровье (в ср. за год)	0,62	0,14
стойловый период	0,48	0,14
пастбищный период	0,74	0,14
Говядина	4,00	0,04
Свинина	25,00	0,10
Баранина	15,00	0,10
Мясо кур	45,00	0,20
Яйцо	3,50	3,20

Рассмотрим пример решения задачи с учетом содержания в почве кальция, препятствующего накоплению радионуклидов.

Задача 3. Определите концентрацию цезия-137 в зерне бобовых, если в почве содержится 90 Бк/м² радионуклида и 150 мг. экв./кг почвы кальция.

Решение.

Воспользуемся формулой 15. По таблице 10 найдем значение $KП = 9$ для зерна бобовых культур. Пересчитаем содержание кальция, поскольку в формуле используется концентрация на 100 г почвы, а в условии задачи на 1 кг. В нашем случае $c = 15$ мг.экв./100 г.

$$A = KП \times a : c = 9 \times 90 : 15 = 54 \text{ Бк/кг}$$

Задания

1. Рассчитайте прогнозируемую радиоактивность сена, получаемого с угодий, расположенных вблизи санитарной зоны атомной электростанции. Интенсивность контролируемых выпадений ^{137}Cs составляет $5 \cdot 10^6$ Бк/(км²·мес), ^{131}I – $5 \cdot 10^6$ Бк/(км²·мес).

2. Определите количество кальция, которое должно содержаться в почве, чтобы концентрации цезия и стронция в зерновых культурах не превышали допустимые значения, если концентрация в почве 100 Бк/кв.м ^{90}Sr и 95 Бк/кв.м ^{137}Cs , а комплексный показатель 10 и 15, соответственно.

3. Определите допустимое содержание радионуклидов цезия и стронция в кормах для животных, чтобы их концентрация в мясе не превышала 160 и 50 Бк/кг, соответственно, если средняя масса животных 400 кг, а кратность накопления 2,5 для цезия и 5,4 для стронция.

4. Определите безопасность использования молока в свежем или консервированном виде при выпасе крупного рогатого скота на пастбищах с содержанием в почве 12 Ки/км² ^{90}Sr и 20 Ки/км² ^{137}Cs ?

5. Кратность накопления цезия 137 в мышцах свиней составляет 2,3. Определите концентрацию радионуклида в мясе и возможности его использования, если дневной рацион составляет 10 кг комбикорма с концентрацией радионуклида 5,6 Бк/кг, а вес животных 150 кг.

6. Сделайте прогноз по содержанию ^{90}Sr в сене клевера, если в почве 180 мг.экв/кг обменного кальция, поверхностная активность радионуклида 158 Бк/м².

7. В хозяйстве плотность поверхностного загрязнения составляет 15 Ки/км² по ^{137}Cs и по ^{90}Sr – 9 Ки/км², рацион кормления животных – зерно ячменя, соответствует стойловому содержанию. Определите возможное загрязнение мяса и допустимость его использования в пищу?

8. В хозяйстве плотность поверхностного загрязнения составляет 25 Ки/км² по ^{137}Cs и по ^{90}Sr – 5 Ки/км², рацион кормления свиней – клубни картофеля. Определите возможное загрязнение мяса и допустимость его использования в пищу.

9. Рассчитайте прогнозируемую радиоактивность сена, получаемого на угодьях с уровнем поверхностной активности ^{137}Cs составляет $3 \cdot 10^6$ Бк/(км²·мес), ^{141}Ce – $3,8 \cdot 10^6$ Бк/(км²·мес). Определите общую прогнозируемую радиоактивность мяса баранины, если в мышцах накапливается 25 %, от поступившего количества радионуклидов.

10. Измеренная мощность дозы у поверхности тела КРС составила 25 мкР/час, фоновое излучение 15 мкР/час. Учитывая коэффициент 1,2, рассчитайте мощность дозы облучения данного животного и сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Каковы правила содержания животных в случае радиационной опасности?
2. Какие признаки учитывают при сортировке животных, подвергшихся радиационному облучению?
3. Какие способы защиты животных используются в случае радиационной опасности?
4. Каковы особенности кормления животных в случае радиационного загрязнения территории?
5. Как правильно рассчитать безопасность использования растительных кормов, полученных на загрязненных радионуклидами территориях?
6. Какие приемы могут снизить накопление радионуклидов в кормах и продукции животноводства?

6 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ И РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Вводные пояснения

Радиационный контроль сельскохозяйственного сырья и продукции обеспечивается в двух формах: *текущей и предупредительной*.

Текущему контролю подвергается продукция, поступающая от с.х. предприятий и населения на хранение, переработку или реализацию.

Предупредительный радиационный контроль – это проверки на местах в период вегетации для сравнения с прогнозом содержания радионуклидов в урожае, в пастбищной растительности и зелёной подкормке в летний период, а также в кормах, заготовленных на стойловый период.

Для оценки содержания радионуклидов необходимо провести отбор проб.

Корма отбирают весной, летом, осенью. Продукты животноводства весной и осенью. Масса проб составляет:

- для определения суммарной β -активности – 30–100 г;
- для радиохимического анализа – 1–6 кг;
- для определения поверхностной активности экспресс-методом – 0,2–2,0 кг.

На исследования берут среднюю пробу, составленную из нескольких (не менее трёх) равных частей из разных участков поля, скирды, бурта, туши, цистерны молока, участков водоёма. Точечные пробы перемешивают и составляют одну. Перед отбором проб кормов, мяса, молока, яиц измеряют в этом месте гамма-фон.

Пробы взвешивают, упаковывают (в целлофан, восковую бумагу, бумажные пакеты), нумеруют и составляют опись, которую прикладывают к сопроводительной документации в лабораторию. Данные гамма-фона записывают в сопроводительном документе.

На взятые пробы составляют акт в двух экземплярах, в которых указывают:

- кем взяты пробы (учреждение, должность, фамилия);
- место и дата отбора проб;
- название продукта;
- куда направляется проба;
- цель исследования.

Акт подписывают отборщик проб и представитель хозяйства. Один экземпляр акта остаётся в хозяйстве для списания взятых проб.

Предварительная обработка доставленных в лабораторию проб производится в специальном помещении с вытяжными и сушильными шкафами, муфельными печами, мойками. Пробы очищают, при необходимости измельчают, проводят концентрацию проб, выпаривание, минерализацию (сушат, сжигают до зольного остатка).

Чем больше радиоактивное загрязнение продовольствия, кормов, воды, продукции животноводства, тем проще аппаратура и методы исследования и наоборот.

Один из способов радиационного контроля связан с определением поверхностной активности образца, туши или всего животного при жизни, который описан в предыдущей теме, расчет производится по формуле 13. Погрешность прижизненного определения радионуклида в мышцах при концентрации 10^{-8} – 10^{-7} Ки/кг $\pm 50\%$.

По результатам измерений и расчётов сортируют животных (или мясные туши) на две группы.

КРС: а) $P \leq 17$ мкР/ч ($4,4 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг) – мышечная ткань «чистая». б) $P > 17$ мкР/ч – ткань «грязная».

Свиньи : а) $P \leq 7$ мкР/ч ($1,8 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг) – мышечная ткань «чистая». б) $P > 7$ мкР/ч – ткань «грязная».

Суммарную β -активность можно определить радиометрами ДП-100, КРК-1 и др. Эти приборы позволяют получить результат без предварительного концентрирования пробы (выпаривания, озоления). Измерение производится в толстой пробе (толщиной до 1 см, диаметром 40–80 мм). Скорость счёта импульсов за вычетом фона умножается на коэффициент перевода k (k по мясу и

по молоку для ДП-100 = $0,43 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг,л; для КРК-1 – $1,6 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг,л)

Основным методом, применяемым в лабораторных исследованиях, является *радиохимический анализ*. Он длителен и включает:

- взвешивание, высушивание, обугливание и озоление пробы;
- перевод зольных остатков пробы в растворённое состояние;
- разделение радиоактивных элементов на химические группы;
- выделение и химическая очистка интересующего радионуклида;
- измерение активности выделенного радионуклида на ДП-100 или УМФ-1500 (малофоновая радиометрическая установка);
- определение радиоактивности пробы и статистическая обработка полученных результатов.

Иногда используется метод определения концентрации радионуклидов в организме животных по анализу выделений. Он основан на зависимости соотношения, связывающего количество радионуклида, депонированного в организме, с его содержанием в выделениях (моче и кале). Метод сложен (анализируют раздельно трёхсуточные пробы мочи и кала с предварительным озолением), весьма приблизителен, может служить только для получения ориентировочных данных.

Измерение объёмной и удельной активности пищевых продуктов по уровню гамма-излучения проводится с помощью радиометров. Позволяет определить уровень загрязнения 2000–40000 Бк/кг. Производится непосредственно на сельскохозяйственных предприятиях, личных подсобных хозяйствах, рынках, перерабатывающих предприятиях. При определении поверхностной активности сырья или продуктов питания используется показатель *удельной активности* – это активность, приходящаяся на единицу массы вещества источника, которая рассчитывается по формуле 17.

$$UA = \frac{P_{\text{образца}} - P_{\text{фон}}}{m \text{ (или } V)}, \quad (17)$$

где UA – удельная радиоактивность образца; $P_{\text{образца}}$ – радиоактивность образца; $P_{\text{фон}}$ – фоновые показатели радиоактивности; m – масса или V – объем образца.

Однако при использовании экспресс метода для определения радиационной безопасности обычно используют только разность радиоактивности образца и радиоактивного фона, не учитывая массу или объем продукта. В этом случае образец считается безопасным, если разность не превышает фоновых показателей радиоактивности.

При отборе проб для радиохимического анализа необходимо учитывать нормы и сроки отбора (таблицы 14, 15, 16).

Минимальное количество продукции, отобранной из одного места за один прием от продукта для составления объединенной пробы, называется *точечной пробой*. Масса точечных проб и их количество зависят от требуемой величины объединенной пробы.

Объединенная проба – это совокупность точечных проб, предназначенная для составления средней пробы. Для этого точечные пробы помещают в одну емкость, тщательно перемешивая. Масса (объем) объединенной пробы должна быть достаточной для формирования средней пробы.

Средняя проба – часть объединенной пробы, предназначенная для проведения исследования. По ее радиоактивности судят о радиоактивном загрязнении всей партии.

Среднюю пробу из объединенной готовят по методике, принятой в зооанализе. Из средней пробы готовят счетный образец – определенное количество вещества с учетом его коэффициента озоления (таблица 13)

При отборе проб должны присутствовать представители хозяйства.

Перед отбором проб молоко в цистернах, флягах и других емкостях тщательно перемешивают. После перемешивания продукта из каждой емкости отбирают точечные пробы в одинаковом количестве (но не менее трех). Объем точечной пробы 0,1–0,5 л.

При выпуске молока во флягах в выборку включают 5 % фляг от общего количества, но не менее трех.

Таблица 13 – Примерный выход золы из некоторых видов проб

Проба	Выход золы, %
1. Зеленые корма, пищевая зелень	2
2. Сено	4,25–5,00
3. Солома	5,0–7,0
4. Овощи	0,75–1,2
5. Корнеклубнеплоды	1,0–1,16
6. Зерно	3,0–4,0
7. Молоко	0,7–1,2
8. Мясо	1,0–1,5
9. Яйцо: желток	1,1–1,5
белок	0,6–0,8
скорлупа	0,7–10,0
10. Кости	35,0– 50,0
11. Шерсть	7,0

При отборе проб молока, расфасованного в потребительскую тару (бутылки, пакеты) точечными пробами являются данные фасовки. От молочных продуктов, расфасованных в бутылки и пакеты, в качестве точечной пробы отбирают следующее количество единиц фасовок:

- от партии до 100 единиц – 2 фасовки;
- от 101 до 200 единиц – 3 фасовки;
- от 201 до 500 единиц – 4 фасовки;
- от 501 до 1000 единиц – 5 фасовок.

Из точечных проб формируют объединенную пробу и отбирают среднюю пробу, которая поступает на лабораторное исследование. Объем средней пробы молока должен составлять не менее 2 л.

От сметаны, расфасованной в крупную тару, в выработку отбирают и вскрывают 10 % всего количества единиц упаковок. При наличии менее 10 единиц упаковок вскрывают только одну. После вскрытия тары сметану перемешивают мутовкой. Объем точечной пробы составляет от 0,05 до 0,10 л. Точечные пробы

объединяют в одной чистой емкости, формируя объединенную пробу.

Перед взятием средней пробы сметану тщательно перемешивают, а если она имеет густую консистенцию, то предварительно нагревают на водяной бане до +30...35 °С, а затем охлаждают до 20 °С.

*Таблица 14 – Сроки и нормы отбора проб объектов
ветнадзора*

Проба	Сроки отбора проб	Масса пробы (кг)
Зеленые корма	Весна, лето, осень	4–5
Грубые корма (сено, солома)	Осень	2–3
Корнеклубнеплоды	Осень	3–6
Концентрированные корма	Осень (привозные по мере поступления)	1–2
Молоко	Ежеквартально	5–6
Мясо	Весна, осень	2–3
Кости	То же	0,5
Рыба свежая	По мере поступления	3
Вода	Весна и осень	Необходимое количество

Отбор проб мяса (говяжьего, бараньего, свиного), внутренних органов сельскохозяйственных животных, предназначенных для реализации населению проводят на мясокомбинатах, холодильниках и местах реализации продукции (базы, магазины и т.п.).

На мясокомбинатах и холодильниках от каждой однородной партии в выборку включают 10 % туш крупного рогатого скота, 5 % туш овец и свиней и 2 % замороженных или охлажденных блоков мяса и субпродуктов, но не менее трех.

Точечные образцы отбирают от каждой включенной в выборку мясной туши или ее части целым куском массой не менее 200 г из следующих мест: у зареза, напротив 4-5-го шейных позвонков, в области лопатки, бедра и толстых частей мышц.

Образцы от замороженных и охлажденных блоков мяса и

субпродуктов (печень, почки, селезенка, легкие и др.) отбирают также целыми кусками массой не менее 0,2 кг, а щитовидную железу берут целиком.

Из полученных точечных проб формируют объединенную пробу массой не менее 2,0 кг. Для формирования средней пробы (1,0 кг) мясо тщательно перемешивают и измельчают, пропуская через мясорубку.

Отбор проб готовой мясной продукции, полуфабрикатов, копченостей и колбасных изделий производят из выборки упаковочных единиц (ящики, коробки и т.п.), которая составляет 10 % от всей партии, но не менее двух единиц. Точечные пробы должны быть массой 0,05–0,10 кг. Затем их перемешивают, получая объединенную пробу, а уже из нее отбирают среднюю пробу массой не менее 1 кг.

Отбор проб мяса кроликов проводят аналогично мясу птицы с той лишь разницей, что из транспортной упаковки отбирают одну кроличью тушку.

Тушки и полутушки птиц отбирают от поставляемой на реализацию партии методом случайной выборки. Число проб зависит от количества единиц транспортных упаковок в партии (таблица 15).

*Таблица 15 – Объемы выборки образцов птицы**

Количество единичных транспортных упаковок в партии	Количество отобранных транспортных упаковок	Количество отобранных образцов (полутушек, тушек)	Количество отобранных образцов (четверть тушки)
до 20	1	2	2
21–100	2	4	2
101–400	5	10	5
401–800	7	14	7
801–1500 и более	10	20	10

* Согласно ГОСТ Р 54015-2010 «Продукты пищевые».

Пробы кур отбирают полутушками и тушками, а гусей и индеек – четвертью тушки. При отборе проб на ферме объем вы-

борки составляет не менее трех тушек кур и уток, и не менее трех полутушек гусей и индеек.

Для исследования куриных яиц от партии яиц производят выборку упаковочных коробок. Стандартная транспортная упаковка вмещает 360 штук яиц. Если таких упаковок до десяти, то отбирают одну, а из нее 20 штук яиц для исследований.

При наличии коробок до 50, отбирают любые три, а из них составляют объединенную пробу из 30 штук яиц. При увеличении числа транспортных упаковок увеличивается и объединенная проба: соответственно 51–100 коробок – 50 штук яиц; 101–500 – 75 штук яиц; 501 и более – 150 штук.

При отборе проб костей от туш животных на мясокомбинатах и в пунктах реализации продукции в выборку включают 10 % туш (полутуш, четвертин) крупного рогатого скота и 5 % туш (полутуш) овец и свиней.

При транспортировании пищевых костей в ящиках (мешках) в выборку включают 10 % транспортных единиц упаковок. Пробы отбирают из различных трех слоев каждой упаковки, вошедшей в выборку.

В качестве точечных проб служат передние ребра животных или шейные позвонки, которые наиболее достоверно характеризуют усредненную удельную активность всего скелета животного. Для формирования объединенной пробы из точечных проб кости измельчают, тщательно перемешивают, после чего отбирают среднюю пробу массой не менее 1 кг.

Перед отбором проб натурального меда от каждой партии составляют выборку упаковочных единиц (таблица 16). От каждой упаковки отбирают точечные пробы.

Таблица 16 – Объем выборки меда

Количество упаковочных единиц в партии	Количество отбираемых упаковочных единиц	Количество упаковочных единиц в партии	Количество отбираемых упаковочных единиц
до 3	1	41–60	6
4–20	3	61–80	8
21–30	4	81 и более	10
31–40	5		

Образцы жидкого меда берут трубчатым алюминиевым пробоотборником диаметром 10–12 мм, погружая его на всю глубину упаковки; если мед плотный – щупом для масла из разных слоев. Закристаллизованный мед отбирают коническим щупом, погружая его в мед под наклоном. Из одной соторамки вырезают часть сота площадью 25 см².

Если сотовый мед кусковой, пробу отбирают в тех же размерах от каждой упаковки. После удаления восковых крышек образцы помещают на сетчатый фильтр с диаметром ячеек не более 1 мм, вложенный в стакан, и подогревают в термостате при температуре 40–45°C. Масса точечной пробы составляет 0,05–0,1 кг.

Все точечные пробы объединяют, перемешивают. Из объединенной пробы отбирают среднюю, массой не менее 1 кг. Закристаллизованный мед предварительно нагревают до температуры 40–45°C после чего отбирают среднюю пробу.

Пробы рыбы отбирают из разных мест партии методом случайной выборки. В выборку включают 10 % упаковок (бочки, ящики и другая транспортная тара).

Из разных мест каждой вскрытой упаковки продукта берут по три точечных пробы, из которых в дальнейшем формируют объединенную и среднюю пробы. Для контроля живой, свежей или охлажденной партии отбирают 1–2 % рыбы по массе.

Разные виды рыб подлежат раздельному исследованию. Точечные пробы от мелких экземпляров рыб отбирают целыми тушками: шесть рыб при массе одного экземпляра от 0,1 до 0,5 кг; три рыбы при массе экземпляра от 0,5 до 1,0 кг. При массе одного экземпляра более 1 кг из трех рыб отбирают пробы около приголовка, в средней и в предхвостовой частей (с костями).

Масса объединенной пробы должна быть не менее 1 кг. Величина средней пробы – не менее 1 кг, а для дорогостоящей рыбы – 0,5 кг.

Рыбу очищают от механических загрязнений и чешуи, а мороженую рыбу предварительно размораживают. Среднюю пробу мелкой рыбы массой не более 0,1 кг используют для анализа без разделки; рыбу массой от 0,2 до 1,0 кг разделяют на филе; рыбу массой более 1,0 кг и мясо морских млекопитающих (после удаления шкуры и костей) разделяют на куски длиной не более 5 см или массой не более 0,2 кг.

Отбор проб сушеной и вяленой рыбы производят аналогичным способом

Поступившие и зарегистрированные пробы распределяют по видам исследования. Для определения суммарной β -активности не требуется большого количества золы, поэтому достаточно будет навески сырого материала в количестве 150–200 г, а зерна – 30–50 г. Шерсти достаточно 25–30 г; фекалий 30–50 г; мочи, молока, крови – по 100–150 мл. Если же предварительная проверка проб обнаружила в части из них повышенный уровень радиации, то такие пробы подлежат радиометрическому исследованию в «толстом» слое.

Для радиохимического анализа масса одной сырой пробы составляет от 2-х до 3-х кг. Кости берут в меньшем количестве: от 100 до 300 г на одну пробу. При определении йода-131 в молоке пользуются различными приемами: если определение проводится в зольном остатке, то на одну пробу расходуется 3 л молока, если же йод определяют в сыром, то есть свежем молоке, то минимальная порция молока должна составить 100 мл.

Пробы травы, мяса, рыбы, костей, овощей, корнеплодов измельчают, высушивают в сушильном шкафу при температуре 80–100 °С. Воду, молоко и другие жидкие пробы выпаривают на плите или газовой горелке в фарфоровой чашке, постепенно добавляя в чашку отмеренный объем жидкости. В молоко перед выпариванием следует добавить немного уксусной (или другой) кислоты, что вызывает коагуляцию белка, уменьшает вспучивание при нагревании и, таким образом, предотвращает возможные потери.

Однако, выпаривание проб жидкостей рекомендуется производить при постоянном наблюдении. Заканчивать высушивание жидкой пробы лучше в сушильном шкафу при температуре 100 °С.

Высушивание продолжают до установления постоянной массы сухого остатка. Контрольное взвешивание высушенной пробы надо производить в той же чашке (тигле), в которой проба высушивалась, после полного её охлаждения. Установившуюся постоянную массу пробы записывают, обугливают сухой остаток путем прокаливания на электроплитке под тягой и переносят чашку (тигель) с пробой в муфельную печь для озоления.

Озоление рекомендуется производить, накрывая пробу фарфоровой крышкой или другой выпарительной чашкой, постепенно, не слишком быстро повышая температуру.

Для исследования проб на суммарную бета-активность сжигание производят при температуре не выше 600 °С, так как более высокая температура приводит к потере калия, излучение которого в основном определяет естественную радиоактивность. Кроме того, быстрый нагрев и высокие уровни температуры приводят к сплавлению ряда проб со стенками тигля и образованию нерастворимого, неотделяемого от посуды осадка (пробы мочи и некоторых корнеплодов).

Для анализа на стронций-90 озоление проводят при температуре 900–1000 °С, так как он термостабилен. При озолении пробы для анализа на цезий температура не должна быть более 400 °С, так как при более высоком ее значении происходит возгонка цезия с переходом в газообразное состояние. Такой процесс наблюдается, например, при горении природных торфяников, когда цезий входит в состав смога.

Продолжительность озоления различна и зависит от количества и вида органических соединений в пробе. Поэтому оно может длиться от 2–4 часов (сено, молоко) до 4–5 и более дней (кости, мясо, овощи). Критерием окончательного озоления является постоянная масса зольного остатка после двух-трех последовательных нагреваний. Взвешивание проводят после полного охлаждения пробы.

Охлаждение пробы можно проводить в муфельной печи, выключая печь в конце рабочего дня. Но лучше, если еще теплый, не полностью охлажденный тигель переносят в эксикатор, на дно которого, под решетчатым вкладышем, помещают поглотитель влаги (NaOH или др.). Этим приемом устраняется поглощение влаги из воздуха остывающей золой, которая обладает высокой гигроскопичностью и в лабораторных условиях быстро насыщается влагой, что может повлиять на точность дальнейших расчетов.

Внешним признаком полного озоления является белый и светло-серый цвет и постоянная масса золы. Однако при озолении в муфельной печи некоторые пробы при стабилизации своей массы приобретают иную окраску: кровь — кирпично-

красноватый оттенок, печень, шерсть – черный и темно-серый цвет.

Полученный зольный остаток взвешивают вместе с посудой, рассчитывают массу золы и определяют коэффициент зольности (M) как отношение массы золы (M_2) к массе взятой на анализ сырой, то есть натуральной, пробы (M_1). Массу золы и сырой пробы необходимо выражать в идентичных единицах измерения (г, кг).

$$M = \frac{M_2}{M_1} \quad (18)$$

Для жидкостей (молоко, вода, кровь, моча и др.) окончательный расчет удельной активности производят на единицу объема (мл).

В пробах почвы, удельную активность которых рассчитывают на единицу площади (км^2), коэффициент зольности определяют по формуле 19:

$$M = \frac{(M_2 \times 10^7)}{S}, \quad (19)$$

где M_2 – масса золы от всей пробы, г; S – площадь отбора проб, см^2 ; 10^7 – множитель для пересчета площади на км^2 .

Если пробу почвы не подвергают озолению, а лишь высушивают до постоянной массы, то для расчета удельной активности вводят коэффициент концентрации, который вычисляют по той же формуле, что и коэффициент озолнения.

Количество помещаемой на подложку золы определяется задачами исследования, количеством имеющегося материала и свойствами измеряемого излучения.

Так, для определения активности α -излучателей целесообразно проводить измерение скорости счета от препарата в «тонком» слое, принимая во внимание малый пробег альфа-частиц. В нем же исследуется и суммарная β -активность проб, имеющих малую концентрацию минеральных веществ (вода, аэрозоли) или низкую энергию излучения (менее 1 МэВ).

После получения золы приступают к радиохимическому анализу. Однако, учитывая, что содержание радиоизотопов в исследуемом материале незначительно, для проведения анализа пробу золы растворяют в, так называемом, носителе. *Носитель* –

это одноименный или сходный по химическим свойствам с исследуемым радиоизотопом элемент, содержание которого в растворе известно.

Различают изотопные, изоморфные, инертные и удерживающие носители.

Изотопный носитель – это стабильный элемент того же изотопа, который требуется выделить из пробы. Например, для выделения иттрия-90 в качестве носителя используется стабильный иттрий в виде азотнокислого или солянокислого раствора соли.

Изоморфный носитель – стабильный элемент, сходный по химическим свойствам с выделяемым радиоизотопом. Например, при выделении стронция-89 используют соли бария.

Инертный носитель – стабильный элемент, который не сходен по химическим свойствам с исследуемым радиоизотопом, но способен перевести его из одной формы в другую (например, из раствора в осадок). Так, стронций-90 можно выделить из раствора вместе с осадком гидроокиси железа.

Удерживающий носитель – стабильные химические элементы тех изотопов, которые необходимо отделить от выделяемого радиоизотопа. Например, чтобы отделить лантан-140 при выделении иттрия-90 в пробу добавляют раствор стабильного лантана.

После проведения всех подготовительных мероприятий пробу исследуют с помощью специальных приборов.

Радиационный контроль пищевых продуктов включает следующие измерения:

- измерение содержания радионуклидов;
- определение удельной активности Sr-90, Pb-210, Ra-226 и Cs-137;
- выявление техногенных Sr-90 и Cs-137.

Полученные результаты сравниваются с нормативными показателями, определенными санитарными правилами (Приложение 3).

Порядок выполнения заданий

Задача 1. Рассчитайте удельную радиоактивность туши КРС, если радиационный фон 16 мкР/час, масса 350 кг, поверхностная

радиоактивность 25 мкР/час. Определите качество сырья с точки зрения радиационного контроля.

Решение.

По формуле 17 определяем удельную радиоактивность данного образца: $УА = \frac{25-16}{350} = 0,025$ мкР/ч,кг. Это меньше 17 мкР/час, следовательно, сырье можно считать чистым. Разность в показателях радиоактивности равна 9 мкР/час, что меньше 16 мкР/час, т.е. безопасно.

Задача 2. Трехкратное измерение естественного радиационного фона дало следующие цифры: 0,15 мкЗв/ч; 0,20 мкЗв/ч; 0,10 мкЗв/ч. Результаты замеров излучения от продуктов питания: 0,23 мкЗв/ч; 0,27 мкЗв/ч; 0,17 мкЗв/ч. Определите безопасность продуктов питания.

Решение.

Определяем средние значения из проведенных замеров. Среднее значение радиационного фона – 0,15 мкЗв/ч. Средняя величина излучения продуктов – 0,22 мкЗв/ч. Вычислим разность: 0,22 мкЗв/ч – 0,15 мкЗв/ч = 0,07 мкЗв/ч. Полученное значение радиоактивного загрязнения продуктов не превышает допустимой величины (0,07 мкЗв/ч меньше, чем 0,15 мкЗв/ч), следовательно, они пригодны для безопасного употребления.

Задача 3. Рассчитайте массу золы, полученную из пробы сена, и определите коэффициент зольности сырья.

Решение.

По таблице 14 находим массу средней пробы для сена. Она составляет 2–3 кг. Проведем расчет количества золы, используя таблицу 13, в которой указан процент выхода золы из этого сырья, составляющий 5–7%. Следовательно, из 2 кг сена можно получить 0,1 кг золы. По формуле 18 определяем коэффициент озолнения: $M = \frac{0,1}{2} = 0,05$.

Таким образом, коэффициент озолнения отражает выход золы в единицах и легко может быть переведен в проценты.

Задача 4. На птицефабрике выпущена партия тушек бройлеров, состоящая из 100 транспортных упаковок. Опишите процедуру отбора и составления средней пробы. Какую массу будет иметь отобранная проба, если средний вес одной тушки 1 кг и ка-

кое количество золы будет получено при радиохимическом анализе, если коэффициент озоления 0,015?

Решение.

По таблице 15 определяем, что в партии из 100 упаковок нужно отобрать две и из них взять четыре тушки, то есть по две из каждой упаковки. Таким образом, объединенная проба составит 4 кг. Для получения средней пробы отделяют четверть от каждой тушки, т.е. масса средней пробы будет 1 кг, из которой получат 150 г золы доля радиохимического анализа.

Задания

1. Определите удельную радиоактивность и качество мяса свинины, если радиационный фон 14 мкР/ч, масса 200 кг, поверхностная радиоактивность 18 мкР/ч. Определите качество сырья с точки зрения радиационного контроля.

2. При проведении текущего контроля дикорастущих грибов на рынке получены следующие результаты: поверхностная активность 30 мкР/ч, радиационный фон 16 мкР/ч, обнаружено 25 Бк/кг стронция-90 и 100 Бк/кг цезия-137. Проведите анализ и сделайте заключение о радиационной безопасности продукции.

3. При проведении текущего радиационного контроля молока на ферме получены следующие результаты: поверхностная активность 20 мкР/ч, 25 мкР/ч, 23 мкР/ч; радиационный фон – 15 мкР/ч, 16 мкР/ч, 13 мкР/ч; обнаружено 5 Бк/кг стронция-90 и 80 Бк/кг цезия-137. Проведите анализ и сделайте заключение о радиационной безопасности продукции.

4. Рассчитайте массу золы, полученную из пробы зерна, костей и мяса, которые необходимы для проведения радиохимического анализа. Определите коэффициенты озоления для каждого продукта, исходя из максимальной массы средней пробы?

5. В хозяйстве было отобрано 3 кг шерсти овец. Какое количество золы будет получено при проведении радиохимического анализа и каков коэффициент озоления этого сырья.

6. На заводе выпущена партия сметаны, состоящая из 1200 упаковок. Опишите процедуру отбора и составления средней пробы. Какую массу будет иметь отобранная проба и какое

количество золы будет получено при радиохимическом анализе, если коэффициент озоления 0,01?

7. На птицефабрике выпущена партия тушек бройлеров, состоящая из 500 транспортных упаковок. Опишите процедуру отбора и составления средней пробы. Какую массу будет иметь средняя проба, если средний вес одной тушки 0,9 кг и какое количество золы будет получено при радиохимическом анализе, если коэффициент озоления 0,02?

8. Для переработки на завод поступило 150 ящиков рыбы, со средним весом 0,1–0,5 кг. Опишите процедуру отбора и составления объединенной и средней проб. Какую массу эти пробы будут иметь?

Контрольные вопросы

1. Что такое средняя и объединенная проба?
2. Как правильно проводить отбор проб мяса, птица, рыбы, хлеба и др.?
3. Каков порядок проведения радиохимического анализа?
4. Для чего проводят озоление проб?
5. Что такое носитель и для чего он используется? Какие разновидности носителей вам известны?
6. Что такое удельная радиоактивность и, как она определяется?
7. Как правильно оценить качество сырья и продуктов питания с позиций радиационного контроля и экспертизы?

7 ВЛИЯНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ НА ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

Вводные пояснения

Радионуклиды представляют собой химические элементы, которые способны к радиоактивным превращениям, то есть имеют свойство переходить в нуклиды других элементов, или же в нуклиды того же элемента. При этом происходит распад нуклида, соответственно с определенным вредом для здоровья.

То есть, основное негативное свойство радионуклидов – радиация, излучаемая при их распаде. Вещества, находящиеся в окружающей природной среде, практически неопасны для организмов, и они являются одними из источников естественного радиационного фона. Там, где радионуклидов скапливается достаточно много, фон повышается. При попадании радионуклидов внутрь организма с водой, пищей и при дыхании возникает внутреннее облучение, которое зависит, как от вида и характеристик радионуклида, так и от биологических и физиологических особенностей живого организма.

Радионуклиды как потенциальные источники внутреннего облучения, в соответствии с НРБ-99 (нормы радиационной безопасности), разделены по степени опасности на четыре группы:

А – самые высокотоксичные. Это изотопы тяжелых элементов, ядра которых подвержены самопроизвольному распаду. У них относительно большие периоды полураспада. Также эти радиоактивные вещества имеют склонность к накоплению в разных органах тела;

Б – радионуклиды высокой токсичности;

В – радиоизотопы средней токсичности;

Г – радиационные изотопы малой токсичности.

Поступив в организм, радионуклиды всасываются в кровь в легких, через желудочно-кишечный тракт и в очень небольшом количестве через кожу. Причем в зависимости от вида радионуклида различается и степень всасываемости.

По особенностям распределения и накопления радионуклидов в организме животных и человека выделяются четыре группы:

1) равномерно распределенные по тканям организма радионуклиды – цезий-134, цезий-137 (радиоцезий), натрий-24 и др;

2) оседающие в костной ткани – стронций-89, 90, барий-140, радий-226, 224, кальций-40, иттрий;

3) накапливающиеся в ретикуло-эндотелиальных органах (красном костном мозге, лимфоузлах, печени, селезенке) – церий, прометий, америций, плутоний, лантан;

4) органотропные – изотопы йода в щитовидной железе, железа в эритроцитах, цинка в поджелудочной железе, молибдена – в радужной оболочке глаза (рисунок 6).



Рисунок 6 – Места накопления радионуклидов

Основная масса радиоактивных изотопов выводится из организма кишечником. Растворимые (цезий и тритий) выходят через мочевыделительную систему. Газообразные элементы удаляются кожей и органами дыхания. Основная часть радионуклидов выводится за несколько суток после поступления. Задерживаются изотопы, имеющие большую атомную массу, радиоактивные коллоиды (полоний, радий, уран). Эти элементы попадают в печень и в желчевыводящие протоки.

Обратите внимание: единицей измерения процесса выведения радионуклидов из организма является период полувыведения, характеризующийся выходом половины поступившего в организм человека радиоактивного вещества.

К примеру: радиоизотоп йода, находящийся в щитовидной железе, имеет период полувыведения 138 суток, в почках – 7 суток, в костной ткани – 14 суток.

Радиоактивные элементы выводятся медленно из костной ткани. В мягких тканях процесс выхода – значительно быстрее. Речь идет о цезии, молибдене, йоде и др. А вот такие вещества, как стронций, цирконий, плутоний и другие выделяются значительно проблематичнее, оседая в костях человека и животных на длительное время.

Скорость выведения радионуклида из тканей и органов человека и животных зависит от интенсивности обмена веществ и физико-химических свойств радиоактивного элемента или изотопа. Время, за которое активность радионуклида, накопленного организмом, уменьшается вдвое, называется периодом *биологического полувыведения* (T_6). Промежуток времени, в течение которого организм освобождается от половины накопленного в нем радионуклида за счет биологического выведения и распада радиоактивного элемента, называется *эффективным периодом полувыведения* ($T_{эфф.}$).

Эффективный период полувыведения радионуклида рассчитывается по формуле 20:

$$T_{эфф} = \frac{T_6 \times T_{1/2}}{T_6 + T_{1/2}}, \quad (20)$$

где T_6 – период биологического полувыведения, сут.; $T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида, сут.

Пользуясь формулой (20) и значениями величины периода полураспада различных радиоактивных элементов или изотопов (Приложение 4), можно определить для них эффективный период полувыведения и сравнить их относительную опасность при попадании в организм.

Порядок выполнения заданий

Задача 1. Определите эффективный период полувыведения для полония.

Решение.

По Приложению 4 определяем, что для полония $T_{1/2} = 139$ сут. Подставив данные в формулу (20), получим:

$$T_{\text{эфф}} = \frac{6,5 \cdot 139}{6,5 + 139} = \frac{903,5}{145,5} = 6,21$$

Задача 2. С суточным рационом в организм свиней поступает 30 Бк цезия-137. В желудочно-кишечном тракте всасывается 80 %, кратность накопления элемента в мясе животных 5,5. Рассчитайте концентрацию радионуклида в мясе животного весом 150 кг. Оцените безопасность использования мяса. Если период биологического полувыведения 140 суток, за какое время снизится вдвое концентрация этого радионуклида?

Решение.

1. Определяем, сколько радионуклида всосалось в кровь:

$$30 \times 0,8 = 24 \text{ Бк.}$$

2. Используя формулу 16, определяем количество радионуклида в мышцах (мясо):

$$C = F \times Q / m = 5,5 \times 24 / 150 = 0,88 \text{ Бк/кг.}$$

Согласно Приложению 3 допустимая концентрация цезия-137 составляет 160 Бк/кг, следовательно, мясо можно использовать.

3. Определим эффективный период полувыведения по формуле 20. Воспользуемся предварительно Приложением 4, определив период полураспада, равный 30 годам или $30 \times 365 = 10950$ суток. Отсюда $T_{\text{эфф}} = 140 \times 10950 : (140 + 10950) = 138,2$ суток. Это значит, что через 138 суток концентрация радионуклида в организме составит 0,44 Бк/кг, то есть в два раза меньше.

Задания

1. Используя материалы лекций и дополнительную литературу, заполните таблицу 17.

*Таблица 17 – Радионуклиды в организме животных
и человека*

Радио- нуклид	Особенности поступления и всасыва- ния	Воздействие на организм	Накопление	Способ выведения

2. Рассчитайте эффективный период полувыведения для америция, если биологический период полувыведения 100 лет.

3. Сравните эффективные периоды полувыведения для радия и натрия-22, если биологические периоды полувыведения 60 и 11 суток, соответственно. Какой радионуклид быстрее выводится из организма?

4. С суточным рационом в организм свиней поступает 20 Бк фосфора-32. В желудочно-кишечном тракте всасывается 75 %, кратность накопления элемента в мясе животных 4,5. Рассчитайте концентрацию радионуклида в мясе животного весом 100 кг. Если период биологического полувыведения 257 суток, за какое время снизится вдвое концентрация этого радионуклида?

5. С суточным рационом в организм КРС поступило 50 Бк стронция-90, всасываемость которого составляет 45 %. Если кратность накопления в молоке 3,5, средняя масса животного 350 кг, рассчитайте концентрацию стронция в молоке и определите его безопасность?

6. С суточным рационом в организм кур поступило 80 Бк стронция-90, всасываемость которого составляет 35 %. Рассчитайте концентрацию стронция в яйце, если 39 % от суточного потребления радионуклида переходит в яйцо. Какова концентрация стронция-90 в белке и желтке, если 96 % этого радионуклида накапливается в скорлупе? Сделайте вывод о безопасности использования продукции.

7. В мясо КРС переходит 8 % от суточного поступления цезия-137. Можно ли использовать говядину, если в кормах содержится 2,3 Бк/кг этого радионуклида, суточный рацион 25 кг, всасываемость 95 %?

8. В организм овцы массой 80 кг однократно поступило

100 Бк цезия-137. Если всасываемость 90 %, в мышцах аккумулируется 8 %, в первые трое суток выводится 35 % от поступившего количества радионуклида, а эффективный период полувыведения 30 суток, рассчитайте концентрацию цезия в мясе животного через: а) 3 суток; б) 30 суток; в) 60 суток? Сделайте вывод о безопасности использования мяса этого животного.

9. Концентрация цезия-137 в растениях пастбища составляет 9,8 Бк/кг. Рассчитайте концентрацию радионуклида в молоке и сделайте вывод о его безопасности, если суточный рацион составляет 20 кг, всасываемость 95 %, а в молоко переходит 1,3 % от суточного поступления. Суточный удой в среднем 10 л.

10. Известно, что увеличение содержания клетчатки до 3 кг в сутки в рационе свиней снижает накопление цезия-137 в 0,6 раза. Если в сутки поступило 150 Бк цезия-137, масса животного 120 кг, кратность накопления 20, рассчитайте концентрацию радионуклида в мясе, с учетом использования в рационе клетчатки, и сделайте вывод о его безопасности.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются радионуклиды по степени опасности для животных и человека?
2. От чего зависят показатели накопления и опасности радионуклида в животном организме?
3. Как можно уменьшить негативное влияние радионуклидов на организм животных и человека?
4. Что такое эффективный период полувыведения, для чего он используется?
5. От чего зависит интенсивность всасывания радионуклидов и, какими путями они поступают в организм?

8 ЛУЧЕВЫЕ ПОРАЖЕНИЯ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

Вводные пояснения

Из многообразия факторов, влияющих на развитие лучевых поражений животных, первостепенное значение имеют физические характеристики ионизирующих излучений. Различают три вида лучевых поражений у животных и человека: лучевая болезнь, лучевые ожоги, отдаленные последствия.

Величина конкретного радиобиологического эффекта зависит не только от поглощенной дозы, но и от мощности дозы, вида и энергии излучения, размеров облучаемой поверхности, относительной радиочувствительности облучаемых органов и тканей, индивидуальных особенностей живого организма и других факторов. Сравнивая дозы облучения растений, животных и человека, надо учитывать, что чувствительность различных организмов к радиации существенно отличается (табл. 18).

Таблица 18 – Радиочувствительность биологических видов к гамма-излучению

Биологический вид	Значение LD ₅₀ *, мГр
Человек	3 000–5 000
Обезьяна, собака	2 500–6 000
КРС, овцы, козы, свиньи	5 000–6 000
Лошади, ослы	7 000–8 000
Кролики, мыши, крысы	6 000–10 000
Змеи	80 000–200 000
Растения	10 000–1 500 000
Простейшие	1 000 000–3 000 000

* LD₅₀ — летальная доза, приводящая к гибели 50 % особей.

Рассмотрим радиобиологические эффекты, возникающие при облучении животных и человека (рис. 7).

Биологические эффекты, происходящие в клетках и организмах животных, можно разделить на *детерминированные*, ко-

которые имеют пороговую дозу, и *стохастические* или вероятностные, которые признаются беспороговыми и могут наблюдаться в клетках животных даже после минимальных доз облучения. К ним относятся: 1) репродуктивная гибель клетки; 2) возникновение генных мутаций; 3) появление хромосомных aberrаций; 4) злокачественная трансформация клетки.

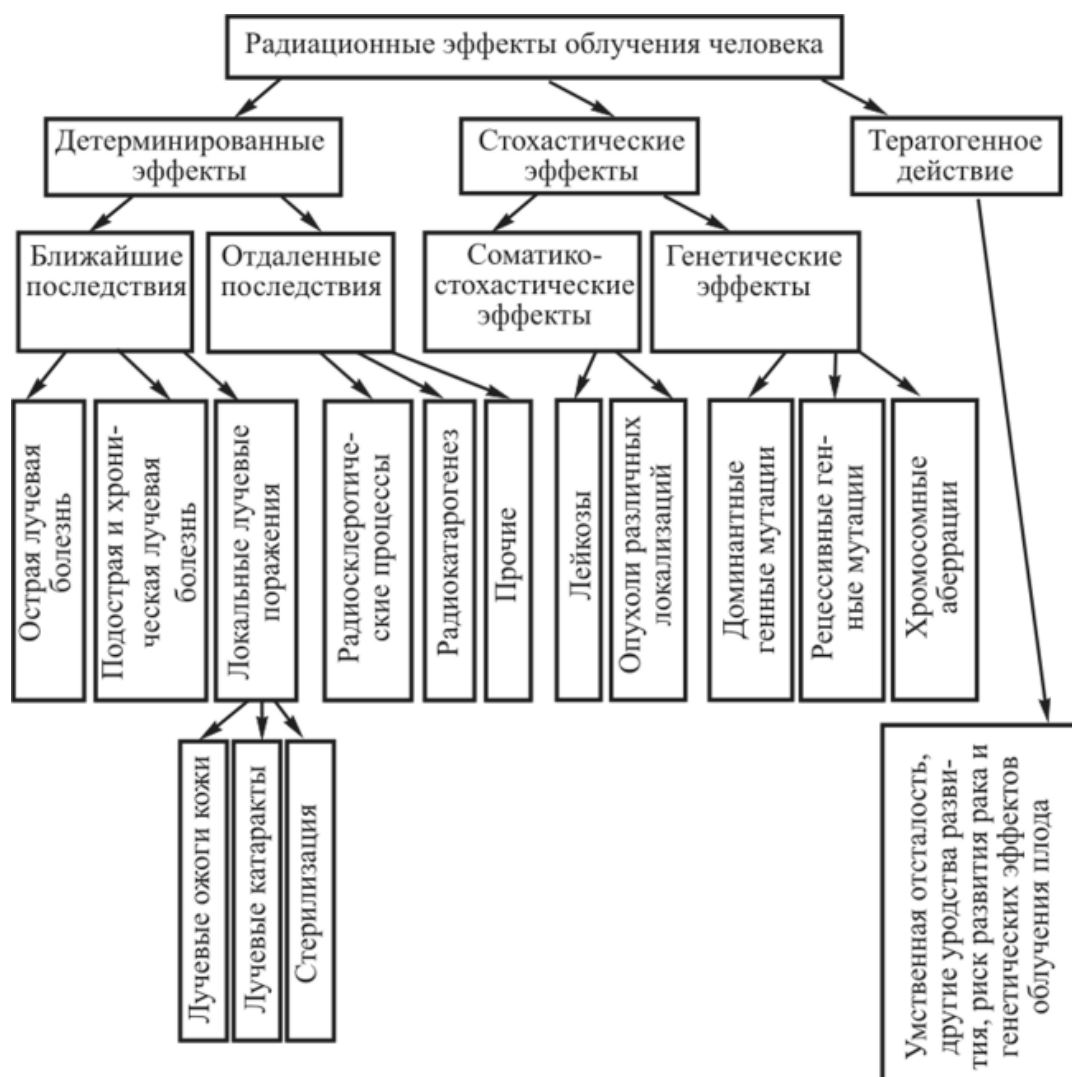


Рисунок 7 – Биологическое действие радиации

Тератогенное действие – это воздействие ионизирующего излучения на эмбрион, что может привести к гибели или появлению уродств и других отклонений развития. В некоторых учебных изданиях их не выделяют в отдельную группу и рассматривают в качестве детерминированных эффектов.

Детерминированные биологические эффекты, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от полученной дозы, проявляются в виде лучевой болезни, лучевого дерматита, лучевой катаракты, лучевого бесплодия, аномалии в развитии плода и др.

Под воздействием высоких доз облучения у животных и человека развивается *лучевая болезнь*. По клиническому проявлению, характеру течения и исходу заболевания при общем облучении различают *острую* и *хроническую* лучевую болезнь. При облучении в больших дозах развивается острая лучевая болезнь. В зависимости от клинических проявлений различают три основные формы этой болезни: церебральную, кишечную и костномозговую. А в зависимости от развития и течения выделяют четыре периода: 1) начальный, или период первичных реакций; 2) латентный, или скрытый (период кажущегося благополучия); 3) период выраженных клинических признаков, или период разгара болезни; 4) период восстановления с полным или частичным выздоровлением.

При этом в зависимости от клинических проявлений выделяют степени тяжести: легкую, среднюю, тяжелую и крайне тяжелую. Легкая степень характеризуется функциональными нарушениями органов и систем (функция может быть повышена или понижена). При средней степени отмечаются признаки морфологического повреждения наиболее радиочувствительных тканей – гипоплазия костного мозга с признаками лейко- и тромбоцитопении. При тяжелой степени наблюдаются выраженная гипоплазия костного мозга, резкая лейко- и тромбоцитопения, анемия, дистрофические изменения в органах и инфекционные осложнения. Степень тяжести и клинические проявления лучевой болезни зависят от полученной дозы ионизирующего излучения (табл. 19).

Продолжительность течения острой лучевой болезни зависит от степени тяжести (табл. 20).

Из местных поражений возможно радиоактивное загрязнение кожного покрова с развитием бета-ожогов кожи, которые по тяжести поражения так же подразделяют на четыре степени: легкую, среднюю, тяжелую и крайне тяжелую.

*Таблица 19 – Формы острой лучевой
болезни у млекопитающих*

Форма	Диапазон доз	Степень тяжести
Костномозговая (гематологическая)	0,1–2 Гр	Легкая
	2–4 Гр	Средняя
	5–10 Гр	Тяжелая
Кишечная	10–20 Гр	Тяжелая
Токсемическая (сосудистая)	20–80 Гр	Крайне тяжелая
Церебральная	50–80 Гр	Крайне тяжелая

*Таблица 20 – Продолжительность периодов острой
лучевой болезни*

Период	Степень тяжести			
	легкая	средняя	тяжелая	крайне тяжелая
Начальный	Нет, или часы	До 1 суток	До 2 суток	Более 2 суток
Латентный	30 суток	15–25 суток	8–17 суток	Менее 6 суток
Разгар	1 неделя	2–3 недели	3–4 недели	Гибель
Восстановление	1–1,5 месяца	2–3 месяца	3 месяца– 2 года	-

Диагноз ставят на основании анамнеза, данных дозиметрии и радиометрии, клинических симптомов болезни, морфологических, биохимических и иммунологических исследований крови, лабораторного исследования кала и мочи, а также результатов патологоанатомического вскрытия трупов павших животных и гистохимического исследования отдельных органов и тканей.

Клинические проявления лучевой болезни зависят от дозы и характера облучения (табл. 21).

Хроническая лучевая болезнь протекает в три периода: период формирования заболевания; период восстановления; период

последствий и исхода болезни. Эта форма лучевой болезни так же имеет легкую, среднюю и тяжелую степени и разные клинические проявления.

Таблица 21 – Пороговые дозы возникновения клинических проявлений (детерминированных эффектов) у человека

Облучаемый орган	Клинические проявления	Пороговая доза, Гр
Все тело	Рвота	0,5
	Смерть	4,0
Легкие	Пневмония	5,0
	Смерть	10,0
Кожа	Эритема	3,0
Щитовидная железа	Деструкция	10,0
Семенники	Стерильность	4,0

Период формирования заболевания соответствует времени накопления основной доли суммарной лучевой нагрузки. В этот период формируются клинические признаки хронической лучевой болезни с характерными для нее проявлениями. Однако данному периоду предшествуют так называемая доклиническая стадия в виде неспецифических, адаптивных реакций. При снижении уровня облучения эти реакции могут исчезать, и тогда типичные признаки хронической лучевой болезни не проявляются. Возрастание интенсивности или накопление определенной суммарной дозы облучения ведет к появлению признаков поражения в наиболее радиочувствительных органах и системах, в первую очередь в кроветворной.

Период восстановления наступает при прекращении облучения, он характеризуется преобладанием репаративных процессов в наиболее радиопоражаемых тканях, а также нормализацией функциональных нарушений в других системах.

Период последствий хронической лучевой болезни длится наиболее долго. В эти сроки может развиваться ряд патологических состояний и заболеваний: лейкоз, опухоли и т.п.

Профилактика лучевой болезни сводится к защите животных от воздействия ионизирующих излучений. К основным методам профилактики относят: физический, фармакологический и биологический.

Наиболее приемлем физический метод, который предполагает укрытие животных в помещении или локальное экранирование отдельных участков тела животного. При необходимости проводят дезактивацию волосяного покрова и кожи животных.

Фармакохимическая защита осуществляется за 10–60 минут до облучения путем введения животным радиопротекторов. Известно более трех тысяч химических соединений, оказывающих защитное действие от радиации. Наиболее эффективно применение серосодержащих веществ: цистамина, цистеамина, гаммафоса, а также производных индомелалкиламинов: серотонина и мексамина. Эффективность радиопротекторов усиливается с повышением иммунной реактивности организма, что достигается применением вакцин и сывороток.

Биологическая защита сводится к применению адаптогенов – веществ, повышающих общую сопротивляемость организма к радиации (препаратов элеутерококка, женьшеня, китайского лимонника, а также прополиса, сальмозана).

Задания

1. Заполните таблицу 22 по влиянию ионизирующих излучений на системы органов животных.

Таблица 22 – Воздействие ионизирующих излучений на системы органов животных и человека

Система органов	Наиболее чувствительные органы или компоненты системы	Пороговые дозы	Негативные последствия облучений
Кожа и слизистые			
Кровь и кроветворение			
Сердечно-сосудистая			

Продолжение таблицы 22

Нервная			
Органы чувств			
Эндокринная			
Половая			
Дыхательная			
Пищеварительная			
Выделительная			

2. На основе материалов лекций, учебного пособия и дополнительной литературы заполните таблицу 23, перечислив органы с разной чувствительностью к ионизирующим излучениям.

Таблица 23 – Радиочувствительность органов

Высокая	Средняя	Низкая

3. На основе материалов лекций, учебного пособия и дополнительной литературы заполните таблицу 24.

Таблица 24 – Острая лучевая болезнь

Период и его длительность	Клинические проявления	Диагностика	Лечение
Начальный			
Латентный			
Разгар			
Восстановление			

4. Опишите подходы к лечению лучевых поражений у животных.

5. Опишите признаки лучевых ожогов. От чего зависит степень их тяжести и каковы способы профилактики?

6. Выполните тестовое задание:

1) Какая степень тяжести лучевой болезни возникнет при дозе облучения 4–6 Гр.

а) легкая; б) средняя; в) тяжелая; г) крайне тяжелая;

2) Выделяют следующие формы острой лучевой болезни:

а) кишечную; б) токсическую; в) спинальную; г) церебральную;

3) Различают следующие периоды острой лучевой болезни:

- а) период первичной реакции,
- б) период мнимого благополучия,
- в) период явного благополучия,
- г) период разгара выраженных клинических проявлений,
- д) период разрешения заболевания;

4) По распределению дозы в объеме тела животного и человека различают следующие виды радиационного воздействия:

а) равномерное; б) неравномерное; в) местное; г) гомогенное;

5) Какие органы можно отнести к высоко радиочувствительным:

а) костный мозг; б) хрусталик глаза; в) сердце; г) кожа;

6) Какая пороговая доза излучения приводит к гибели палочек сетчатки глаза и потере зрения:

а) 1 Гр; б) 0,005 Гр; в) 0,5 Гр; г) 5 Гр;

7) Если латентный период острой лучевой болезни продолжается менее 6 суток – это свидетельствует о степени тяжести:

а) легкой; б) средней; в) тяжелой; г) крайне тяжелой;

8) Клиническими проявлениями начальной стадии острой лучевой болезни являются:

а) ослабление иммунитета; б) рвота; в) повышение температуры; г) повышение артериального давления; д) повышенная возбудимость; е) угнетенное состояние, сонливость;

9) К нестохастическим эффектам биологического действия ионизирующих излучений относят:

а) лучевую болезнь; б) генетические нарушения; в) бесплодие; г) развитие опухолевых заболеваний;

10) К методам профилактики лучевых поражений относятся:

а) физический; б) химический; в) фармакологический; г) биологический; д) физиологический.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются стохастические и детерминантные лучевые поражения?

2. Приведите примеры лучевых поражений у животных.
3. Чем определяется тяжесть лучевых поражений?
4. Какие факторы среды и состояния животного могут оказать влияние на тяжесть лучевого поражения?
5. В чем отличие между острой и хронической лучевой болезнью?
6. Как протекает лучевая болезнь у животных? По каким показателям ставится диагноз – «лучевая болезнь»?
7. Что такое радиочувствительность и от чего она зависит?
8. Как проводится лечение при лучевых поражениях животных?
9. Каковы особенности профилактики лучевых поражений у животных?

9 ИЗМЕНЕНИЕ КАРТИНЫ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ПРИ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

Вводные пояснения

При лучевых поражениях проявляется гематологический синдром, обусловленный уменьшением числа клеток в периферической крови вследствие нарушения их продукции. Главную роль в развитии данного синдрома играет поражение стволовых клеток, которые сосредоточены главным образом в органах кроветворения и лишь небольшое их количество циркулирует в периферической крови, а также повреждение созревающих клеток (миелобластов, промиелоцитов, миелоцитов). Определенную роль в формировании этого синдрома играет токсемический фактор – образующиеся после облучения токсические вещества блокируют синтез ДНК в ядрах клеток кроветворной ткани, что приводит к угнетению клеточного деления. Зрелые клетки, циркулирующие в периферической крови, относительно резистентны к действию ионизирующих излучений, за исключением лимфоцитов, содержание которых в крови снижается практически сразу после облучения.

Изменение состава периферической крови обусловлено нарушениями кровообразования, повышенным распадом клеток костного мозга, лимфатических узлов и крови из-за уменьшения их резистентности и повышения цитолитических свойств крови, а также утечкой форменных элементов крови из кровеносного русла в лимфу, вследствие увеличения после облучения проницаемости капилляров.

Изменение содержания лейкоцитов происходит в первые минуты и часы после облучения, как правило, развивается лейкоцитоз (нейтрофилез), как проявление стресс-реакции, опосредованной выбросом кортизола. В дальнейшем, на протяжении 3–5 суток, число гранулоцитов сохраняется, после чего развивается дегенеративная фаза снижения числа гранулоцитов, которая достигает максимума в разные сроки в зависимости от дозы (чем выше доза, тем раньше наступает момент максимальной депрессии). Восстановление начинается обычно с 4–5 недели заболевания (рис. 8, 9).



Рисунок 8 – Динамика числа лимфоцитов в зависимости от дозы облучения

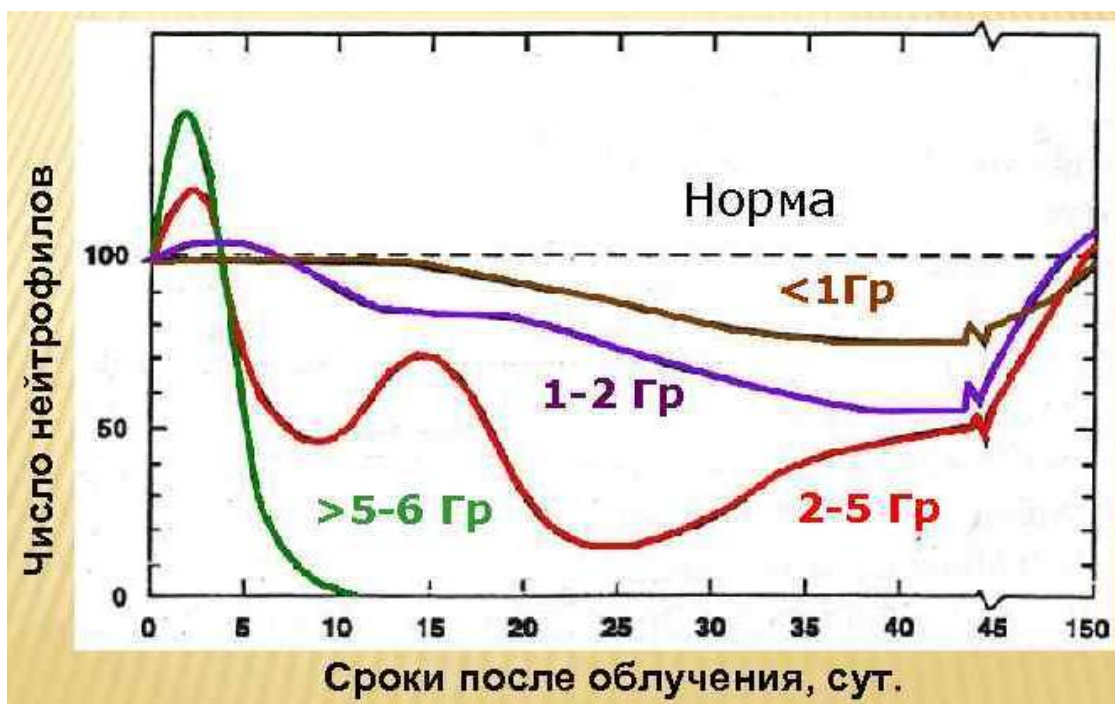


Рисунок 9 – Динамика числа нейтрофилов в зависимости от дозы облучения

Изменение числа тромбоцитов подчиняется тем же закономерностям, что и динамика количества нейтрофилов (рис. 10).

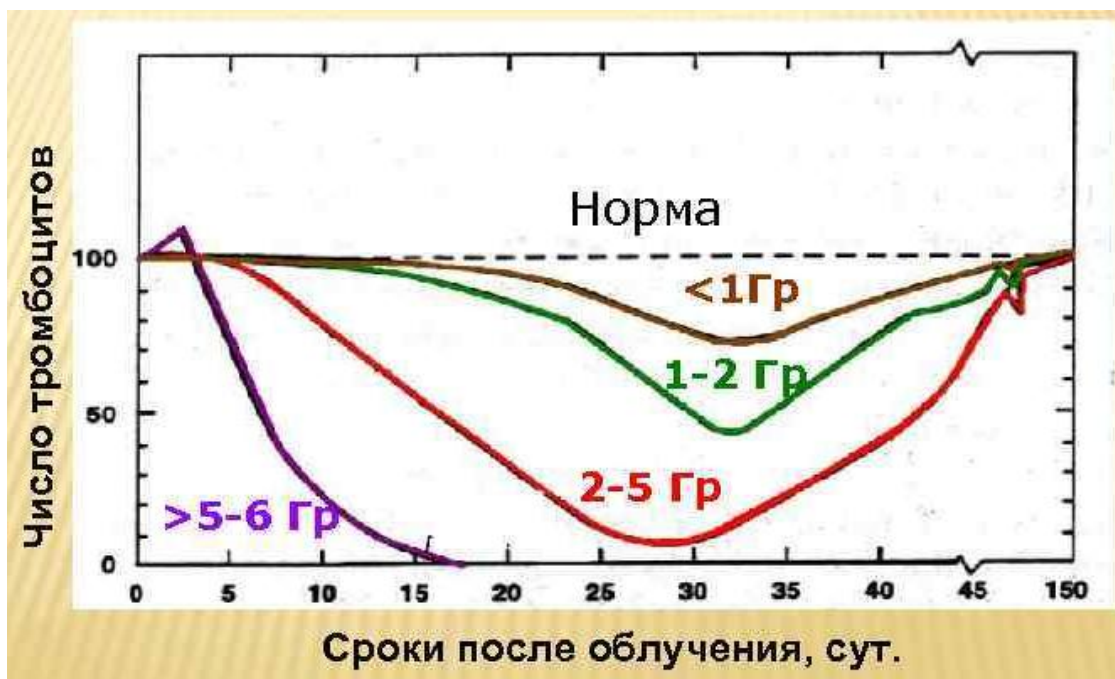


Рисунок 10 – Динамика числа тромбоцитов в зависимости от дозы облучения

Содержание эритроцитов из-за длительного срока их жизни начинает медленно понижаться лишь в конце 1-й – 2-й недели заболевания, а максимальная выраженность анемии регистрируется на 4-5 неделе (рис.11). Содержание гемоглобина изменяется параллельно изменению числа эритроцитов.



Рисунок 11 – Динамика числа эритроцитов после облучения

Число ретикулоцитов понижается с первых суток и остается сниженным до начала восстановления гемопоэза. Увеличение их количества в периферической крови на высоте заболевания является ранним признаком начала восстановления гемопоэза.

С нарушениями в системе кроветворения патогенетически связано формирование другого важного синдрома острой лучевой болезни – геморрагического, который характеризуется повышением степени проницаемости кровеносных сосудов и, как следствие, появлением признаков кровоизлияний в органах и тканях.

Остановимся на характеристике гематологических показателей периферической крови в зависимости от вида и тяжести лучевой болезни, поскольку именно эти показатели являются одними из основных в диагностике и прогнозировании исхода лучевых поражений у животных и человека (табл. 25).

Изменение показателей крови используется для диагностики степени тяжести хронической лучевой болезни. Следует обратить внимание на то, что увеличивается время свертывания и длительность кровотечения (табл. 26).

Таблица 25 – Степень тяжести острой лучевой болезни в зависимости от состава крови человека

Показатель	Степень тяжести			
	легкая	средняя	тяжелая	крайне тяжелая
Лимфоциты с 3 суток ($\times 10^9/\text{л}$)	1–0,6	0,6–0,3	0,3–0,1	Менее 0,1
Лейкоциты на 7-9 сутки ($\times 10^9/\text{л}$)	Более 3	3–2	2–0,5	Менее 0,5
Агранулоцитоз ($< 1 \times 10^9/\text{л}$)	Нет	4–5 неделя	2–3 неделя	1 неделя
Тромбоциты на 20 сутки ($\times 10^9/\text{л}$)	Более 80	79–50	Менее 50	Менее 20
Гипоплазия костного мозга	Нет	3 неделя	1 неделя	В первые дни
Опустынивание костного мозга	Нет	4–5 неделя	2 неделя	1 неделя

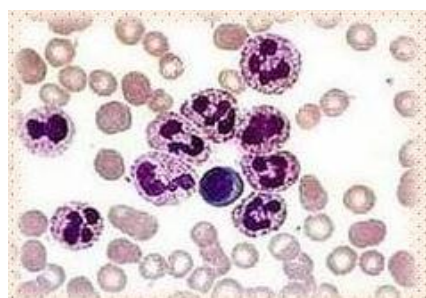
Таблица 26 – Изменение показателей (средние) крови при хронической лучевой болезни

Показатель крови	Степень тяжести		
	легкая	средняя	тяжелая
Эритроциты ($\times 10^{12}/\text{л}$)	4,0	2,5	1,5
Тромбоциты ($\times 10^9/\text{л}$)	150	70	30
Лейкоциты ($\times 10^9/\text{л}$)	3,5	2,0	1,2
СОЭ (мм/час)	10	20	40
Время свертывания (мин.)	5	10	15
Длительность кровотечения	5	10	15

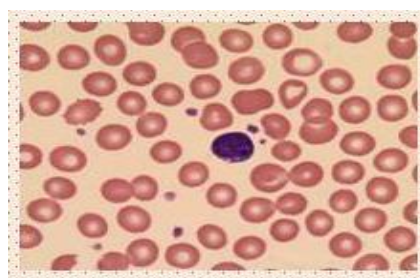
Задания

1. Зарисуйте графики изменения числа лимфоцитов, лейкоцитов, тромбоцитов и эритроцитов для каждой дозы облучения, используя рисунки 8, 9, 10, 11. Сделайте вывод о влиянии дозы ионизирующего излучения на показатели крови.

2. Рассмотрите рисунок 12, содержащий мазки крови человека, сделанные на 2-е и 7-е сутки после облучения. Определите их правильную последовательность по срокам и объясните наблюдаемую картину.



а)



б)

Рисунок 12 – Мазки крови человека, сделанные в разные сроки после облучения

3. Используя вводные пояснения к данной теме, дополнительную литературу и таблицу 27, рассчитайте примерные пока-

затели при легкой и средней степени тяжести лучевой болезни этих животных в разные периоды ее течения. Для этого следует предварительно рассчитать примерный процент изменения показателей крови у человека в разные периоды заболевания по отношению к норме, используя таблицу 26.

Таблица 27 – Нормальные показатели крови у разных видов животных

Виды животных	Эритроциты ($\times 10^{12}/\text{л}$)	Лейкоциты ($\times 10^9/\text{л}$)	Тромбоциты ($\times 10^9/\text{л}$)
КРС	5,0–7,5	4,5–12,0	260–700
Овцы	7,0–12,0	6,0–14,0	270–500
Козы	12,0–18,0	8,0–17,0	300–900
Лошади	6,0–9,0	7,0–12,0	200–500
Свиньи	6,0–7,5	8,0–16,0	180–300
Собаки	5,2–8,4	8,5–10,5	250–550
Кошки	6,6–9,4	10,0–20,0	100–500

4. Выполните тестовое задание (выберите несколько правильных ответов).

1) В первом периоде острой лучевой болезни в периферической крови увеличивается содержание:

а) ретикулоцитов; б) нейтрофилов; в) лимфоцитов; г) тромбоцитов;

2) Во втором периоде острой лучевой болезни в периферической крови уменьшается содержание:

а) ретикулоцитов; б) нейтрофилов; в) лимфоцитов; г) тромбоцитов;

3) В третьем периоде острой лучевой болезни в периферической крови появляются:

а) мегалоциты; б) мегалобласты; в) мегалодонты; г) тромбобласты;

4) По распределению дозы на тело животных и человека различают следующие виды радиационного воздействия:

а) равномерное; б) неравномерное; в) местное; г) гомогенное;

5) Доказательством патогенетических звеньев развития лучевой болезни являются:

а) нечувствительность ДНК; б) выраженный профилактический эффект радиопротекторов; в) волнообразно-периодическое течение лучевой болезни; г) высокая летальность при лучевой болезни;

б) При лучевых поражениях развивается синдром инфекционных осложнений. Основными причинами его развития являются снижение числа:

а) лимфоцитов; б) тромбоцитов; в) нейтрофилов; г) эритроцитов;

7) Наиболее радиочувствительными клетками крови являются:

а) лимфоциты; б) тромбоциты; в) нейтрофилы; г) эритроциты; д) эозинофилы;

8) Детерминированными эффектами действия ионизирующего излучения являются:

а) генные мутации; б) лучевая болезнь; в) лучевая катаракта; г) бесплодие; д) злокачественные опухоли.

Контрольные вопросы

1. Какие клетки крови наиболее радиочувствительны?
2. Как изменяется картина крови в первые сутки после облучения?
3. Как изменяется картина крови в разгар лучевой болезни?
4. Что происходит с числом тромбоцитов в ходе лучевой болезни и чем эти изменения объясняются?
5. Почему эритроциты менее чувствительны к ионизирующим излучениям?
6. Каким образом по картине крови можно определить степень тяжести лучевых поражений?

10 СТОХАСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Вводные пояснения

Стохастические радиобиологические эффекты – вредные воздействия, вызванные ионизирующими излучениями, не имеющие дозового порога возникновения, и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы. Клинически беспороговые эффекты диагностируются как злокачественные опухоли, лейкозы, а также наследственные болезни.

Стохастические радиобиологические эффекты разделяют на соматические и наследственные. Соматические эффекты проявляются у самого облученного лица, а наследственные – у его потомков. Основным отдаленным соматическим эффектом является повышенная частота развития у облученного населения раковых заболеваний, появление которых будет происходить в течение нескольких десятилетий (первые 50 лет) после облучения. Наследственные эффекты появляются вследствие облучения гонад у лиц репродуктивного возраста.

В основе стохастического эффекта излучения лежит радиационно-индуцированная мутация отдельных клеток облученного органа или ткани.

Мутацией называют внезапно возникающее естественное или искусственно вызываемое стойкое изменение структур клетки, ответственных за хранение наследственной информации, и ее передачу от клетки к клетке в процессе клеточного деления, без которого невозможно существование живого организма. Возникающие под действием излучения мутации половых клеток родителей могут привести к возникновению генетических (передающихся по наследству) эффектов излучения у потомков облученных лиц. Мутации соматических клеток тела человека могут привести к возникновению раковых заболеваний.

Возникновение мутаций под действием излучения и их реализация в виде наблюдаемого стохастического эффекта излучения имеют вероятностную природу. Мутация соматических и половых клеток живого организма является мощным фактором биологического развития. Клеточные мутации под действием

природных и искусственных факторов окружающей среды являются первопричиной и того, что дети не являются копиями своих родителей, и того, что любой человеческой популяции присущ определенный фоновый уровень спонтанных раковых и генетических заболеваний. До настоящего времени среди стохастических эффектов излучения не обнаружено специфических заболеваний, которые возникают только под действием излучения.

Ионизирующее излучение является всего лишь одним из факторов, воздействие которых может увеличить вероятность возникновения онкологических или генетических заболеваний в популяции.

С представлением о мутациях согласуется понятие о беспороговом характере действия излучения и о линейной зависимости эффекта от дозы (рис.13).

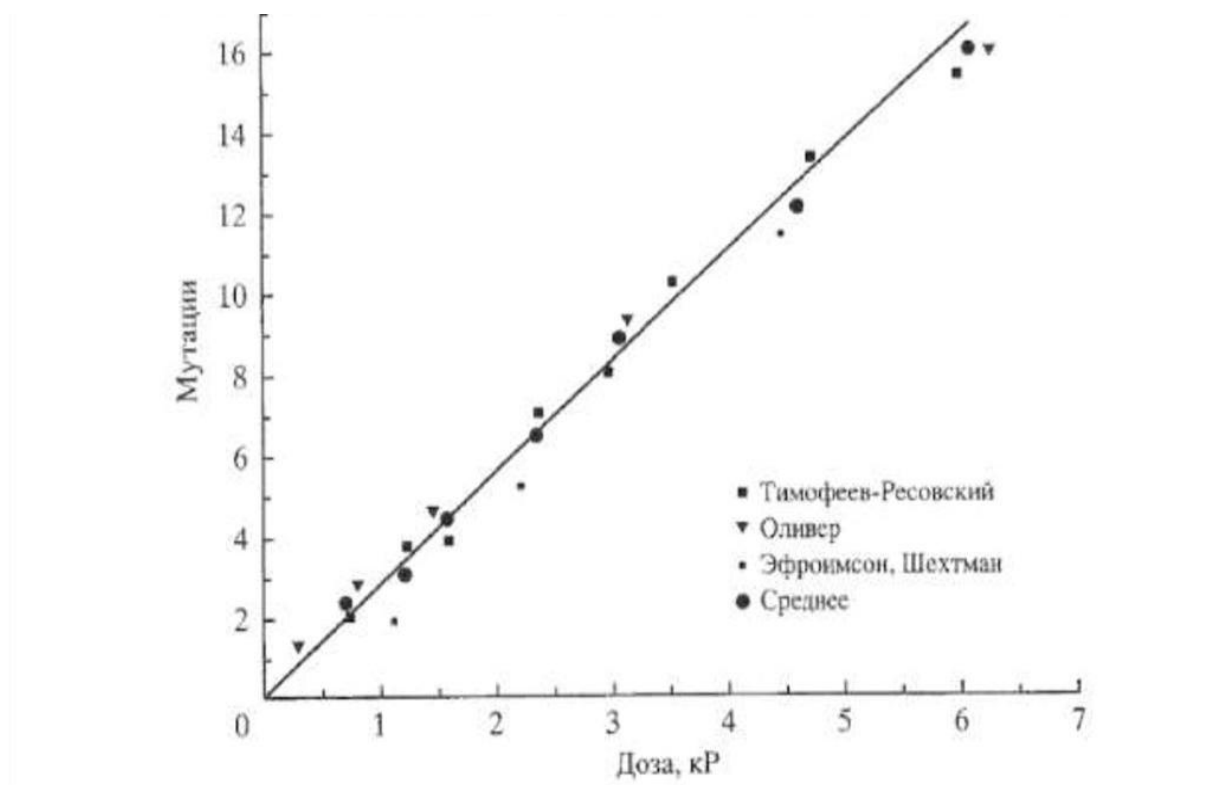


Рисунок 13 – Зависимость между частотой проявления летальных мутаций у дрозофилы и дозой рентгеновского излучения

Считается, что одна измененная клетка может положить начало развитию опухоли, а первичным изменением в клетке, достаточным для возникновения мутации, может быть разрыв ДНК,

возникший вследствие одной ионизации. В то же время в организме животных и человека всегда имеется большое число клеток, имеющих повреждения ДНК, достаточные для развития опухоли, но возникшие по другим, нерадиационным причинам.

Генетические исследования Н.Ф. Тимофеева-Ресовского, и других исследователей, проведенные в 1931–1940-х гг. на разных объектах и с разными видами ионизирующих излучений позволили сформулировать основные положения радиационной генетики:

1. Все типы ионизирующих излучений, проникающие в гаметы, повышают частоту возникновения мутаций;

2. Ионизирующие излучения вызывают мутации у всех живых организмов;

3. Помимо гамет мутации возникают во всех соматических клетках и у одноклеточных организмов;

4. Ионизирующие излучения вызывают все известные типы мутаций – генные, хромосомные, геномные;

5. Качественно спектры спонтанного и индуцированного мутационного процессов существенно не отличаются друг от друга;

6. Имеются количественные различия в спектре спонтанных и индуцированных излучением мутаций (например, в результате облучения резко повышается относительная частота определенных хромосомных перестроек. При действии ионизирующей радиации широко распространена потеря фрагментов);

7. Частота мутаций пропорционально дозе: для точковых мутаций зависимость от дозы носит линейный характер и не зависит от мощности дозы или ее фракционирования. Частота хромосомных перестроек пропорциональна квадрату дозы.

Удобным объектом для изучения мутагенного действия ионизирующих излучений являются лимфоциты периферической крови. Для них разработаны методы приготовления препаратов в стадии метафазы митоза, в которой удобно наблюдать хромосомы и возникающие в них под действием облучения аберрации.

Самым наглядным индикатором лучевого воздействия является наличие дицентриков и наличие центрических колец, которые в норме редки (3–5 на 10000 клеток) (рис. 14).

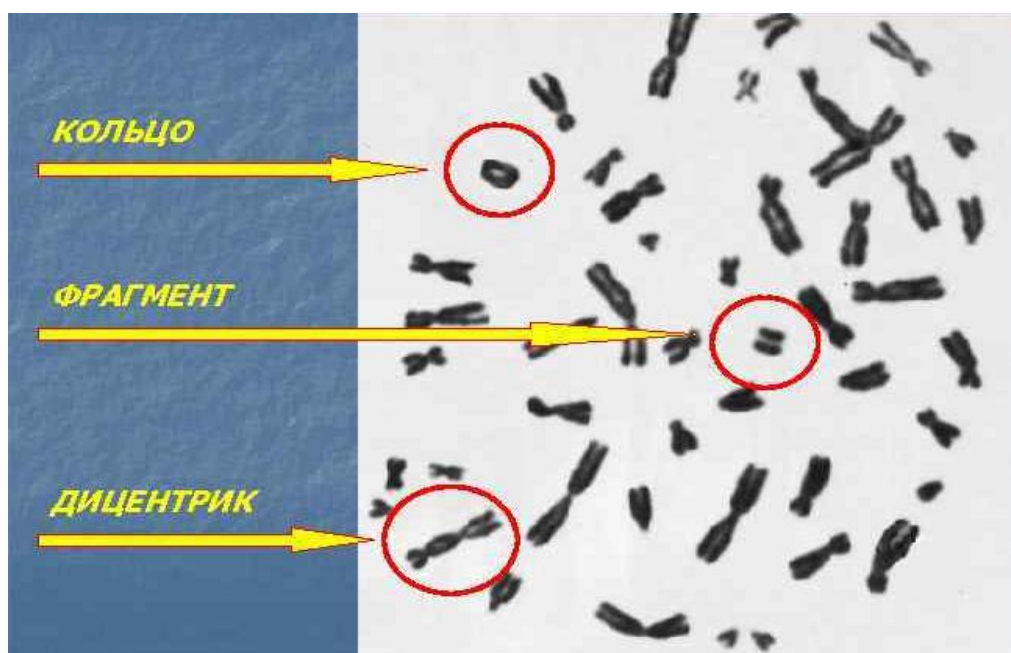


Рисунок 14 – Наиболее распространенные хромосомные aberrации, наблюдающиеся под действием ионизирующего излучения

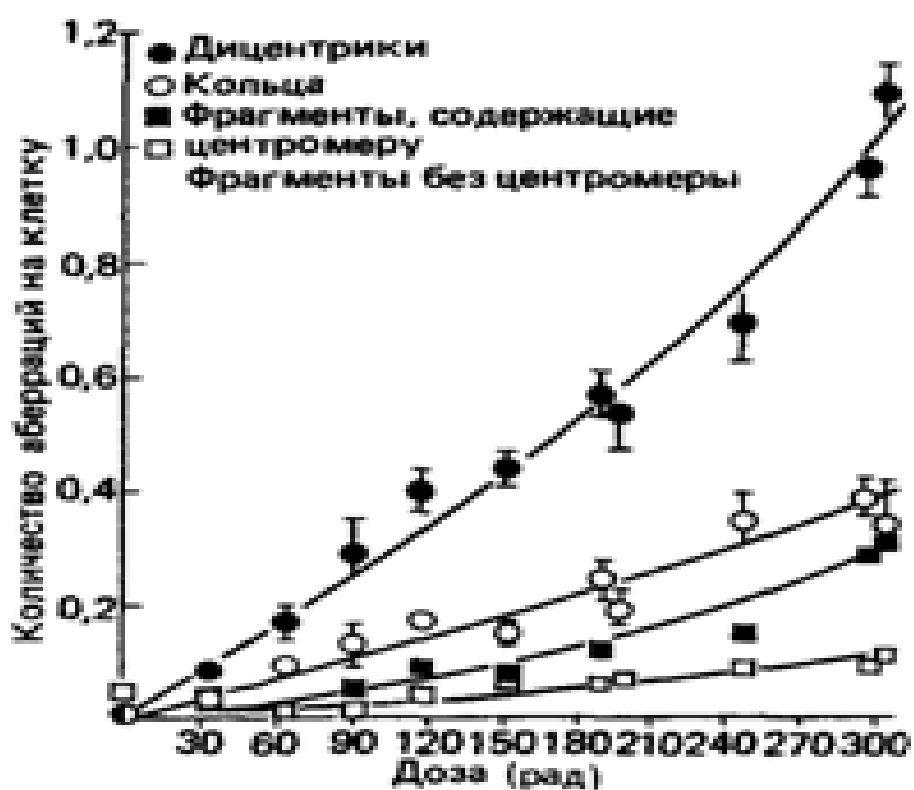


Рисунок 15 – Кривые «доза-эффекта» для хромосомных перестроек

Поскольку *in vivo* и *in vitro* хромосомы лимфоцитов одинаково радиочувствительны, можно применять метод учета хромосомных aberrаций для определения дозы облучения *in vivo*, используя кривые доза-эффекта, полученные *in vitro* (рис. 15).

Задания

1. Для обобщения знаний о хромосомных перестройках заполните таблицу 28.

Таблица 28 – Хромосомные мутации (абберации)

Тип перестройки	Характеристика	Рисунок
Нехватка (дефишенси)		
Делеция		
Дупликация		
Инверсия		
Транслокация		
Образование полицентриков		

2. Рассмотрите рисунок 16. Какие хромосомные мутации указаны стрелками. Подсчитайте набор хромосом, представленный на этом рисунке, определите процент мутированных хромосом по отношению к общему хромосомному набору? Используя рисунок 15, определите возможную полученную дозу.



Рисунок 16 – Наблюдаемые в световой микроскоп перестройки хромосомного набора

3. По рисунку 17 определите наборы хромосом, типы хромосомных перестроек и их количество. Используя рисунок 15, определите возможную полученную дозу.



Рисунок 17 – Перестройки хромосом под действием радиации

4. Исследователь обнаружил шесть хромосомных мутаций в клетках мухи дрозофилы. Можно ли сказать, какую дозу ионизирующего излучения получил организм? На основании чего можно сделать такой вывод?

Контрольные вопросы

1. Какие хромосомные мутации можно наблюдать после облучения в клетках животных?
2. Как влияет поглощенная доза на количество хромосомных перестроек?
3. В каких клетках животного организма возникают мутации под действием ионизирующих излучений?
4. Какие методы используются для обнаружения хромосомных перестроек?

11 РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вводные пояснения

Словосочетанием «радиационная безопасность» обозначают систему законов, норм, правил, направленных на охрану здоровья людей от вредного воздействия ионизирующих излучений при практическом использовании радиации и при радиационных авариях.

Главной целью радиационной безопасности является исключение возникновения детерминированных эффектов и уменьшение вероятности возникновения стохастических эффектов действия радиации на человека.

Проблемы защиты населения от действия ионизирующих излучений имеют глобальный, международный характер, и поэтому соответствующие научно-исследовательские и организационные мероприятия разрабатываются не только в отдельных странах, но и в мировом масштабе. В мире существует несколько организаций, занимающихся проблемами радиационной безопасности человека. В 1950 году была создана Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ). МКРЗ состоит из главной комиссии, и в ее состав входят национальные комиссии. В своей работе МКРЗ тесно сотрудничает с другими организациями: ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), МКРЕ (Международная комиссия по радиационным измерениям), НКДАР (Научный комитет по действию атомной радиации при ООН). НКДАР осуществляет сбор и анализ всей информации на планете о различных аспектах действия ионизирующих излучений на живые системы. Все эти организации являются неправительственными (общественными), в своих документах они разрабатывают и предлагают рекомендации по основным принципам регламентации правил при использовании источников ионизирующей радиации. Однако, все законодательные акты и официальные документы отдельных стран основываются на тех принципах, которые разработаны и рекомендованы этими организациями. Существует официальная международная (межправительственная) организация, которая занимается вопросами радиаци-

онной безопасности при мирном использовании атомной энергии – МАГАТЭ (международное агентство по атомной энергетике). МАГАТЭ является официальной структурой Организации объединенных наций, и все страны-члены ООН обязаны выполнять утвержденные ею нормы и правила обращения с источниками ионизирующих излучений.

В Российской Федерации вопросами нормирования ионизирующих излучений и контроля за соблюдением норм радиационной безопасности занимается Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор). Основными документами, регламентирующими вопросы использования естественных и искусственных источников ионизирующего излучения, являются «Нормы радиационной безопасности» НРБ-99/2009 и «Основные санитарные правила обращения с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСПОР-99). Эти документы составлены с учетом требований Международных Основных норм безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасности источников излучений, принятых в 1994 году совместно международными организациями: МАГАТЭ, НКДАР, ВОЗ, Международной Организацией труда, Продовольственной и Сельскохозяйственной организациями ООН, Агентством по ядерной энергии, Организацией экономического сотрудничества и развития. НРБ – 99/2009 и ОСПОР-99 являются основополагающими документами, регламентирующими требования законов об ограничении облучения человека: «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и «О радиационной безопасности населения». Никакие частные нормативные и методические инструкции не должны противоречить положениям этих документов.

Нормы радиационной безопасности распространяются на следующие виды воздействия ионизирующих излучений на человека:

- облучение персонала и населения в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения;
- облучение населения и персонала в условиях радиационной аварии;
- облучение персонала предприятий и населения природными

ми источниками ионизирующего излучения;

- облучение персонала и населения при медицинских процедурах.

Требования по обеспечению радиационной безопасности формулируются отдельно для каждого из этих способов облучения. Например, при подсчете дозовых пределов за год для профессионального работника учитываются только дозы, полученные при выполнении прямых профессиональных обязанностей, дозы, полученные им при медицинских процедурах, в полете на самолете и т.д. не учитываются. Суммарная доза всех названных видов облучения используется только для оценки радиационной обстановки и медицинских последствий.

Требования НРБ -99/2009 не распространяются на техногенные и естественные источники ионизирующих излучений, создающих индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв и коллективную дозу не более 1 чел.-Зв, а также на космическое излучение на поверхности Земли и на облучение, создаваемое инкорпорированным в организме природным радиоактивным калием.

Ответственность за соблюдение норм радиационной безопасности несут юридические лица, получившие лицензию на использование источников ионизирующего излучения. Ответственность за соблюдение требований по ограничению облучения населения природными источниками ионизирующего излучения несет администрация территорий и субъектов Российской Федерации. В соответствии с российскими законами, должностные лица и граждане, допустившие санитарное правонарушение могут быть привлечены к дисциплинарной, административной и уголовной ответственности.

При нормальных (не аварийных) условиях эксплуатации источников ионизирующего излучения, по допустимому уровню облучения устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группа А – это персонал, непосредственно работающий с источниками ионизирующих излучений; и группа Б – это персонал, не работающий с источниками ионизирующих излучений);

- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и ус-

ловий их производственной деятельности.

Для каждой категории облучаемых лиц устанавливаются следующие нормативы:

- основные дозовые пределы (таблица 29);
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида или одного вида внешнего излучения);
- пределы годового поступления (ПГГ);
- допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА) и удельные активности (ДУА).

Таблица 29 – Основные дозовые пределы, принятые в РФ, при нормальных условиях эксплуатации источников ионизирующего излучения

Нормируемая величина	Группа А	Группа Б	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	5 мЗв и 12,5 мЗв, соответственно	1 мЗв и 5 мЗв, соответственно
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза в коже, кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв	37,5 мЗв 125 мЗв	15 мЗв 50 мЗв

Основные дозовые пределы облучения лиц из персонала и населения не включают в себя дозы от природных, медицинских источников ионизирующего излучения и дозу вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения. При подсчете вклада в общее (внешнее и внутреннее) облучение от поступления в организм радионуклидов берется сумма произведений поступлений каждого радионуклида за год на его дозовый коэффициент. Годовая эффектив-

ная доза облучения равна сумме эффективной дозы внешнего облучения, накопленной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же период.

Интервал времени для определения величины ожидаемой эффективной дозы устанавливается равным 50 лет для лиц из персонала и 70 лет – для лиц из населения.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками ионизирующего излучения, вводятся дополнительные ограничения. Эквивалентная доза на поверхности нижней части живота у этих лиц не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм не должно превышать за год 1/20 предела годового поступления для персонала. Эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не должно превышать 1 мЗв. При установлении беременности будущая мать, работающая с источниками излучения, должна информировать об этом администрацию предприятия. Соответственно, администрация обязана перевести ее на работу, не связанную с излучением, на весь период беременности и вскармливания грудного ребенка.

Для студентов и учащихся в возрасте старше 16 лет, проходящих обучение с использованием источников ионизирующего излучения, годовые накопленные дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Планируемое повышенное облучение персонала при ликвидации аварии выше установленных дозовых пределов может быть разрешено только в тех случаях, когда нет возможности принять меры, исключающие их превышение, и может быть оправдано лишь спасением жизни людей, предотвращением дальнейшего развития аварии и облучения большого числа людей. Планируемое повышенное облучение допускается только для лиц мужского пола старше 30 лет, лишь при их добровольном письменном согласии, после информирования их о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

Планируемое повышенное облучение в дозе до 100 мЗв в год допускается с разрешения территориальных органов Госсанэпиднадзора. Облучение в дозе до 200 мЗв в год только с разре-

шения Госкомсанэпиднадзора России. Повышенное облучение не допускается:

- для лиц, ранее уже получивших дозу 200 мЗв в год в результате аварии или планируемого повышенного облучения;
- для лиц, имеющих медицинские противопоказания, согласно списку Минздрава России.

Лица, подвергшиеся однократному облучению в дозе, превышающей 100 мЗв, в дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв/год.

Однократное облучение в дозе свыше 200 мЗв/год рассматривается как потенциально опасное для здоровья и жизни человека. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование. Последующая работа с источниками излучения этим лицам может быть разрешена только в индивидуальном порядке по решению компетентной медицинской комиссии.

Эффективная доза, обусловленная облучением природными источниками ионизирующего излучения в производственных условиях, для работников, не относящихся к категории «персонал», не должна превышать 5 мЗв/год.

Численные значения радиационных факторов в воздухе производственных помещений или в производственной пыли не должны превышать:

- среднегодовой мощности дозы гамма-облучения на рабочем месте – 2,5 мкЗв/ч;
- среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона (^{222}Rn) в воздухе зоны дыхания – 310 Бк/м³;
- среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности торона (^{220}Rn) в воздухе зоны дыхания – 68 Бк/м³;
- удельной активности в производственной пыли ^{238}U , находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего семейства – 40/f кБк/кг, где f – среднегодовая общая запыленность воздуха в зоне дыхания, мг/м³;
- удельной активности в производственной пыли ^{232}Th , находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего семейства, – 27/f, кБк/кг.

Доза космического излучения не ограничивает производственную нагрузку экипажей самолетов, осуществляющих полеты на дозвуковых скоростях (высота полета до 10–12 км).

Население подвергается внешнему и внутреннему облучению ионизирующим излучением природных и искусственных источников. К природным источникам относятся космическое излучение и природные радионуклиды, содержащиеся в окружающей среде и поступающие в организм человека с воздухом, водой и пищей. Искусственные источники излучения разделяются на медицинские (диагностические и радиотерапевтические процедуры) и техногенные (искусственные и специально сконцентрированные человеком природные радионуклиды, генераторы ионизирующего излучения и др.). Следует различать техногенные источники, находящиеся под контролем или в процессе нормальной эксплуатации, и источники, находящиеся вне контроля (утраченные, рассеянные в окружающей среде в результате радиационной аварии и т.п.). Радиационная безопасность населения достигается путем ограничения облучения от всех источников ионизирующих излучений.

В отношении источников облучения населения необходимо принимать меры как по снижению дозы излучения у отдельных лиц, так и по уменьшению числа лиц, подвергающихся облучению.

Годовая доза облучения населения от всех техногенных источников, в условиях их нормальной эксплуатации, не должна превышать основные дозовые пределы, указанные в таблице 1. Эти дозовые пределы относятся к средней дозе у «критической группы» населения и рассматриваются как сумма дозы внешнего облучения за текущий год, или ожидаемой дозы за 70 лет вследствие поступления радионуклидов в организм за текущий год.

Для ограничения облучения населения отдельными техногенными источниками при их нормальной эксплуатации федеральным органом Госсанэпиднадзора могут устанавливаться квоты (доли) предела годовой дозы для разных видов источников так, чтобы сумма квот не превышала пределов дозы, указанных в таблице 29.

Облучение населения техногенными источниками при их нормальной эксплуатации ограничивается путем обеспечения со-

хранности источников ионизирующего излучения, контроля технологических процессов и ограничения выброса (сброса) радионуклидов в окружающую среду, другими мероприятиями на стадии проектирования, эксплуатации и прекращения использования источников ионизирующего излучения.

Допустимая удельная активность (ДУА) рассчитывается на основании значений ПГП через органы пищеварения для конкретных основных пищевых продуктов с учетом распределения по компонентам рациона питания и в питьевой воде, а также с учетом поступления радионуклида через органы дыхания и внешнего облучения. Числовые значения ПГП радионуклидов для населения через органы дыхания и пищеварения, а также соответствующие им значения, ДОА и ДУА приведены в НРБ-99/2009.

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников ионизирующего излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников.

Доза космического излучения не ограничивает возможность проживания в данной местности, но она должна учитываться при подсчете дозы, обусловленной всеми источниками ионизирующего излучения.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона и торона в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м^3 , а мощность дозы гамма-излучения не превышала мощности дозы на открытой местности более чем на $0,3 \text{ мкЗв/ч}$.

В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м^3 . При больших значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Вопрос о переселении жильцов (с их согласия) и перепрофилировании помещений или сносе здания решается в тех случаях, когда не-

возможно снижение среднегодовой равновесной эквивалентной объемной активности изотопов радона до значения менее 400 Бк/м³. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч. Вопрос о переселении жильцов рассматривается, если практически невозможно снизить это превышение до значений ниже 0,6 мкЗв/ч.

Принципы контроля и ограничения радиационных воздействий в медицине основаны на получении необходимой и полезной для больного диагностической информации или терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения. При этом не устанавливаются предельные дозовые значения и используются принципы обоснования по показаниям радиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты. Федеральными органами здравоохранения, по согласованию с Госкомсанэпиднадзором России, устанавливаются контрольные уровни медицинского облучения. Такие уровни могут быть установлены в рентгенологии, радионуклидной диагностике и терапии, лучевой терапии, исходя из стандартов мировой практики. Указанные уровни должны служить также основой для развития и совершенствования методологии радиологических медицинских процедур, проектирования и производства оборудования, радиофармпрепаратов и др.

При проведении профилактических медицинских рентгенологических, а также научных исследований практически здоровых лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, годовая эффективная доза облучения не должна превышать 1 мЗв. Это значение может быть превышено в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, требующей проведения дополнительных исследований или вынужденного использования радиологических методов. Такое решение о временном вынужденном превышении установленного предела профилактического облучения принимается областным (республиканским) управлением здравоохранения по согласованию с органами санэпиднадзора. Проведение научных исследований на людях с источниками ионизирующего излучения должно проводиться по решению федеральных органов здравоохранения и по согласованию с Гос-

комсанэпиднадзором России. Требуется обязательное письменное согласие испытуемого и предоставление ему информации о возможных последствиях и риске процедуры.

Лица (не являющиеся работниками рентгенорадиологического отделения), оказывающие помощь в поддержке пациентов (тяжелобольных, детей) при выполнении рентгенорадиологических процедур не должны подвергаться облучению, превышающему 5 мЗв в год.

Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 метра от пациента, которому с терапевтической или диагностической целью введены радиофармацевтические препараты, не должны превышать при выходе из радиологического отделения 3 мкЗв/ч.

При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение последующего облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т.е. являются вмешательством, влекущим за собой не только экономический ущерб, но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и экологический ущерб. Поэтому при принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими принципами:

- предлагаемое вмешательство должно принести обществу и прежде всего облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);

- форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т.е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

Однако, если предполагаемая доза облучения достигает уровней, при превышении которых возможны клинически опре-

деляемые эффекты, срочное вмешательство (меры защиты), безусловно, необходимо.

При проведении противорадиационных вмешательств дозовые пределы, указанные в таблице 29, не применяются. При планировании защитных мероприятий на случай радиационной аварии, органами госсанэпиднадзора устанавливаются уровни вмешательства (дозы и мощности доз облучения, уровни радиоактивного загрязнения) применительно к конкретному радиационно-опасному объекту и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии, сценариев развития аварийной ситуации и складывающейся радиационной обстановки. Срочное вмешательство необходимо во всех случаях, если прогнозируемые уровни облучения (расчетная эквивалентная доза за 2-е суток) превышают следующие величины: на все тело – 1 Зв, легкие – 6 Зв, кожа – 3 Зв, щитовидная железа – 5 Зв, хрусталик глаза, гонады – 2 Зв.

При авариях с последующим радиоактивным загрязнением обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки, устанавливается *зона радиационной аварии (ЗРА)*. В зоне радиационной аварии проводится мониторинг радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения на основе принципа оптимизации. Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, с уровнями А и Б, приведенными в таблице 30.

Если уровень облучения предотвращаемый защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и специального функционирования территории. Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий. Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормаль-

ной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

Таблица 30 – Критерии для принятия неотложных мер в начальном периоде аварийной ситуации

Мера защиты	Прогнозируемая доза за первые 10 суток, мГр			
	Все тело		Щитовидная железа, легкие, кожа	
	Уровень А	Уровень Б	Уровень А	Уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика Взрослые Дети			250*	2500*
			100*	1000*
Эвакуация	50	500	5000	

* только для щитовидной железы

На поздних стадиях радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долго живущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

Контролю подлежат:

- радиационные характеристики источников, выбросов в атмосферу, жидких и твердых радиоактивных отходов;
- радиационные факторы, создаваемые технологическим процессом на рабочих местах и в окружающей среде;
- радиационные факторы на загрязненных территориях и в зданиях с повышенным радиационным фоном;
- уровни облучения персонала и населения от всех источников облучения, на которые распространяется действие НРБ-99/2009.

Основными контролируруемыми параметрами являются:

- годовая эффективная доза; годовая эквивалентная доза (см. табл. 29);

- поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки их поступления;
- объемная или удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, продуктах питания, строительных материалах и др.;
- радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей;
- мощность дозы внешнего излучения;
- плотность потока частиц и фотонов.

Для целей оперативного контроля для всех контролируемых параметров устанавливаются контрольные уровни. Числовое значение этих уровней устанавливается таким образом, чтобы было гарантировано не превышение основных дозовых пределов и реализация принципа снижения уровней облучения до возможно низкого уровня. При этом учитывается воздействие всех радиационных и нерадиационных факторов от всех подлежащих контролю источников, возможная ошибка измерений, достигнутый уровень защищенности, возможность его дальнейшего снижения с учетом требований принципа оптимизации. Обнаруженное превышение контрольных уровней является основанием для расследования причин этого превышения.

Администрация предприятий может, с учетом местных условий, вводить дополнительные, более жесткие числовые значения контролируемых параметров.

В случае любого нарушения требований Норм радиационной безопасности администрация обязана:

- немедленно провести расследование причин, обстоятельств и последствий данного нарушения;
- принять меры по нормализации условий, приведших к нарушению, и по предупреждению его повторения;
- сообщить немедленно во все органы надзора и вышестоящую инстанцию о причинах нарушения и мерах по его устранению.

При невыполнении этих требований орган надзора в установленном порядке прекращает деятельность учреждения, а в случаях преднамеренных действий (или бездействия), приведших к нарушению, к виновным применяются меры по привлечению к административной, дисциплинарной или уголовной ответственности.

Государственный надзор за выполнением норм осуществляют органы и учреждения госсанэпиднадзора и других уполномоченных Правительством России министерств и ведомств, в соответствии с действующими нормативными актами.

Контроль над соблюдением норм в учреждениях, независимо от форм собственности, при нормальной работе возлагается на администрацию учреждений.

Контроль над соблюдением норм при медицинском облучении проводит администрация лечебного учреждения, а за природными источниками – администрация территорий.

При возникновении локальной радиационной аварии, не связанной с облучением населения, контроль за ее развитием, защитой персонала учреждения и аварийных бригад осуществляется администрацией предприятия, если не будет иных указаний органов государственного надзора.

При авариях, связанных с облучением населения, контроль осуществляется местными органами власти и государственного надзора с использованием сил и средств учреждения.

Задания

1. Мощность поглощенной дозы при работающем электронном микроскопе составляет 0,001 мГр/мин. Сколько часов в год могут работать при включенном микроскопе: а) научный сотрудник, просматривающий биологические срезы; б) лаборант, готовящий в соседней лаборатории биологические срезы для просмотра в электронном микроскопе.

2. При сеансе рентгенографии зубов происходит и облучение хрусталика глаза с величиной поглощенной дозы 3 мГр. Чему равно максимальное число таких сеансов в год, которые можно проводить одному и тому же пациенту?

3. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в зоне радиационной аварии составляет 1 Р/час. Какое максимальное время пребывания в этой зоне можно планировать добровольцам-ликвидаторам аварии, работающим по разрешению Госанэпиднадзора России?

4. Разрешается ли производить работы в горно-обогатительной фабрике, если мощность экспозиционной дозы

гамма-излучения в производственных помещениях составляет 0,05 мГр/час? Продолжительность рабочего дня составляет 6 часов при 5-дневной рабочей неделе, продолжительность отпуска рабочих – 2 месяца.

5. В построенном из железобетонных блоков жилом доме мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в квартирах оказалось равной 0,42 мкГр/час? Мощность радиационного фона в этой местности составляет 0,13 мкГр/час. Комиссия по приемке не приняла дом к эксплуатации, ссылаясь на несоответствие нормам радиационной безопасности. Какие нормы имела ввиду комиссия?

Контрольные вопросы

1. Какие международные и российские организации занимаются проблемами радиационной безопасности?

2. Какие законы и нормативные документы регулируют и регламентируют вопросы радиационной безопасности российских граждан?

3. На какие виды деятельности человека распространяются требования НРБ –99 и ОСПОР –99?

4. Какие нормативы установлены для персонала и населения при нормальных условиях эксплуатации источников ионизирующего излучения?

5. Как вы понимаете термин «планируемое повышенное облучение»? В каких условиях и для каких лиц допускается повышенное облучение?

6. Какие радиационные факторы учитываются при проектировании и строительстве жилых помещений?

7. По каким критериям ограничиваются радиационные факторы в воздухе производственных помещений?

8. Каково значение предельно допустимых доз ионизирующих излучений: а) при радиотерапии онкологических больных; б) при облучении здоровых людей с диагностическими целями ?.

9. Какие основные критерии учитываются для принятия мер срочного вмешательства (эвакуация людей, установление ЗРА и т.д.) при радиационной аварии? Какое должностное лицо несет ответственность за соблюдение требований по ограничению облучения населения города?

12 РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ ВЕТЕРИНАРНОГО НАДЗОРА

Вводные пояснения

В каждом субъекте Российской Федерации должен осуществляться постоянный государственный ветеринарный надзор за радиационной безопасностью сельскохозяйственной продукции, представляющий собой систему контроля за соблюдением:

- выполнения планов мероприятий по предупреждению, снижению или ликвидации радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции, животных, птиц, рыб на предприятиях, независимо от их организационно-правовой формы и форм собственности, физическими, юридическими, должностными лицами, гражданами Российской Федерации, а также иностранными гражданами и лицами без гражданства;

- ветеринарных правил при производстве, переработке, хранении, утилизации, ввозе в Российскую Федерацию, транзите по ее территории и вывозе загрязненных радиоактивными веществами продукции животноводства, кормов и других подконтрольных ветеринарной службе грузов;

- ветеринарных требований при проектировании, строительстве и реконструкции животноводческих помещений и предприятий по переработке, производству и хранению продуктов животноводства, при организации фермерских, личных подсобных хозяйств на территориях, пострадавших от радиационных аварий;

- производителями сельскохозяйственной продукции санитарных, ветеринарно-санитарных требований по содержанию радиоактивных веществ в продукции, кормах, кормовых добавках, обеспечивающих их безопасность для здоровья человека и животных.

В зависимости от радиационной ситуации, сложившейся на территории субъекта РФ, государственный ветеринарный надзор за содержанием радиоактивных веществ в сельскохозяйственной продукции осуществляется в виде планового периодического, планового систематического, внепланового оперативного контроля, сплошного обследования и проверок.

Плановый периодический радиологический контроль осуществляют на всей территории РФ, в том числе на территориях, пострадавших от радиационных аварий, путем исследования проб объектов ветнадзора, отобранных в контрольных пунктах, хозяйствах (в том числе личных подсобных), на перерабатывающих предприятиях и рынках по графику, утвержденному главным госветинспектором субъекта Российской Федерации.

Контрольные пункты (КП) – животноводческие хозяйства (фермы, отделения с их кормовой базой) независимо от формы собственности, выбранные с учетом географических, почвенно-климатических условий, структуры животноводства в регионе, радиационной ситуации и расположения радиационно опасных объектов. Контрольные пункты устанавливаются в соответствии с приказом главного государственного ветеринарного инспектора субъекта Российской Федерации.

Количество контрольных пунктов в субъекте РФ не может быть меньше семи (по одному молочно-товарному хозяйству в северном, южном, западном, восточном районах региона и в пригородной зоне, а также по одному товарному свиноводческому, птицеводческому хозяйству).

При наличии товарных овцеводческих, оленеводческих, рыбоводческих хозяйств устанавливают по дополнительному КП и в этих хозяйствах.

В регионах, где отрасли овцеводства или оленеводства являются основными, устанавливают не менее трех КП в хозяйствах вышеуказанных направлений и не менее четырех КП в молочно-товарных хозяйствах.

При наличии в регионе АЭС или другого радиационно опасного объекта дополнительно в его зоне или зоне каждого из них устанавливают три КП – в санитарно-защитной зоне, зоне наблюдения и зоне контроля. При размещении этих КП учитывают розу ветров. В случае товарного разведения рыбы в пруде-охладителе АЭС устанавливают четвертый дополнительный контрольный пункт.

В контрольных пунктах в постоянном режиме осуществляется отбор проб кормов, воды и сельскохозяйственной продукции для последующих исследований на суммарную бета-активность, содержание стронция-90, цезия-137, свинца-210, кальция-40.

Кроме того, при отборе проб измеряют мощность дозы гамма-излучения на местности от отбираемого объекта ветнадзора.

На предприятиях перерабатывающей промышленности периодический контроль осуществляют путем исследования проб на суммарную бета-активность, содержание радионуклидов стронция-90, цезия-137 во всех видах сырья, поступающего на переработку из каждого хозяйства обслуживаемой зоны. Исследования проводят двукратно: через месяц после выгона сельскохозяйственных животных на пастбища и через два месяца после постановки на стойловое содержание.

На рынках всю поступающую продукцию подвергают сплошному дозиметрическому контролю и дважды в год проводят радиометрические исследования каждого вида реализуемой продукции. На рынках, расположенных на территориях, пострадавших от радиационных аварий, ежеквартально исследуют все виды реализуемой продукции, поступающей из хозяйств, в том числе личных подсобных, расположенных в зоне радиоактивного загрязнения. При выявлении продукции с содержанием радиоактивных веществ (РВ) выше действующих нормативов переходят к систематическому исследованию всей продукции данного вида, производимой на той же территории, что и продукция, превышающая действующие нормативы.

Плановый систематический контроль осуществляют на территориях, пострадавших от радиационных аварий, путем радиологического исследования проб объектов ветнадзора, отобранных на рынках и предприятиях перерабатывающей промышленности.

На рынках плановый систематический контроль всей поступающей продукции осуществляют в тех регионах, где в течение года регистрируются случаи поступления продукции с содержанием (РВ) выше действующих нормативов. Если в течение года на рынке не зарегистрировано поступления продукции с содержанием РВ выше действующих нормативов, переходят к плановому периодическому контролю.

На предприятиях перерабатывающей промышленности плановый систематический радиологический контроль всей сельскохозяйственной продукции проводят в случае ее поступления из хозяйств, где в течение года зарегистрированы случаи получения продукции с содержанием РВ выше действующих нормативов.

Продукция, поступающая из других хозяйств, подлежит плановому периодическому контролю. Систематическому контролю также подлежат все сельскохозяйственные животные и продукция, закупаемые у населения и мелких фермерских хозяйств. Животных обязательно подвергают прижизненному радиологическому исследованию.

Готовая продукция, выработанная перерабатывающим предприятием из сырья, содержащего РВ выше действующего норматива, подлежит сплошному контролю. Сырье, поступающее на предприятие, и выработанную им готовую продукцию исследуют на содержание стронция-90, цезия-137.

Внеплановый оперативный радиологический контроль проводят в хозяйствах, на предприятиях перерабатывающей промышленности, холодильниках, рынках и т.д.. в случае возникновения новых радиационных аварий и при поступлении на них сельскохозяйственной продукции, в том числе кормов, из регионов, пострадавших от радиационных аварий. Продукцию исследуют на суммарную бета-активность и содержание регламентируемых действующими нормативными документами радионуклидов.

Сплошное обследование проводят в острый послеаварийный и последующий периоды с целью определения зоны поражения, спектра выпавших радионуклидов, степени радиоактивного загрязнения объектов ветнадзора и оценки дозовой нагрузки на сельскохозяйственных животных, для обеспечения принятия обоснованного решения по правилам ведения сельского хозяйства на пострадавшей территории и принятия адекватных мер, направленных на снижение последствий от радиационной аварии.

Для снижения содержания радионуклидов в продукции животноводства успешно применяется метод, основанный на системе откорма мясного скота. В последние 2–3 месяца откорма, т.е. перед предполагаемым убоем, животные содержатся только на «чистых» кормах. За это время мышцы и органы очищаются от цезия-137 в 10 и более раз. Полученное от таких животных мясо будет соответствовать самым жестким радиационным нормам. Порядок работы такой. Весь скот, поступающий из хозяйств, находившихся на загрязненной РВ территории, перед убоем обязательно проходит дозиметрический контроль. Если загрязнение

наружных покровов животных превышает установленный уровень (выше 0,1 мР/ч), их направляют на ветеринарную обработку. На специально отведенной площадке животных моют теплой водой с мылом, стиральными порошками или другими пенообразующими веществами (ОП-7, ОП-10) и вторично подвергают дозиметрическому контролю. При необходимости ветеринарную обработку повторяют.

Если после убоя в мясе преобладают короткоживущие радионуклиды (к примеру, йод-131), в таком случае полученные продукты целесообразно хранить в холодильниках до 3 месяцев. Как правило, через 80 дней в мясе, консервах, колбасах не останется и следа йода-131.

Способ дезактивации мяса, зараженного долгоживущими изотопами (цезий-137), выбирают исходя из реальной обстановки. Это могут быть варка в воде, мокрый посол, вымачивание. Следует помнить, что чем больше жидкости и меньше куски мяса, тем эффект выше. Кроме того, эффективность увеличивается при частой смене воды или рассола.

В случае выпадения радиоактивной пыли может произойти поверхностное загрязнение мяса и мясопродуктов. При этом нерастворимые фракции радионуклидов остаются на поверхности незащищенной продукции, а растворимая часть при попадании на влажную поверхность с течением времени проникает в продукт. Загрязнение можно предупредить, предварительно поместив его для хранения в герметичную тару или упаковку, герметичное складское помещение или холодильник. Дезактивация таких продуктов должна преследовать две задачи: удалить радиоактивную пыль с поверхности продукта и удалить радионуклиды, проникшие в глубину продукта.

Ранее уже говорилось, что наибольшую опасность для человека представляют радиоизотопы (радионуклиды) йода-131, цезия-137, стронция-90. В организм животного они попадают через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожные покровы. Радионуклиды способны накапливаться, а выделяться частично, в том числе и с молоком.

Существует два основных метода удаления радиоизотопов из молока – технологический и ионообменный. Однако последний ухудшает вкусовые качества молока.

В процессе сепарирования основная масса радионуклидов удаляется с обезжиренным молоком, и получают сливки с очень малым содержанием РВ. Чем выше жирность сливок, тем меньше в них радионуклидов. В среднем с обезжиренным молоком удаляется до 90 % йода-131, цезия-137, стронция-90.

При сбивании сливок в масло происходит дальнейшее удаление радиоизотопов, и в готовый продукт переходит не более 1–3 % от первоначального содержания радионуклидов. Основная часть РВ остается в пахте.

Таким образом, технологии переработки позволяют снизить содержание радионуклидов в готовой продукции, что необходимо учитывать при ведении сельского хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях.

Задания

1. Составьте программу проведения радиоационного контроля для Пензенской области, используя Приложения 5 и 6.
2. Заполните таблицу 31.

Таблица 31 – Методы снижения содержания радионуклидов в готовой продукции

Сельскохозяйственное сырье	Методы снижения содержания радионуклидов при производстве	Методы снижения содержания радионуклидов при переработке
Мясо		
Рыба		
Зерно		
Овощи		
Яйцо		
Молоко		
Мед		

Контрольные вопросы

1. Какие объекты ветеринарного надзора подвергаются обязательному радиационному контролю?
2. Какими методами и каким образом осуществляется радиационный контроль в субъекте Российской Федерации?
3. Какими законодательными актами и нормативами регламентировано проведение радиационного контроля на объектах ветеринарного надзора?
4. В чем отличия между сплошным и периодическим радиационным контролем?
5. В какие сроки и с какой периодичностью должен осуществляться радиационный контроль на объектах ветеринарного надзора?
6. Кто осуществляет радиационный контроль на объектах ветеринарного надзора?
7. Содержание каких радионуклидов и почему определяется в сельскохозяйственном сырье и продуктах питания?
8. Какие мероприятия позволяют уменьшить радиоактивность и содержание радионуклидов у животных и в продуктах питания?
9. Как осуществляется радиационный контроль на объектах ветеринарного надзора при авариях и радиационной опасности?

Вопросы для промежуточной аттестации

1. Определение радиоактивности.
2. Определение изотопа. Какие они бывают?
3. Приведите примеры естественных изотопов.
4. Назовите искусственные изотопы – основные загрязнители атмосферы.
5. Что из себя представляет α -излучение?
6. Что из себя представляет β -излучение?
7. Что такое γ -излучение?
8. Проникающая способность излучений.
9. Что такое ионизация? Виды ионизирующих излучений.
10. Определение периода полураспада. Долго-, средне-, короткоживущие радионуклиды.
11. Определение активности. Единицы активности.
12. Определение естественного радиационного фона.
13. С каким радиоизотопом связан естественный фон почвы и растений.
14. Определение радионуклидного загрязнения.
15. Глобальные источники загрязнения.
16. Миграция ^{137}Cs в экосистемах.
17. Миграция ^{90}Sr в экосистемах.
18. Миграция радионуклидов в почве.
19. Экспозиционная доза, единицы дозы.
20. Поглощенная доза, единицы дозы.
21. Эквивалентная доза, единицы дозы.
22. Мощность дозы, единицы мощности дозы.
23. Что такое коэффициент качества ОБЭ (КК)?
24. Методы реабилитации загрязненных радионуклидами почв.
25. Из чего формируется (в %) ежегодная доза облучения, связанная с естественным радиационным фоном?
26. Ряд опасности излучения при внешнем и внутреннем облучении.
27. Непосредственные эффекты облучения.
28. Отдаленные эффекты облучения.
29. Основные принципы радиационной безопасности.

30. Определение понятия ПДД, численное значение ПДД в единицах эквивалентной дозы.

31. Использование радиоактивных изотопов и излучений для диагностики болезней и лечения.

32. Использование ионизирующих излучений в растениеводстве.

33. Использование ионизирующих излучений в животноводстве и ветеринарии.

34. Действие радиации на ключевые системы млекопитающих.

35. Действие радиации на железы внутренней секреции.

36. Опосредованные эффекты облучения.

37. Отдаленные эффекты облучения.

38. Влияние радиации на нервную, эндокринную и иммунную системы регуляции.

39. Лучевая болезнь, ее диагностика и лечение.

40. Влияние кислорода и температуры на лучевые реакции организма.

41. Генетическое действие ионизирующих излучений.

42. Восстановительные процессы в облученной клетке.

43. Использование ионизирующего излучения в медицине.

44. Видовая, популяционная и индивидуальная радиочувствительность.

45. Механизмы непосредственных эффектов облучения.

46. Дополнительные источники радиации (рентгеновские и другие медицинские диагностические процедуры).

47. Источники радионуклидных загрязнений: испытание ядерного оружия, аварии на реакторах.

48. Радиационный контроль на объектах ветеринарного надзора. Особенности ведения сельского хозяйства в случае радиационной опасности.

49. Нормы радиационной безопасности. Особенности ведения сельского хозяйства в случае радиационной опасности.

50. Методы определения содержания радионуклидов в сельскохозяйственном сырье и продуктах питания.

51. Правила отбора проб для радиационного контроля.

52. Приборы, используемые для радиационного контроля и экспертизы.

Темы докладов с презентациями

1. Энергетические отходы АЭС.
2. Допустимые уровни загрязнения радионуклидами продукции сельского хозяйства.
3. Способы оценки дозовых нагрузок при проживании и ведении агропроизводства на загрязненных территориях.
4. Проблема радиоактивных отходов.
5. Радиозэкологическая обстановка в мире.
6. Радиозэкологическая обстановка на территории России.
7. Радиозэкологическая обстановка в области
8. Радиоизотопная метка в исследованиях эрозионных процессов.
9. Радиоизотопная метка в балансовых исследованиях.
10. Специфические приемы использования радиоизотопной метки.
11. Принципы метода меченых атомов, условия применимости и главные преимущества (абсолютная специфичность, высокая чувствительность, большая производительность, экономичность, минимальная нагрузка на изучаемую систему (объем)).
12. Использование радиоактивных изотопов и излучений для диагностики болезней и лечения.
13. Использование ионизирующих излучений в растениеводстве.
14. Использование ионизирующих излучений в животноводстве и ветеринарии.
15. Использование ионизирующих излучений в сельском хозяйстве.
16. Действие радиации на ключевые системы млекопитающих.
17. Действие радиации на железы внутренней секреции.
18. Опосредованные эффекты облучения
19. Отдаленные эффекты облучения.
20. Осуществление радиационного контроля в ветеринарии.

Тестовые задания

Виды радионуклидов. Закон радиоактивного распада

1. Период полураспада 5730 лет у следующего естественного радионуклида:

- 1) углерода-14; 2) радона-222;
- 3) радия-226; 4) калия-40.

2. Период полураспада 4.5 миллиарда лет у следующего естественного радионуклида:

- 1) уран-238; 2) уран-235;
- 3) радий-226; 4) углерод-14.

3. Период полураспада 28 лет у искусственного радионуклида:

- 1) йод-131; 2) стронций-90;
- 3) калий-40; 4) цезий-137.

4. Какие виды излучения образуются при радиоактивном распаде?

- 1) ЭМП; 2) СВЧ;
- 3) α -частицы; 4) β -, γ -частицы.

5. Какими единицами измеряется радиоактивность?

- 1) В/м (вольт на метр);
- 2) Дж (джоуль);
- 3) Р (рентген).

6. Атомное ядро элемента состоит из...

- 1) протонов; 2) протонов и нейтронов;
- 3) нейтронов; 4) протонов, нейтронов и электронов.

7. Превращение ядра $^{226}\text{Ra} \Rightarrow ^{222}\text{Rn}$ относится к:

- 1) делению ядра; 2) β -распаду;
- 3) α -распаду; 4) изомерному γ -переходу.

8. Вариант ответа, содержащий только естественные радионуклеиды:

- 1) ^{40}K , ^{137}Cs и ^{90}Sr ; 2) ^{238}U , ^{40}K и ^{232}Th ;
- 3) ^{14}C , ^{90}Sr и ^{131}I ; 4) ^{239}Pu , ^{137}Cs и ^{131}I .

9. Долгоживущие радионуклиды-загрязнители биосферы после испытания ядерного оружия – это:

- 1) ^{137}Cs и ^{90}Sr ; 2) ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I и ^{14}C ;

3) ^{40}K , ^{137}Cs и ^{90}Sr ; 4) ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{40}K , ^{131}I и ^{238}U .

10. Если период полураспада ^{42}K составляет 12 часов, то через двое суток число радиоактивных атомов уменьшится...

- 1) до нуля; 2) в 16 раз; 5) в 2 раза;
4) в 4 раза; 5) в 24 раза; 6) в 8 раз.

11. Среди радионуклидов к короткоживущим относится:

- 1) ^3H ; 2) ^{40}K ;
3) ^{14}C ; 4) ^{131}I .

12. Коэффициенты накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях увеличиваются на почвах...

- 1) легкосуглинистых; 2) тяжелосуглинистых;
3) песчаных; 4) среднесуглинистых;
5) супесчаных.

13. Среди радионуклидов к естественным относятся:

- 1) ^3H ; 2) ^{14}C ; 3) ^{131}I ; 4) ^{137}Cs .

14. Ядро атома $^{32}_{15}\text{P}$ состоит из...

- 1) 2 протонов и 2 нейтронов;
2) 32 протонов и 15 нейтронов;
3) 15 протонов и 17 нейтронов.

15. Разновидность атомов, имеющих одинаковое число протонов и разное число нейтронов, называют...

- 1) нуклидами; 2) изотопами;
3) изобарами; 4) изомерами.

16. Какой вид излучения имеет корпускулярную природу?

- 1) α ; 2) β ;
3) γ ; 4) рентгеновское.

17. Какой вид излучения имеет волновую природу?

- 1) α ; 2) β ;
3) γ ; 4) рентгеновское.

18. Какой элемент является химическим аналогом ^{90}Sr ?

- 1) калий (K); 2) кальций (Ca);
3) углерод (C); 4) азот (N).

19. Какой элемент является химическим аналогом ^{137}Cs ?

- 1) калий (K); 2) кальций (Ca);
3) углерод (C); 4) азот (N).

20. Проникающая способность какого излучения выше?

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) нейтронного.

21. При внутреннем облучении какая частица увеличивает вероятность летального исхода?

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) квант света.

22. Какой материал способен обеспечить минимальную защиту от α -излучения?

- 1) стекло;
- 2) бумага;
- 3) свинец;
- 4) бетон.

23. Какой материал способен обеспечить минимальную защиту от β -излучения?

- 1) стекло;
- 2) бумага;
- 3) свинец;
- 4) бетон.

24. Какой материал способен обеспечить минимальную защиту от γ -излучения?

- 1) стекло;
- 2) бумага;
- 3) свинец;
- 4) бетон.

25. Тип распада стронция-90...

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) нейтронно-позитронный.

26. Тип распада цезия-137...

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) нейтронно-позитронный.

27. Единица измерения радиоактивности вещества...

- 1) рентген;
- 2) грей;
- 3) беккерель;
- 4) зиверт.

28. Вариант ответа, содержащий только искусственные радионуклеиды – это ...

- 1) ^{137}Cs и ^{90}Sr ;
- 2) ^{238}U , ^{40}K и ^{232}Th ;
- 3) ^{14}C , ^{90}Sr и ^{131}I ;
- 4) ^{239}Pu , ^{137}Cs и ^{131}I .

29. Короткоживущие радионуклиды-загрязнители биосферы после испытания ядерного оружия – это...

- 1) ^{137}Cs и ^{90}Sr ;
- 2) ^{89}Sr , ^{131}I и ^{141}Ce ;

3) ^{40}K , ^{137}Cs и ^{90}Sr ; 4) ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{40}K , ^{131}I и ^{238}U .

30. Если период полураспада ^{131}I восемь суток, то через год число радиоактивных атомов уменьшится...

- | | |
|--------------|--------------|
| 1) до нуля; | 2) в 16 раз; |
| 3) в 4 раза; | 4) в 45 раз; |
| 5) в 8 раз; | 6) в 10 раз. |

Сельскохозяйственная радиобиология

1. Скорость выведения из организма млекопитающего ^{137}Cs по сравнению со ^{90}Sr ...

- | | | |
|------------|------------|----------------|
| 1) больше; | 2) меньше; | 3) одинаковая. |
|------------|------------|----------------|

2. Место накопления йода-131 и йода-129 в организме человека...

- | | |
|-----------------------|-------------|
| 1) щитовидная железа; | 2) легкие; |
| 3) кости; | 4) яичники. |

3. Место накопление стронция-90 в организме человека...

- | | |
|------------|------------------|
| 1) мышцы; | 2) костный мозг; |
| 3) печень; | 4) почки. |

4. При дозе 50–200 миллирентген выберите возможные последствия для человека.

- | |
|--|
| 1) нет достоверных симптомов; |
| 2) уменьшение количества белых кровяных клеток, тошнота, рвота; около 10 % погибают в течение нескольких месяцев при уровне в 200 миллирентген; |
| 3) потеря кровяных клеток, высокая температура, кровотечение, выпадения волос, тошнота, рвота, диарея, усталость, кожные нарывы; около 20 % погибают в течение нескольких месяцев; |
| 4) смерть в течение нескольких часов. |

5. Вывести радиацию из организма человека поможет...

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1) черный чай; | 2) зеленый чай; |
| 3) красный чай; | 4) кофе. |

6. Какое радиоактивное облучение представляет наибольшую опасность для здоровья человека при внутреннем облучении?

- | |
|--|
| 1) α -излучение, α -частицы; |
| 2) β -частицы, β -излучение; |

- 3) γ -излучение.
7. К какой группе критических органов относятся мышцы?
- 1) I группа;
 - 2) II группа;
 - 3) III группа;
 - 4) IV группа.
8. Где в яйце накапливается преимущественно йод-131?
- 1) в желтке;
 - 2) в белке;
 - 3) в скорлупе;
 - 4) в белке и в желтке.
9. Заболевание человека, подвергшегося радиационному поражению – это...
- 1) токсический зоб;
 - 2) лейкоз;
 - 3) лучевая болезнь;
 - 4) иммунодефицит.
10. Теории прямого действия ионизирующих излучений на живые организмы представляют...
- 1) результат непосредственного поражения клеточных структур, что вызывает различные патологии;
 - 2) результат непосредственного поражения межклеточных структур, что вызывает рассогласование функций клеток;
 - 3) взаимодействие биологически активных молекул с промежуточными продуктами, образующимися под влиянием ионизирующих излучений.
11. Когда развиваются непосредственные эффекты облучения?
- 1) в течение нескольких недель после облучения;
 - 2) в течение нескольких недель и месяцев после облучения;
 - 3) в течение нескольких недель, через много месяцев и лет после облучения.
12. Генетические эффекты проявляются в виде...
- 1) нарушений в структурных элементах клетки;
 - 2) мутаций;
 - 3) перестройки в хромосомах и генах;
 - 4) гибели половых клеток.
13. Радиорезистентность – это...
- 1) способность живого объекта переносить действие радиации;

- 2) реакция живого объекта на действие радиации;
- 3) неспособность живого объекта переносить действие радиации.

14. Реакция организма на воздействие ионизирующей радиации, характеризующаяся комплексом последовательно развивающихся морфологических и функциональных изменений всех органов и систем называют...

- 1) лейкозом;
- 2) лучевой болезнью;
- 3) онкологическим заболеванием.

15. Что вызывает единовременная доза в 6 Гр у человека массой 70 кг?

- 1) изменение лейкоцитарной формулы;
- 2) острую лучевую болезнь;
- 3) смерть.

16. Какие органы наиболее уязвимы при облучении, теряют способность нормально функционировать при дозе 0,5–1,0 Гр?

- 1) репродуктивные;
- 2) кроветворные;
- 3) зрения;
- 4) эндокринные железы.

17. Однократное облучение в какой дозе приводит к постоянной стерильности мужчин?

- 1) 0,1 Гр;
- 2) 1 Гр;
- 3) 2 Гр;
- 4) свыше 2 Гр.

18. Однократное облучение в какой дозе приводит к постоянной стерильности женщин?

- 1) 0,1 Гр;
- 2) 2 Гр;
- 3) 3 Гр;
- 4) свыше 3 Гр.

19. Что такое репарационная система?

- 1) набор восстановительных ферментов;
- 2) набор разрушительных ферментов;
- 3) набор окислительных ферментов.

20. Теории непрямого действия ионизирующих излучений на живые организмы предполагают...

- 1) непосредственное поражение клеточных структур, что вызывает различные патологии;
- 2) непосредственное поражение межклеточных структур;

тур, что вызывает рассогласование функций клеток;

3) взаимодействие биологически активных молекул с промежуточными продуктами, образующимися под влиянием ионизирующих излучений.

Радиационное загрязнение среды и продуктов питания

1. Для снижения содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства наиболее эффективны удобрения...

- 1) азотные; 2) фосфорные;
- 3) калийные; 4) комплексные.

2. Нормы внесения фосфорных и калийных удобрений, снижающие поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения...

- 1) ниже оптимальных для культуры;
- 2) оптимальные для культуры;
- 3) выше оптимальных для культуры.

3. Прием, который при использовании отдельно, не снижает накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции растениеводства...

- 1) известкование кислых почв;
- 2) внесение азотных удобрений;
- 3) внесение органических удобрений;
- 4) проведение глубокой вспашки с оборотом пласта.

4. Среди мясных продуктов наименьшее количество ^{137}Cs и ^{90}Sr содержит...

- 1) мясо; 2) сало;
- 3) субпродукты (печень, сердце, легкие и др.).

5. Чтобы снизить содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе его следует...

- 1) выварить в воде; 2) тушить в собственном соку;
- 3) жарить в масле; 3) вялить и коптить.

6. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в молочных продуктах снижается при получении...

- 1) сухого молока; 2) сыра;
- 3) кефира; 4) кипяченого молока.

7. При переработке молока, загрязненного ^{131}I на масло содержание радионуклидов снижается...

- 1) в 2-5 раза; 2) в 5-10 раз;

3) в 30-50 раз; 4) в 50-100 раз.

8. На территориях, сильно загрязненных ^{90}Sr , предпочтительно ведение...

- 1) овощеводство; 2) кормопроизводство;
3) семеноводство; 4) животноводство.

9. На территориях, сильно загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr лучше отказаться от выращивания:

- 1) технических культур; 2) кормовых культур;
3) семенного материала; 4) овощей в теплицах.

10. После аварии на Чернобыльской АЭС наибольшим уровнем радиоактивного загрязнения в России характеризуется область...

- 1) Орловская; 2) Рязанская;
3) Смоленская; 4) Курская;
5) Брянская; 6) Пензенская.

11. Радиоактивные выпадения ^{137}Cs и ^{90}Sr локализуются на целинных почвах преимущественно в слое...

- 1) 0–5 см; 2) 0–50 см;
3) 0–20 см; 4) 0–100 см.

12. Радионуклиды (^{137}Cs и ^{90}Sr) прочнее закрепляются в почвах, где содержание органического вещества...

- 1) высокое; 2) низкое; 3) среднее.

13. Больше ^{137}Cs и ^{90}Sr накапливают сорта растений...

- 1) раннеспелые; 2) позднеспелые;
3) среднеранние; 4) не зависимо от сорта.

14. Какой район Пензенской области наиболее загрязнен радионуклидами?

- 1) Лунинский; 2) Городищенский;
3) Каменский; 4) Кузнецкий.

15. Какие радиоактивные изотопы, обуславливают длительное загрязнение местности?

- 1) йод-131, стронций-89;
2) цезий-137, стронций-90;
3) кобальт-60, марганец-54.

16. Из каких почв стронций-90 поступает в растения в значительно больших количествах?

- 1) кислых; 2) нейтральных; 3) щелочных.

17. В каких овощных культурах накапливается больше всего радиостронция?

- 1) в корнеплоде столовой свеклы;
2) в плодах томатов;
3) в клубнях картофеля.

18. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в единице хозяйственноценной части урожая культур увеличивается в растениях...

- 1) бобовые; 2) зернобобовые;
3) озимые зерновые; 4) яровые зерновые;
5) корнеплоды; 6) плодовых.

19. Если содержание ^{90}Sr в почве 10 Бк/кг, а коэффициент накопления его в растениях $K_n = 5$, то ожидаемое загрязнение растений составит...

- 1) 10 Бк/кг; 2) 50 Бк/кг;
3) 5 Бк/кг; 4) 20 Бк/кг.

20. Эффективность мероприятий, снижающих внешнее облучение от ^{137}Cs в почве, увеличивается при приемах...

- 1) фрезерование на глубину 10 см;
2) вспашка плантажным плугом с предплужником;
3) безотвальная вспашка;
4) обычная вспашка с предплужником.

21. Какие факторы играют важнейшую роль в проникновении радионуклидов через корневую систему?

- 1) растворимость; 2) биологическая подвижность;
3) доступность; 4) количество в почве.

22. Радиоактивность каких сельскохозяйственных угодий выше?

- 1) сенокосов; 2) заливных лугов;
3) пастбищ; 4) садов.

23. Какое количество почвы проходит ежегодно через ЖКТ КРС?

- 1) 100 кг; 2) 80 кг; 3) до 600 кг.

24. Какие приемы для снижения содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства наиболее эффективны?

- 1) внесение азотных удобрений;
- 2) комплексное удобрение и известкование;
- 3) внесение калийных удобрений.

25. Какие приемы для снижения содержания ^{90}Sr в продукции растениеводства наиболее эффективны?

- 1) внесение азотных удобрений;
- 2) комплексное удобрение и известкование;
- 3) внесение калийных удобрений.

26. Прием, который может не снизить, а увеличить накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции растениеводства – это...

- 1) известкование кислых почв;
- 2) внесение азотных удобрений;
- 3) внесение органических удобрений.

27. Коэффициенты накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях уменьшаются на почвах...

- 1) легкосуглинистых;
- 2) тяжелосуглинистых;
- 3) песчаных;
- 4) среднесуглинистых;
- 5) супесчаных.

28. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в единице хозяйственно-ценной части урожая культур уменьшается в растениях...

- 1) бобовых;
- 2) зернобобовых;
- 3) озимых зерновых;
- 4) яровых зерновых;
- 5) корнеплодах

29. Какие культуры накапливают максимальное количество ^{137}Cs и ^{90}Sr в хозяйственно-ценной части урожая при выпадении радиоактивных осадков?

- 1) картофель;
- 2) зеленные культуры;
- 3) ягоды;
- 4) грибы;
- 5) горох;
- 6) пшеница;
- 7) кукуруза.

30. Период полувыведения ^{137}Cs из организма крупного рогатого скота...

- 1) 3 суток;
- 2) 46 суток;
- 3) 3000 суток;
- 4) 26 суток.

Дозиметрия ионизирующих излучений

1. Как называются приборы для измерения радиоактивности?
1) мегометр; 2) дозиметр;
3) рентгенометр; 4) манометр.
2. Боязнь облучения даже в самых незначительных дозах – это...
1) радиобоязнь; 2) радиофобия;
3) радиоопасность; 4) радиочувствительность.
3. Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной единицей массы облучаемого неживого вещества называют...
1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.
4. Грей – это единица измерения...
1) поглощенной дозы; 2) экспозиционной дозы;
3) эквивалентной дозы; 4) эффективной дозы.
5. Рентген – это единица измерения...
1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.
6. Рад – это единица измерения...
1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.
7. Зиверт – это единица измерения...
1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.
8. Количество энергии ионизирующего излучения, вызываемому эффект ионизации в воздухе называют...
1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.
9. Бэр – это единица измерения...
1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.

10. Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной единицей массы облучаемого живого организма называют...

- 1) поглощенной дозой; 2) экспозиционной дозой;
- 3) эквивалентной дозой; 4) эффективной дозой.

11. Приборы, предназначенные для измерения мощности дозы рентгеновского или гамма-излучения – это...

- 1) дозиметры; 2) рентгенметры;
- 3) радиометры; 4) индикаторы.

12. Простейшие приборы радиационной разведки – это...

- 1) дозиметры; 2) рентгенметры;
- 3) радиометры; 4) индикаторы.

13. Приборы, предназначенные для измерения дозы и мощности поглощенной дозы ионизирующего излучения – это...

- 1) дозиметры; 2) рентгенметры;
- 3) радиометры; 4) индикаторы.

14. Приборы, предназначенные для измерения плотности потока ионизирующего излучения и активности радионуклидов:

- 1) дозиметры; 2) рентгенметры;
- 3) радиометры; 4) индикаторы.

15. В каких единицах измеряется мощность поглощенной дозы?

- 1) Р/ч; 2) Гр/ч;
- 3) Зв/ч; 4) Ки/км².

16. Как расшифровывается ОБЭ? Как...

- 1) общая биологическая эффективность;
- 2) относительная биологическая эффективность;
- 3) определенная биологическая эффективность.

17. Чему равен коэффициент ОБЭ для альфа-излучения?

- 1) 1; 2) 5; 3) 10; 4) 15.

18. Чему равен коэффициент ОБЭ для бета-излучения?

- 1) 1; 2) 5; 3) 10; 4) 15.

19. Чему равен коэффициент ОБЭ для гамма-излучения?

- 1) 1; 2) 5; 3) 10; 4) 15.

20. Чему равен коэффициент ОБЭ для рентгеновского излучения?

- 1) 1; 2) 5; 3) 10; 4) 15.

Изотопно-индикаторный метод

1. Изотоп углерода, используемый в качестве «метки», в сельскохозяйственных исследованиях. Это – ...

- 1) ^{11}C ; 2) ^{13}C ; 3) ^{14}C .

2. Изотоп водорода, используемый в качестве «метки», в сельскохозяйственных исследованиях. Это – ...

- 1) ^1H ; 2) ^2H ; 3) ^3H .

3. Изотоп кислорода, используемый в качестве «метки», в сельскохозяйственных исследованиях. Это – ...

- 1) ^{14}O ; 2) ^{15}O ; 3) ^{18}O .

4. Изотоп азота, используемый в качестве «метки», в сельскохозяйственных исследованиях. Это – ...

- 1) ^{13}N ; 2) ^{15}N ; 3) ^{17}N .

5. Изотоп фосфора, используемый в качестве «метки», в сельскохозяйственных исследованиях. Это – ...

- 1) ^{31}P ; 2) ^{32}P ; 3) ^{35}P .

6. Какую задачу решает использование меченых удобрений?

- 1) Динамика использования растением меченых элементов;
2) Как усваивает растение данный элемент из удобрения;
3) Как усваивает растение данный элемент из почвы.

7. Простейший способ определения наличия в растениях радиоактивных меченых атомов. Это – ...

- 1) радиоавтография; 2) рентгенография;
3) фотография; 4) микрофотография.

8. Точный метод обнаружения радиоактивных изотопов в растениях. Это – ...

- 1) использование счетчиков;
2) использование дозиметров;
3) использование фотопластин;
4) использование радиохимического анализа.

9. В качестве «метки» могут использоваться...
- 1) только радиоактивные изотопы;
 - 2) только стабильные изотопы;
 - 3) радиоактивные и стабильные изотопы.
10. В каких единицах времени не должен быть период полураспада у изотопов, используемых в исследованиях:
- 1) секунды;
 - 2) минуты;
 - 3) часы;
 - 4) дни;
 - 5) годы.
11. Для обнаружения и определения стабильных изотопов используют прибор, называемый...
- 1) радиометр;
 - 2) масс-спектрометр;
 - 3) ионизационная камера;
 - 4) дозиметр.
12. Какие способы не используются для введения метки в объект исследований?
- 1) химический синтез;
 - 2) биосинтез;
 - 3) изотопный обмен;
 - 4) механическое включение;
 - 5) физический синтез.
13. Требуется ли полностью для анализа выделять из объекта исследований «метку»?
- 1) да;
 - 2) нет;
 - 3) нет, если это затруднительно или невозможно.
14. В каких исследованиях не используется метод меченых атомов?
- 1) радиометрическое титрование;
 - 2) нейтронный активационный анализ;
 - 3) томография.
15. Радиоиммунологический метод основан на применении...
- 1) антигенов;
 - 2) антидепрессантов;
 - 3) антител;
 - 4) антисывороток.
16. При помощи радиоиммунологического метода можно оценить работу...
- 1) щитовидной железы;
 - 2) легких;
 - 3) сердца;
 - 4) головного мозга.

17. С помощью методов радиоактивных индикаторов в энтомологии можно изучить...

- 1) пути и скорость миграции насекомых;
- 2) места гибели насекомых;
- 3) места резервации насекомых.

18. Для чего не используется метод меченых атомов в почвоведении?

- 1) для определения физических свойств почвы;
- 2) для определения в почве запасов питательных веществ;
- 3) для определения влажности почвы.

19. Какой процесс в растениях был выявлен с использованием радиоактивного углерода?

- 1) фотосинтез;
- 2) дыхание;
- 3) транспирация;
- 4) размножение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин, Р.М. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р.М. Алексахин, Н.А. Корнеева. – Москва: Экология, 1992. – 400 с.
2. Андреева, Н.В. Влияние различных видов органических удобрений на переход ^{137}Cs в урожай зерновых культур / Н.В. Андреева, Н.В. Белова, В.К. Кузнецова и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Т. 60. – № 1. – С. 99-107.
3. Анненков, Б.Н. Радиационные аварии и их последствия в агро-сфере / Б.Н. Анненков, А.В. Егоров, Р.Г. Ильязов. – Казань: АН РТ, 2004. – 408 с.
4. Барсуков, О.А. Радиационная экология / О.А. Барсуков, К.А. Барсуков. – Москва: Научный мир, 2003. – 253 с.
5. Гродзенский, Д.Э. Радиобиология / Д.Э. Гродзенский. – Москва: Госатомиздат, 2006. – 198 с.
6. Гуменов, А.В. Заболеваемость трихинеллезом и удельная активность радионуклидов в организме диких животных, обитающих на территориях радиационного загрязнения / А.В. Гуменов, В.А. Пенькевич, К.Ф. Саевич // Труды БГТУ, 2017. – серия 1. – № 2. – С. 213–219.
7. Иванов, В.К. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: оценка радиационных рисков / В.К. Иванов, А.Ф. Цыб. – Москва: Медицина, 2002. – 392 с.
8. Козьмин, Г.В. Ведение сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения: учебное пособие \ Г.В. Козьмин, С.В. Круглов, А.А. Курганов. – Обнинск: ИАТЭ, 1999. – 216 с.
9. Козьмин, Г.В. Основы ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения / Г.В.Козьмин, С.В. Круглов, Б.И. Яцало. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 183 с.
10. Крышев, И.И. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России / И.И. Крышев, Е.П. Рязанов. – Москва: ИздАТ, 2000. – 383 с.
11. Кудряшов, Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения): учебник для вузов / Кудряшов Ю.Б.- Москва: Физматлит, 2004. – 447 с.

12. Кутьков, В.А. Основы радиационного контроля на АЭС: учебное пособие / В.А. Кутьков, В.В. Ткаченко, В.П. Романцов. – Москва: Росэнергоатом, ИАТЭ, 2005. – 268 с.
13. Лурье, А.А. Сельскохозяйственная радиология и радиоэкология / А.А. Лурье. – Москва: Изд-во МСХА, 1999. – 219 с.
14. Лурье А.А. Словарь терминов и понятий по радиологии и радиоэкологии. – Москва: Изд-во МСХА, 2000. – 76 с.
15. Лысенко, Н.П. Радиобиология / Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – Москва: Лань, 2017. – 573 с.
16. Матусевич, Е.С. Ядерные энергетические установки и радиационные технологии: учебное пособие / Е.С. Матусевич. – Обнинск: ИАТЭ, 2003. – 116с.
17. Махонько, К.П. Поведение в атмосфере радиоактивных продуктов ядерных взрывов / К.П. Махонько. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2000. – 163 с.
18. Основы ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения: учебное пособие / Под общей ред. А.П. Коржавого. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 184 с.
19. Радиационные аварии / Под ред. Л.И. Ильина, В.А. Губанова. – Москва: ИздАТ, 2001. – 751 с.
20. Радиация. Дозы, эффекты, риск: пер. с англ. – Москва: Мир, 1990. – 79 с.
21. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных: учебное пособие/ В.А. Бударков, А.С. Зенкин, А.В. Васильев и др. – Москва: Колос, 2018. – 440 с. [Электронный ресурс] URL.: <https://lib.rucont.ru/efd/635363>
22. Радиобиология: учебник / Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина и др. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 576 с. [Электронный ресурс] URL.: <http://e.lanbook.com/books/element/429>
23. Родионова, Т.Н. Ветеринарная радиобиология: краткий курс лекций / Т.Н. Родионова. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016. – 83 с.
24. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)». – Москва, 2010
25. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». – Москва, 2009

26. Сашенкова, С.А. Ветеринарная радиобиология: учебное пособие / С.А. Сашенкова, Г.В. Ильина, Е.Г. Куликова и др. – Пенза: РИО ПГАУ, 2019. – 180 с.
27. Степанов, В.Г. Ветеринарная радиобиология: учебное пособие / В.Г. Степанов. – Санкт-Петербург.: Лань, 2018. – 352 с.
28. Торшин, С.П. Практикум по сельскохозяйственной радиологии / С.П. Торшин, Г.А. Смолина, А.С. Пельтцер. – Москва: изд-во МСХА, 2011. – 124 с.
29. Усманов, С.М. Радиация: Справочные материалы / С.М. Усманов.- Москва: ВЛАДОС, 2001. – 176 с.
30. Фокин, А. Д. Сельскохозяйственная радиология / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин. – Москва: Лань, 2011. – 416 с. [Электронный ресурс] URL.:<http://e.lanbook.com/view/book/665>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Виды и дозы излучений	6
2 Закон радиоактивного распада, активность радионуклидов.....	14
3 Оборудование и приборы для измерения ионизирующих излучений.....	23
4 Мониторинг загрязнения территории радиоактивными веществами и прогнозирование доз облучения.....	32
5 Методы контроля радиационного загрязнения воздуха животноводческих помещений и содержания животных в условиях радиационной опасности.....	39
6 Методы определения содержания радионуклидов и радиационный контроль качества сельскохозяйственного сырья и продуктов питания.....	51
7 Влияние радионуклидов на организм животных и человека.....	67
8 Лучевые поражения животных и человека.....	73
9 Изменение картины периферической крови при лучевой болезни.....	82
10 Стохастические эффекты действия ионизирующих излучений.....	89
11 Радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности.....	95
12 Радиационный контроль и экспертиза объектов ветеринарного надзора.....	110
Вопросы для промежуточной аттестации.....	117
Темы докладов с презентациями.....	119
Тестовые задания.....	120
ЛИТЕРАТУРА.....	135
СОДЕРЖАНИЕ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	139

Периодическая система Д.И. Менделеева

Период	Ряд	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
I	1	(H)						H ¹ Водород 1,00797	He ² Гелий 4,0026	<div>Обозначение элемента</div> <div>Атомный номер</div> <div>Li³ Литий 6,939</div> <div>Относительная атомная масса</div>	
II	2	Li ³ Литий 6,939	Be ⁴ Бериллий 9,0122	B ⁵ Бор 10,811	C ⁶ Углерод 12,01115	N ⁷ Азот 14,0067	O ⁸ Кислород 15,9994	F ⁹ Фтор 18,9984	Ne ¹⁰ Неон 20,179		
III	3	Na ¹¹ Натрий 22,9898	Mg ¹² Магний 24,305	Al ¹³ Алюминий 26,9815	Si ¹⁴ Кремний 28,086	P ¹⁵ Фосфор 30,9738	S ¹⁶ Сера 32,064	Cl ¹⁷ Хлор 35,453	Ar ¹⁸ Аргон 39,948		
IV	4	K ¹⁹ Калий 39,102	Ca ²⁰ Кальций 40,08	21 44,956 Scандий	22 47,90 Tiтан	23 50,942 Vанадий	24 51,996 Crом	25 54,9380 Mnрганец	26 55,847 Feжелезо	27 58,9330 Coбальт	28 58,71 Niкель
	5	29 63,546 Cuмедь	30 65,37 Znцинк	31 69,72 Gaллий	32 72,59 Geрманий	33 74,9216 Asмышьяк	34 78,96 Seселен	35 79,904 Brом	36 83,80 Krиптон		
V	6	Rb ³⁷ Рубидий 85,47	Sr ³⁸ Стронций 87,62	39 88,905 Yттрий	40 91,22 Zrирконий	41 92,906 Nbиобий	42 95,94 Moлибден	43 [99] Tcехнеций	44 101,07 Ruтений	45 102,905 Rhодий	46 106,4 Pdалладий
	7	47 107,868 Agеребро	48 112,40 Cdадмий	49 114,82 Inдий	50 118,69 Snолово	51 121,75 Sbурьма	52 127,60 Tеллур	53 126,9044 Iод	54 131,30 Xeсенон		
VI	8	Cs ⁵⁵ Цезий 132,905	Ba ⁵⁶ Барий 137,34	57 138,91 La*лантан	72 178,49 Hfафний	73 180,948 Taнтал	74 183,85 Wольфрам	75 186,2 Reний	76 190,2 Osосмий	77 192,2 Irидий	78 195,09 Ptлатина
	9	79 196,967 Auзолото	80 200,59 Hgртуть	81 204,37 Tlаллий	82 207,19 Pbсвинец	83 208,980 Biсвисмут	84 [210]* Poлоний	85 [210] Atастат	86 [222] Rnадон		
VII	10	Fr ⁸⁷ [223] Франций	Ra ⁸⁸ [226] Радий	89 [227] Ac**актиний	104 [261] Rfезерфордий	105 [262] Dbубний	106 [263] Sгсборгий	107 [262] Bhорий	108 [265] Hсхассий	109 [266] Mtейтнерий	110

Лантаноиды*	58 140,12 Ceрий	59 140,907 Prазеодим	60 144,24 Ndеодим	61 [147]* Pмрометий	62 150,35 Smамарий	63 151,96 Euропий	64 157,25 Gдголиний	65 158,924 Tbербий	66 162,50 Dyспрозий	67 164,930 Hoльмий	68 167,26 Erбий	69 168,934 Tmулий	70 173,04 Ybиттербий	71 174,97 Luтеций
Актиноиды**	90 232,038 Thорий	91 [231] Paротактиний	92 238,03 Uран	93 [237] Npептуний	94 [244] Puлутоний	95 [243] Amериций	96 [247] Cmюрий	97 [247] Bкерклий	98 [252]* Cfалифорний	99 [254] Esйнштейний	100 [257] Fмермий	101 [257] Mднделевий	102 [255] Noбелий	103 [256] Lруренсий

Приложение 2

Коэффициент для пересчета уровней радиации на различное время после выброса РВ при авариях

Время после выброса $t_{\text{пер}}$ (ч, мин)	Время измерения уровня радиации, прошедшее с момента выброса РВ, t изм, (ч, мин).															
	0,30	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00	3,30	4,00	4,30	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10	12
0,30	1	1,32	1,55	1,74	1,88	2,051	2,16	2,30	2,42	2,51	2,69	2,84	3,04	3,16	3,3	3,57
1,00	0,76	1	1,18	1,32	1,43	0,5	1,64	1,74	1,83	1,9	2,04	2,15	2,3	2,4	2,5	2,7
1,30	0,64	0,85	1	1,12	1,21	1,32	1,39	1,48	1,56	1,62	1,73	1,83	1,96	2,04	2,12	2,3
2,00	0,58	0,76	0,89	1	1,09	1,18	1,25	1,32	1,39	1,45	1,55	1,63	1,75	1,82	1,9	2,05
2,30	0,53	0,7	0,82	0,92	1	1,08	1,15	1,22	1,28	1,33	1,43	1,51	1,61	1,68	1,75	1,89
3,00	0,49	0,64	0,76	0,85	0,92	1	1,06	1,12	1,18	1,23	1,32	1,39	1,49	1,55	1,61	1,74
3,30	0,46	0,61	0,72	0,8	0,27	0,95	1	1,06	1,12	1,16	1,24	1,31	1,41	1,46	1,52	1,65
4,00	0,44	0,57	0,68	0,76	0,82	0,89	0,94	1	1,05	1,1	1,17	1,24	1,32	1,38	1,44	1,55
4,30	0,41	0,54	0,64	0,72	0,78	0,84	0,89	0,95	1	1,04	1,11	1,17	1,26	1,31	1,36	1,47
5,00	0,4	0,52	0,62	0,69	0,75	0,81	0,86	0,91	0,96	1	1,07	1,13	1,21	1,26	1,31	1,42
6,00	0,37	0,49	0,58	0,64	0,7	0,76	0,8	0,85	0,9	0,93	1	1,05	1,13	1,18	1,23	1,32
7,00	0,35	0,46	0,55	0,61	0,66	0,72	0,76	0,81	0,85	0,89	0,95	1	1,07	1,12	1,16	1,26
8,00	0,33	0,43	0,51	0,57	0,62	0,67	0,71	0,75	0,8	0,83	0,88	0,93	1	1,04	1,09	1,17
9,00	0,32	0,42	0,49	0,55	0,6	0,65	0,68	0,73	0,77	0,79	0,85	0,9	0,96	1	1,04	1,13
10,00	0,3	0,4	0,47	0,53	0,57	0,62	0,66	0,7	0,73	0,76	0,82	0,86	0,92	0,96	1	1,08
11,00	0,24	0,38	0,45	0,5	0,54	0,6	0,62	0,67	0,69	0,73	0,78	0,83	0,88	0,92	0,96	1,04
12,00	0,23	0,37	0,44	0,49	0,53	0,57	0,61	0,64	0,68	0,7	0,75	0,8	0,85	0,89	0,92	1
13,00	0,22	0,36	0,4	0,47	0,5	0,56	0,58	0,62	0,64	0,68	0,73	0,78	0,82	0,86	0,9	0,97
14,00	0,21	0,35	0,39	0,46	0,49	0,54	0,56	0,61	0,62	0,66	0,71	0,76	0,8	0,84	0,87	0,94
15,00	0,21	0,34	0,38	0,45	0,47	0,53	0,55	0,6	0,61	0,64	0,69	0,74	0,78	0,82	0,85	0,91
16,00	0,2	0,34	0,37	0,44	0,46	0,51	0,53	0,6	0,6	0,63	0,68	0,72	0,76	0,79	0,83	0,89
17,00	0,2	0,32	0,36	0,42	0,45	0,5	0,52	0,6	0,58	0,61	0,66	0,7	0,74	0,78	0,81	0,87
18,00	0,2	0,31	0,35	0,42	0,44	0,49	0,51	0,55	0,56	0,6	0,64	0,69	0,72	0,76	0,8	0,85
19,00	0,2	0,31	0,34	0,41	0,43	0,48	0,5	0,54	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,77	0,83
20,00	0,2	0,3	0,34	0,4	0,42	0,47	0,49	0,53	0,54	0,57	0,62	0,66	0,69	0,73	0,76	0,82
21,00	0,2	0,3	0,33	0,4	0,41	0,46	0,48	0,52	0,53	0,56	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,8

Приложение 3

Допустимые уровни радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания

Вид продукции	^{137}Cs Бк кг(л) ⁻¹	^{90}Sr Бк кг(л) ⁻¹
Мясо (все виды убойных, промысловых и диких животных)	160 (без костей)	50 (без костей)
Мясо птицы, в т.ч. полуфабрикаты	180	80
Яйца и жидкие яичные продукты (меланж, белок, желток)	80	50
Молоко	100	25
Рыба	130	100
Зерно продовольственное, в т.ч. пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень, просо, рис, кукуруза, сорго	70	40
Зернобобовые, горох, фасоль, маш, нут, чечевица	50	60
Хлеб, булочные изделия и сдобные изделия	40	20
Мед	100	80
Картофель, овощи, бахчевые	120	40
Фрукты, ягоды, виноград	40	30
Ягоды дикорастущие	160	60
Дикорастущие грибы	500	50
Семена масличных культур	70	90
Масло коровье	200	60

Характеристики некоторых радионуклидов

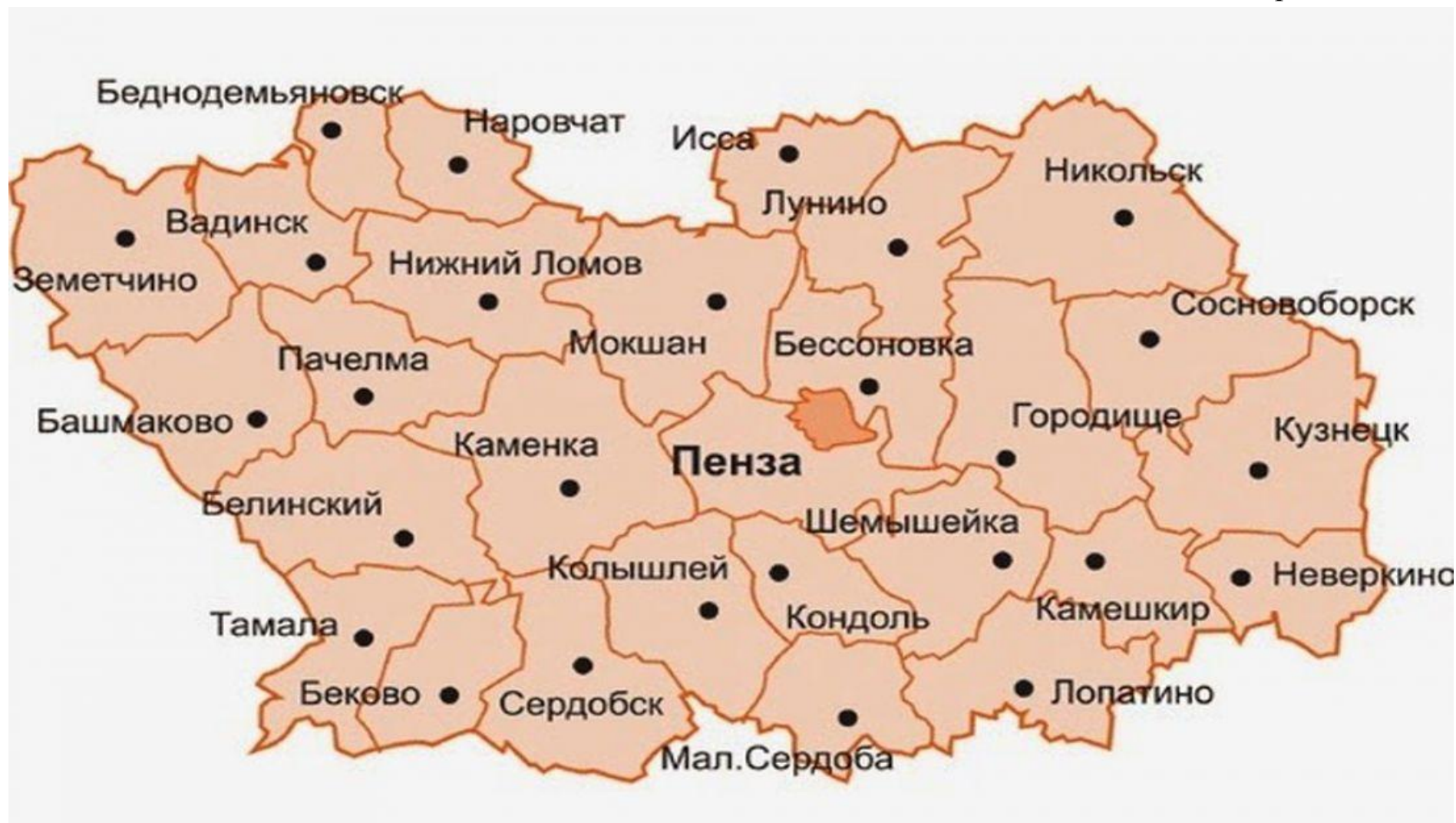
Радиоактивный элемент (Символ)	Порядковый номер	Массовое число изотопа	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Излучение
1	2	3	4	5
Актиний (Ac)	89	227	22 года	α , β
Америций (Am)	95	243	$7,8 \cdot 10^3$ лет	α
Астат (At)	85	210	8,3 часа	Эл. захв.
Азот (N)	7	13	10 минут	α
Бериллий (Bi)	4	8	$8,2 \cdot 10^{-17}$ секунды	α
Берклий (Bk)	97	247	10^4 лет	α
Висмут (Bi)	83	208	368 тыс. лет	α , β
		209	$1,9 \cdot 10^{19}$ лет	α , β
		210	5,012 суток	α , β
Водород (H) – тритий	1	3	12,3 года	β
Железо (Fe)	26	59	44,495 суток	β
Иридий (Ir)	77	192	74 дня	
Йод (I)	53	131	8,02070 суток	β
Калий (K)	19	40	$1,248 \cdot 10^9$ лет	β
Калифорний (Cf)	98	249	360 лет	α
Кадмий (Cd)	48	113	$7,7 \cdot 10^{15}$ лет	β

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5
Кобальт (Co)	27	60	5,2713 года	β
Кюрий (Cm)	96	247	$4 \cdot 10^7$ лет	α
Эйнштейний (Es)	99	254	480 дней	α
Фермий (Fm)	100	253	3 дня	Эл. захв., α
Фосфор (P)	15	32	14,26 суток	
Франций (Fr)	87	223	22 минуты	α, β
Фтор (F)	9	18	109,771 минут	β
		21	4,158 секунды	β, γ
Лоуренсий (Lr)	103	257	8 секунд	α
Менделевий (Md)	101	256	1,5 часа	Эл. захв.
Натрий (Na)	11	22	2,6 года	
		24	14,959 часов	
Нептуний (Np)	93	237	$2,1 \cdot 10^8$ лет	α
Нобелий (No)	102	256	8 секунд	α
Протактиний (Pa)	91	231	$3,2 \cdot 10^4$ лет	α
Прометий (Pm)	61	147	2,5 года	β
Полоний (Po)	84	210	139 суток	α
		214	0,16 секунды	α
Радий (Ra)	88	226	1622 года	α
Радон (Rn)	86	222	3,83 дня	α

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5
Плутоний (Pu)	94	238	87,74 лет	α
		239	24100 лет	α
		241	14,4 лет	β
		242	$3,3 \cdot 10^5$ лет	α
Рубидий (Rb)	37	82	76 секунд	Эл. захв., позитр. расп.
		87	$49,7 \cdot 10^9$ лет	β
Сера (S)	16	35	87,51 суток	
Технеций (Tc)	43	99	$2,1 \cdot 10^5$ лет	β
Торий (Th)	90	232	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	α
Уран (U)	92	233	$1,59 \cdot 10^5$ лет	α
		234	$2,45 \cdot 10^5$ лет	α
		235	$7,13 \cdot 10^8$ лет	α
		238	$4,5 \cdot 10^9$ лет	α
		240	14 часов	β
Углерод (C)	6	14	5700 лет	β
Цезий (Cs)	55	137	30 лет	β



Реализация перспективных инвестиционных проектов



Светлана Анатольевна Сашенкова
Галина Викторовна Ильина
Дмитрий Юрьевич Ильин

ВЕТЕРИНАРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

Практикум
для студентов, обучающихся
по специальности 36.05.01 Ветеринария

Компьютерная верстка
Корректор

С.А. Сашенковой
Л.А. Артамонова

Сдано в производство
Бумага Дока Копи
Тираж экз. 100

Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 8,54
Заказ №

РИО ПГАУ
440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30