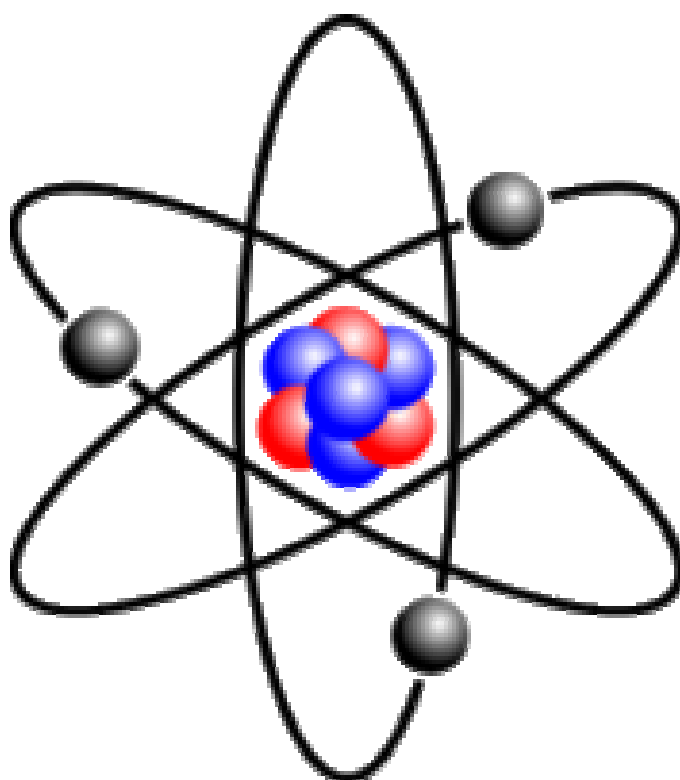


Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный  
аграрный университет»

## **Методические указания**

к выполнению контрольных работ для студентов за-  
очной формы обучения по дисциплине «Радиобиоло-  
гия»



Краснодар  
2012

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный  
аграрный университет»

**Методические указания**  
к выполнению контрольных работ для студентов заочной  
формы обучения по дисциплине «Радиобиология»

Краснодар  
2012

УДК 615.849(076)

ББК 28.071

348

Рецензенты:

**С.А. Хасанова** – доцент кафедры разведения сельскохозяйственных животных и генетики

**Зеленская Л.А.**

348 Методические указания к выполнению контрольных работ для студентов заочной формы обучения по дисциплине «Радиобиология» / Л.А. Зеленская, А.П. Радуль. – Краснодар: КубГАУ, 2012. –115 с.

Указания составлены на основе типовых программ для сельскохозяйственных высших учебных заведений по дисциплине «Ветеринарная радиобиология», «Сельскохозяйственная радиобиология» для специалистов и бакалавров, специальность «Ветеринария» (111201.65), направление «Зоотехния» (111100.62).

Утверждены методическим советом Кубанского госагроуниверситета.

Рассмотрены и утверждены на заседании кафедры физиологии и кормления с.-х. животных от 12-го декабря 2011 года, протокол № 12.

Одобрены и рекомендованы к изданию методической комиссией факультета зоотехнологии и менеджмента КубГАУ от 21-го декабря 2011 года, протокол № 4

**УДК 615.849(076)**

**ББК 28.071**

© Зеленская Л.А., Радуль А.П., 2012

© ФГОУ ВПО «КубГАУ», 2012

## Оглавление

Цели и задачи дисциплины .....	4
Как пользоваться пособием.....	5
Содержание разделов дисциплины .....	7
Раздел 1. Введение.....	7
Раздел 2. Основы радиационной безопасности и организации работы с радиоактивными веществами.....	13
Раздел 3. Физические основы ветеринарной радиобиологии .....	42
Раздел 4. Дозиметрия и радиометрия ионизирующих излучений .....	53
Раздел 5. Биологические действия ионизирующих излучений .....	61
Раздел 6. Токсикология радиоактивных веществ .....	67
Раздел 7. Лучевые поражения .....	70
Раздел 8. Основы радиоэкологии.....	75
Раздел 9. Прогнозирование и нормирование поступления радионуклидов в корма, организм животных и продукцию животноводства .....	81
Раздел 10. Режим питания и содержания животных при радиоактивном загрязнении среды.....	85
Раздел 11. Радиационная экспертиза и радиологический мониторинг объектов ветеринарно-санитарного надзора .....	86
Раздел 12. Использование радиоактивных изотопов, радионуклидных методов и радиационной биотехнологии в животноводстве и ветеринарии .....	88
Контрольные работы.....	91
Вопросы к экзамену .....	98
Рекомендуемая литература.....	101
Приложения.....	103
Иод-131 .....	106
Стронций-90.....	109
Цезий-137 .....	111

«Наше тело есть то,  
что мы едим».  
Гиппократ

## **Цели и задачи дисциплины**

Задача специалиста сельскохозяйственного производства – получить экологически безопасную продукцию, сохраняя тем самым здоровье нации.

Для получения Сертификата качества продукцию исследуют по трем показателям: органолептическим (цвет, вкус, запах и т. д.), микробиологическим (посевы) и физико-химическим (рН, кислотность и т. д.). Загрязненность радионуклидами относится к физико-химическим показателям. Радиометрический контроль является составляющей ветсанэкспертизы.

Радиобиология в сельскохозяйственных вузах является специальной дисциплиной. Основная цель при изучении этой дисциплины – получить теоретические знания и практические навыки, необходимые для выполнения задач, стоящих перед радиологической службой. Это контроль за радиоактивной загрязненностью кормов, воды, продукции растениеводства и животноводства, проведение мероприятий по организации животноводства в условиях аварийной ситуации, дезактивация сельскохозяйственной продукции.

Радиобиология базируется на таких фундаментальных науках, как физика, химия, физиология, кормление с.-х. животных. Вместе с тем, она послужила стимулом к развитию радиационной генетики, радиоэкологии, радиотоксикологии и т. д.

**После изучения курса радиологии студент должен уметь:**

- подготовить к работе и использовать при проведении радиационной экспертизы радиометры и дозиметры;

- определить дозу излучения и мощность дозы облучения с помощью дозиметров и расчетным методом;
- провести отбор проб кормов и продукции животноводства для радиационной экспертизы;
- провести дозиметрический контроль продукции, поступающей на рынки;
- определить удельную радиоактивность объектов ветеринарного надзора экспрессными методами;
- провести дозиметрические и клинико-гематологические исследования при внешнем облучении и поступлении радионуклидов в организм животных;
- прогнозировать поступление радионуклидов в корма, организм животных и продукцию животноводства;
- организовать ведение животноводства и проводить мероприятия, направленные на снижение содержания радионуклидов в кормах и продукции животноводства в условиях радиоактивного загрязнения территории;
- пользоваться средствами индивидуальной защиты при работе с радиоактивными веществами, при ведении животноводства и технологической переработке продукции животноводства в условиях радиоактивного загрязнения территории;
- провести ветеринарно-санитарную экспертизу продуктов животноводства при лучевых поражениях.

### **Как пользоваться пособием**

В конце методических указаний приведены вопросы для выполнения контрольной работы. Весь курс разбит на

пять разделов, из которых студент выбирает вопрос, согласно своему номеру в списке группы.

Ответы должны быть четкими, конкретными, интернетом пользоваться только как источником информации.

Для написания контрольной работы необходимо обращаться к указанной в конце литературе.

Методические указания к изучению раздела не претендуют на полное изложение теоретического материала, но акцентируют внимание студентов на ключевых моментах темы, дают план ответа.

Проверить свои знания студент может, отвечая на вопросы тестов.

# Содержание разделов дисциплины

## Раздел 1. Введение

### Содержание раздела

Краткая история развития радиобиологии. Вклад отечественных ученых в развитие науки. Предмет и задачи ветеринарной радиобиологии, связь с другими науками. Ветеринарная радиологическая служба и ее задачи в современных условиях. Перспективы использования радиоизотопов и радиационной технологии в научных исследованиях и народном хозяйстве.

### Методические указания к изучению раздела

*Радиология* – это наука об ионизирующей радиации, ее природе, источниках ее происхождения (радионуклидах). Основоположником радиологии считают В.К. Рентгена (1895 г.).

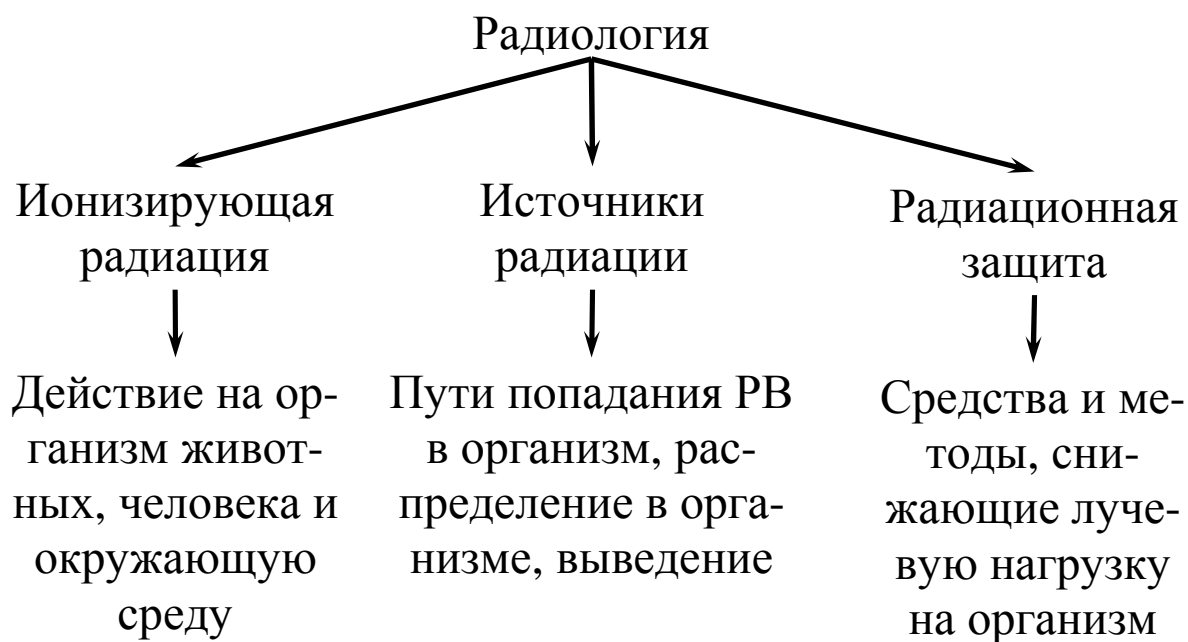


Рисунок 1 – Структура радиологии



По мнению академика А.Д. Белова предмет и задачи радиологии несколько шире, чем радиобиологии, так как включают такие разделы, как дозиметрия и радиометрия.

**Радиобиология** изучает действие ионизирующей радиации на организм человека и животных, раскрывает механизм (патогенез) лучевых поражений, разрабатывает методы их профилактики и лечения, что позволяет снизить лучевую нагрузку на организм. Становление радиобиологии как науки шло параллельно с развитием радиологии. Впервые ученые столкнулись с действием радиации на кожу. Кожные поражения – это первая группа лучевых поражений, установленных физиками при изучении свойств радиации.

### **Этапы развития радиобиологии**

Первый этап (1895-1922 гг.) – описательный, связанный с накоплением данных и первыми попытками осмысления биологических реакций на облучение.

Второй этап (1922-1945 гг.) – становление фундаментальных принципов количественной радиобиологии, характеризуется установлением связи биологических эффектов с величиной поглощенной дозы; открытие мутагенного действия ионизирующих излучений, развитие радиационной генетики.

Третий этап (с 1945 г. – ...) – дальнейшее развитие количественной радиобиологии на всех уровнях биологической организации:

- молекулярная и клеточная радиобиология;
- разработка биологических способов противолучевой защиты;
- лечение лучевых поражений;

- создание ускорителей ядерных частиц;
- разработка радиосенсибилизирующих агентов;
- развитие радиобиологических принципов лучевой терапии опухолей.

До середины XX столетия источником радиации были естественные (природные) радиоактивные вещества (синонимы: радионуклиды, нестабильные ядра, нестабильные изотопы, радиоактивные изотопы), на фоне которых зарождалась жизнь на планете Земля. С момента первого испытания атомной бомбы, использования атома в мирных целях (2-я половина XX столетия) начинают появляться искусственные радионуклиды, число которых постоянно увеличивается. Попадая в организм, они могут замещать в клетках ткани стабильные элементы, имеющие одинаковую с ними валентность, т. е. аналогов по химическим свойствам. Постоянно распадаясь выделяют радиацию, которая, действуя на нейтральные атомы, образует из них ионы, что ведет к нарушению химических процессов в организме, а следовательно, обмену веществ и формированию лучевых поражений.

Источники радиации находятся в окружающей внешней среде и внутри организма, создавая внешнее и внутреннее облучение. Последнее даже более актуально. Для снижения лучевой нагрузки на организм человека и животных была создана ветеринарная радиологическая служба. Она осуществляет контроль за загрязненностью радионуклидами продукции животноводства и растениеводства.

## Структура радиологической службы и функции ее подразделений

### *Организационная структура Системы государственного ветеринарного контроля за радиоактивным загрязнением объектов ветеринарного надзора в России*

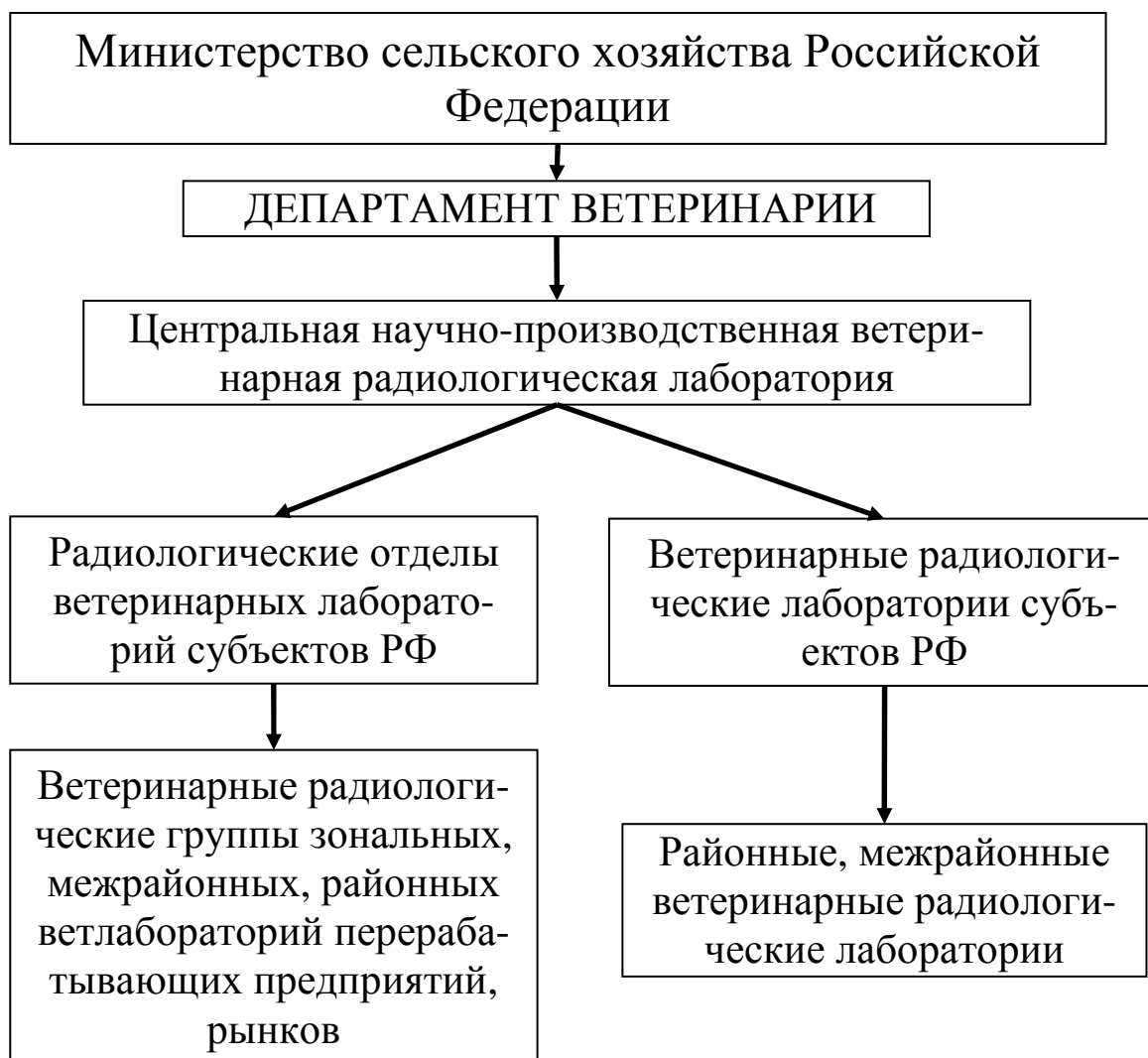


Рисунок 2 - Структура радиологической службы и ее подразделений

Функции подразделений:

1. Министерство сельского хозяйства осуществляет контроль за радиационной ситуацией на всех предприятиях

АПК по всей территории РФ. Совместно с Министерством здравоохранения составляют радиационный паспорт региона.

2. Департамент ветеринарии контролирует радиационную ситуацию в животноводческой отрасли АПК (радиоактивную загрязненность почвы проверяет агрохимическая служба). Составляет нормативные документы, например, «Положение о Системе государственного ветеринарного контроля радиоактивного загрязнения объектов ветеринарного надзора в Российской Федерации».

3. Центральная научно-производственная ветеринарная радиологическая лаборатория (г. Москва) выполняет функции:

- образовательную – вновь поступившие в Систему радиологической службы проходят обучение, работающие – один раз в 2–3 года повышают квалификацию на конференциях, семинарах, проводимых в лаборатории;

- методическую – разрабатывают новые методы определения радиоактивности объектов ветеринарного надзора, совершенствуют устаревшие, внедряют их в практику радиологических отделов;

- контролирующую – контроль за работой радиологических отделов областных и краевых ветеринарных лабораторий.

4. Радиологические отделы при краевых и областных лабораториях: проводят дозиметрические и радиометрические исследования. При дозиметрическом контроле определяют радиационный фон, уровень радиации от объектов в производственных помещениях, сельскохозяйственной продукции, дозы излучения (экспозиционную, поглощенную,

эквивалентную). При радиометрическом контроле определяют *радиоактивность* объектов ветеринарного надзора, что свидетельствует о степени загрязненности радионуклидами.

5. Радиологические группы при районных ветлабораториях проводят в основном дозиметрические исследования.

## **Раздел 2. Основы радиационной безопасности и организации работы с радиоактивными веществами**

### **Содержание раздела**

Радиационная безопасность как социально-гигиеническая проблема. Основные цели и задачи радиационной безопасности. Нормирование радиационного фактора «Нормы радиационной безопасности НРБ-99» и «Основные санитарные правила и нормы (СанПиН)», регламентирующие требования по обеспечению радиационной безопасности.

Размещение и оборудование ветеринарных радиологических лабораторий (отделов). Получение, учет, хранение, транспортировка источников ионизирующих излучений, организация работ с закрытыми и открытыми радиоактивными источниками.

Способы защиты от внешнего и внутреннего облучения: расстояние, время, экранирование, разбавление. Меры индивидуальной защиты и личной гигиены. Средства защиты и защитные материалы. Допустимые уровни загрязнения рабочих мест, спецодежды и пр. Техника безопасности при ведении животноводства и технологической переработке продукции животноводства в условиях радиоактивного загрязнения территории. Общие положения радиационной безопасности при использовании ионизирующих излучений в различных процессах радиационной технологии. Методы дезактивации. Сбор, удаление и обезвреживание твердых и жидких радиоактивных отходов. Мероприятия при аварийных ситуациях. Радиационный контроль.

## Методические указания к изучению раздела

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения. Для организации мероприятий по обеспечению радиационной безопасности приняты Федеральные законы: «О радиационной безопасности населения РФ», «Об использовании атомной энергии». Все мероприятия регламентируются Нормами радиационной безопасности населения (НРБ-99) и Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).

В соответствии с НРБ-99 для населения установлена эффективная годовая доза 1 мЗв. Для лиц, работающих с техногенными источниками (гр. А) – 20 мЗв, для лиц, находящихся по условиям работы в сфере воздействия источников излучения (гр. Б) – 5 мЗв. Эти дозы не включают дозы природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие аварий. Эффективная доза для персонала не должна превышать 1000 мЗв за 50 лет трудовой деятельности, а для населения за 70 лет жизни – 70 мЗв.

Все население по допустимому уровню облучения делят на 3 категории:

Группа А – персонал, т. е. лица постоянно или временно непосредственно работающие с техногенными источниками излучения.

Группа Б – ограниченная часть населения, проживающая вблизи санитарно-защитной зоны предприятий, использующих источники излучения.

Группа В – население области, края, страны.

Ответственность за выполнение «Основных санитарных правил» возлагается на руководство учреждений, министерств и ведомств.

Воздействие ионизирующей радиации на организм животных и человека может быть обусловлено внешним, внутренним или смешанным облучением. Степень радиационной опасности изотопов определяют следующие основные факторы: вид радиоактивных источников (открытые или закрытые); физическое и химическое состояние; вид и энергия излучения, радиоактивность, период полураспада изотопа, количество на рабочем месте.

**Закрытым** называется радиоактивный источник излучения, устройство которого в условиях применения и износа исключает попадание радиоактивных веществ в окружающую среду (сплавы, стержни, слитки, диски и т. п.).

**Открытым** называется радиоактивный источник излучения, при использовании которого возможно попадание радиоактивных веществ в окружающую среду (порошки, жидкости, газы).

Наиболее опасна работа с открытыми источниками излучений.

По степени радиотоксичности радиоактивные вещества, применяемые в открытом виде, разделяют на пять групп.

**Группа А** – элементы с особо высокой радиотоксичностью (свинец-210, полоний-210, радий-226 и др.).

**Группа Б** – элементы с высокой радиотоксичностью (стронций-90, йод-126, йод-129, йод-131, цезий-144 и т. д.).

**Группа В** – элементы со средней радиотоксичностью (натрий-22, фосфор-32, сера-35, кальций-45, железо-59, кобальт-60, цинк-65, цезий-137 и др.).



**Группа Г** – элементы с малой радиотоксичностью (углерод-14, хром-51, медь-64, железо-55 и др.).

**Группа Д** – к этой группе относится изотоп водорода – тритий-3.

Степень радиотоксичности определяется величиной предельно допустимой активности изотопа на рабочем месте, не требующей регистрации или разрешения санитарно-эпидемиологической службы (СЭС) на получение изотопа (таблица 1).

Таблица 1 - Степень радиоактивности изотопа

Группа радиоактивности	Предельно-допустимая активность на рабочем месте не требующая разрешения СЭС, мкКи	Активность на рабочем месте		
		Класс работ		
		1-й	2-й	3-й
А	0,1	Более $10^4$	$10-10^4$	0,1-10
Б	1,0	Более $10^5$	$10^2-10^5$	1-100
В	10,0	Более $10^6$	$10^3-10^6$	$10-10^3$
Г	100,0	Более $10^7$	$10^4-10^7$	$10^2-10^3$
Д	1000,0	Более $10^8$	$10^5-10^8$	$10^3-10^5$

Все работы с открытыми радиоизотопами разделяют на три класса. А это определяет требования к размещению и оборудованию лабораторий. Для работ 3-го класса специальные требования к размещению лабораторий не предъявляются, однако такие работы проводят в отдельных помещениях (комнатах). Рекомендуется устройство душевой и помещений для хранения и фасовки радиоактивных веществ, пункта дозиметрического и шкафов для хранения спецодежды.

Лаборатории для работ 2-го класса необходимо размещать в отдельной части здания, изолированно от других помещений, с санитарным пропускником или душевой с радиационным контролем (дозиметрическим) на выходе.

Помещения для работ 1-го класса размещают в отдельном здании или изолированной части здания с отдельным входом только через санпропускник и разделяют на три зоны:

1-я зона – камеры, боксы, помещения, где размещают технологическое оборудование;

2-я зона – помещения для ремонта оборудования, проведения работ, связанных со вскрытием технологического оборудования, места загрузки и выгрузки радиоактивных материалов, временного хранения и удаления отходов;

3-я зона – помещения для постоянного пребывания персонала.

### **Требования к радиологической лаборатории**

Площадь лаборатории в расчете на одного работающего должна быть не меньше 102 м.

Набор помещений лаборатории следующий:

- а) хранилище – фасовочная площадь 15–20 м<sup>2</sup>;
- б) препараторская радиохимическая 15 м<sup>2</sup>;
- в) радиометрическая 10–15 м<sup>2</sup> (одна или две комнаты);
- г) санпропускник (душ) для персонала;
- д) бытовые помещения.

Пол в помещениях должен иметь уклон к канализационным трапам, покрыт пластиком, края которого должны быть приподняты на высоту 20 см и заделаны заподлицо с покрытием стен. Стены в хранилище-фасовочной, препараторской и радиохимической облицовывают на высоту 2 м, глазурированной плиткой, остальные части стен и потолок по-

краской. Углы помещений должны быть закругленными, полотна дверей и переплеты окон должны иметь простые профили, а оборудование и рабочая мебель – гладкую поверхность, простую конструкцию и малосорбирующие покрытия. Лабораторию обязательно обеспечить водопроводом с холодной и горячей водой, краны должны иметь локтевое или педальное управление.

Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать в помещении пятикратный обмен воздуха в час, скорость движения воздуха в вытяжных шкафах и боксах не менее 1,5 м/с. Загрязненный воздух из вытяжных шкафов, боксов перед выбросом в атмосферу надо очищать на эффективных фильтрах.

### **Сбор, удаление и обезвреживание радиоактивных отходов**

Радиоактивные отходы бывают жидкие и твердые. Жидкие отходы считаются радиоактивными, если содержание радиоактивных веществ в них превышает среднегодовые допустимые концентрации (СДК), установленные для воды НРБ-96.

Твердые отходы считаются радиоактивными, если уровни загрязнения поверхностей превышают 500 альфа-частиц/мин, или 5000 бета-частиц/мин со 100 см<sup>2</sup>, удельная активность (в Ки/кг) в 100 раз превышает СДК для воды, удельный гамма-эквивалент превышает 10<sup>-7</sup> г. экв. радия на 1 кг, а мощность гамма-излучения вплотную к поверхности 0,3 мбэр/ч.

Радиоактивные отходы собирают и удаляют отдельно от нерадиоактивных.

Если в лаборатории образуется жидких радиоактивных более 200 л в сутки, с удельной радиоактивностью более 10 СДК для воды, то устраивают спецканализацию с бетонированным и закрытым жижеборником емкостью суточного количества радиоактивных отходов. Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от поверхности жижеборника не должна превышать 0,1 мбэр/ч.

В хозяйственно-бытовую канализацию допускается сброс радиоактивных сточных вод с активностью не более чем в 10 раз превышающей СДК для воды, если обеспечивается ее десятикратное разбавление нерадиоактивными сточными водами в коллекторе данного учреждения.

Малые объемы радиоактивных отходов с высокой удельной активностью и при невозможности их разбавления собирают в специальные емкости для последующего удаления на пункте захоронения.

Сточные воды необходимо систематически подвергать радиометрическому контролю в последнем смотровом колодце канализационной системы данного учреждения перед присоединением к магистральному коллектору. Сроки контроля устанавливает администрация учреждения по согласованию с СЭС.

Радиоактивные отходы, содержащие короткоживущие изотопы с периодом полураспада не более 15 суток, временно хранят в специальных помещениях (комнатах) в течение времени, обеспечивающего снижение активности за счет физического распада до допустимых показателей СДК. Отходы, содержащие большое количество органических веществ (трупы животных, продукты животного происхождения) хранят не более 5 суток, если нет условий хранения в

холодильниках или консервирующих составах. Транспортируют радиоактивные отходы в пункты захоронения на специальных машинах. Сбор, выдерживание, обезвреживание радиоактивных отходов в лаборатории оформляется в специальном журнале.

### **Содержание радиоактивных веществ и дезактивация рабочих помещений и оборудования в лаборатории**

Радиоактивное загрязнение наружных поверхностей оборудования, инструментов, лабораторной посуды, поверхностей рабочих помещений и отделений для хранения спецодежды не должно превышать допустимых уровней (частиц/см<sup>2</sup>/мин) приведенных в таблице 2.

Таблица 2 - Допустимые уровни радиоактивного загрязнения на разных объектах

Объекты загрязнения	Альфа-излучающие изотопы		Бета-излучающие изотопы
	высокой токсичности	прочие	
1. Рабочие помещения:			
а) постоянного пребывания персонала	10	40	2000
б) периодического пребывания персонала	100	400	8000
2. Поверхности транспортных средств	10	100	1000

Высокоэффективными альфа-излучателями считаются изотопы, СДК которых в воздухе рабочих помещений меньше  $2 \times 10^{-15}$  Кн/л.

Во всех помещениях, где ведут работы с открытыми радиоизотопами, требуется ежедневная влажная уборка и не реже одного раза в месяц – полная уборка с мытьем полов, стен, дверей, окон и наружных поверхностей оборудования. Сухая уборка помещений запрещается.

В лаборатории должен быть постоянный запас дезактивирующих средств (щавелевая кислота, фосфаты, моющие средства «Новость», «Кристалл», «Защита» и др.), подбираемых с учетом изотопов и их соединений, с которыми проводится работа, и характера дезактивируемых поверхностей.

По окончании работы каждый сотрудник должен убрать свое рабочее место, дезактивировать посуду, инструменты, и другое оборудование до предельно допустимых уровней, контролируя радиометрическими приборами. Если разлит радиоактивный раствор или рассыпан порошок, то нужно включать вентиляцию, надеть средства индивидуальной защиты и принять соответствующие меры - сбор раствора или порошка и их удаление, а затем эти места подвергают радиометрическому контролю.

### **Меры индивидуальной защиты и личной гигиены при работе с радиоактивными веществами**

Радиоактивное загрязнение спецодежды, индивидуальных средств защиты и кожных покровов персонала не должно превышать допустимых уровней (частиц/см<sup>2</sup>/мин), приведенных в таблице 3.

Таблица 3 - Допустимые уровни загрязнения персонала радиоактивными веществами

Объекты загрязнения	Альфа-излучающие изотопы		Бета-излучающие изотопы
	высокой токсичности	прочие	
Кожные покровы	5	5	100
Полотенца	5	5	100
Спецбелье	5	5	5
Внутренняя поверхность лицевых частей	5	5	100
Средства индивидуальной защиты:			
Основная спецодежда	10	40	800
дополнительные средства индивидуальной защиты:			
а) внутренняя поверхность	10	40	800
б) наружная поверхность	100	100	8000

Загрязнение личной одежды и обуви не допускается, а в случае загрязнения их дезактивируют или утилизируют как радиоактивные отходы.

Лица, работающие с открытыми радиоактивными источниками, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты: халатами, шапочками, перчатками, пластиковыми нарукавниками, фартуками, полухалатами, полукombineзонами, пневмокостюмами (при ликвидации аварий, уборке вивария и т. д.), дополнительной спецобувью (резиновые сапоги, пластиковые следы, бахилы); при работе с радиоактивными газами, аэрозолями, порошками – фильтрующими и изолирующими средствами защиты органов дыхания (ре-

спиратор «Лепесток», противогаз), для защиты глаз – щитки из оргстекла.

После работы, перед снятием средства индивидуальной защиты должны быть проверены на чистоту, при загрязнении – дезактивированы до предельно допустимых уровней в специально отведенном месте. Руки и отдельные части тела, загрязненные РВ, необходимо немедленно вымыть водой с мылом или порошком «Защита».

В помещениях для работы с открытыми РВ запрещается:

- а) пребывание сотрудников без необходимых средств индивидуальной защиты;
- б) хранение пищевых продуктов, табачных изделий, косметики, домашней одежды;
- в) прием пищи, курение, пользование косметикой.

Радиационный контроль проводится или выделенными лицами из числа сотрудников, прошедших специальную подготовку, или службой радиационной безопасности.

Индивидуальный контроль за дозами облучения персонала проводят один раз в месяц, контроль за уровнем загрязнения рабочих поверхностей, оборудования, кожных покровов и спецодежды работающих – каждый раз после работы с РВ, уровень загрязнения смежных помещений контролируется один раз в квартал, контроль за содержанием РВ в воздухе рабочих помещений – не реже двух раз в месяц, а в сточных водах – один раз в квартал.

Данные всех видов радиационного контроля регистрируются в журнале



## Нормы радиационной безопасности (НРБ-76)

Нормы радиационной безопасности устанавливают систему дозовых пределов и принципы их применения.

НРБ-96 предусматривают следующие основные принципы радиационной безопасности:

- непревышение установленного основного дозового предела;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- снижение дозы облучения до возможного низкого уровня.

НРБ-96 распространяется на все учреждения всех министерств и ведомств, производящих, обрабатывающих, применяющих, хранящих и транспортирующих естественные и искусственные радиоактивные вещества и другие источники ионизирующих излучений.

**НРБ-96 является основным документом, регламентирующим уровень воздействия ионизирующих излучений. НИКАКИЕ ведомственные правила и инструкции НЕ ДОЛЖНЫ ПРОТИВОРЕЧИТЬ НРБ-96.**

Дозовые пределы, установленные **НОРМАМИ** не включают:

- а) дозу, обусловленную естественным фоном излучения;
- б) дозу, получаемую пациентом при медицинском обследовании и лечении.

По допустимым основным дозовым пределам устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

**Категория А** = (персонал) лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений;

**Категория Б** = ограниченная часть населения – лица, которые не работают непосредственно с источниками излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждениях и (или) удаляемых во внешнюю среду с отходами;

**Категория В** = население края, области, республики, страны.

В порядке убывания радиочувствительности устанавливаются 3 группы критических органов;

- 1-я группа – все тело, гонады, красный костный мозг;
- 2-я группа – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к 1-й и 3-й группам;
- 3-я группа – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, лодыжки и стопы.

### **Дозовые пределы облучения, допустимые и контрольные уровни**

Для каждой категории облучаемых лиц, устанавливается 3 класса нормативов:

- основные дозовые пределы;
- допустимые уровни;
- контрольные уровни.

В качестве основных дозовых пределов в зависимости от группы критических органов для категории А устанавли-

вается предельно допустимая доза (ПДД) за год, а для категории Б – предел дозы (ПД) за год.

**Предельно допустимая доза (ПДД)** – наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала (категории А) неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами; ПДД является основным дозовым пределом для лиц категории А.

**Предел дозы (ПД)** – предельная эквивалентная доза за год для ограниченной части населения (категория Б) предел дозы устанавливается меньше ПДД для предотвращения необоснованного облучения этого контингента людей; предел дозы контролируется по усредненной для критической группы дозе внешнего излучения и уровню радиоактивных выбросов и радиоактивного загрязнения объектов внешней среды; ПД основным дозовым пределом для лиц категории Б:

Таблица 4 – Предельно допустимые дозы облучения

Дозовые пределы внешнего и внутреннего предела	Группа критических органов		
	1	2	3
ПДД для категории А:			
БЭР за год	5	15	30
Зв за год	0,05	0,15	0,3
ПД для категории Б:			
БЭР за год	0,5	1,5	3
Зв за год	0,005	0,015	0,03

Примечание: для категории А (за исключением женщин до 40 лет) распределение дозы внешнего излучения в течение года не регламентируется.

При проектировании и планировании мероприятий по радиационной безопасности и при проведении радиационного контроля применяются **следующие допустимые уровни.**

**Для категории А:**

- предельно допустимое годовое поступление ПДПА радионуклидов через органы дыхания;
- допустимое содержание ДСА радионуклида в критическом органе;
- допустимая мощность дозы ДМДА излучения;
- допустимая плотность потока ДППА;
- допустимая концентрация ДКА радионуклида в воздухе рабочей зоны;
- допустимое загрязнение поверхности ДЗА.

**Для категории Б:**

- предел годового поступления ПГП радионуклидов через органы дыхания и пищеварения;
- допустимая концентрация ДКБ радионуклида в атмосферном воздухе и воде;
- допустимая мощность дозы ДМДБ;
- допустимая плотность потока ДППБ.

Для большинства радионуклидов числовые значения ПДП, ПГП и ДК рассчитаны исходя из их равновесного накопления в критическом органе равного ДС. При сохранении ПДП в течение всей профессиональной работы человека доза излучения за год в критическом органе не превысит значения ПДП за год. Для отдельных долгоживущих радионуклидов, не достигающих равновесного накопления в кри-

тическом органе в течение жизни (радий-226, стронций-90 и др.) числовые значения ПДП, ППП и ДК рассчитаны исходя из условия, чтобы ДС и дозовые пределы достигались лишь к концу профессиональной работы (за 50 лет для категории А) или всей жизни (за 70 лет для категории Б).

Для планирования мероприятий по защите и оперативного контроля за радиационной обстановкой с целью предотвратить превышение дозового предела должны устанавливаться **контрольные уровни** поступления радионуклидов, содержания их в организме, мощности дозы излучения, плотности потока, концентрации в воздухе и воде, загрязнения поверхности и т. д.

Контрольные уровни для категории А устанавливаются администрацией учреждения при обязательном согласовании с органами Государственного санитарного надзора. Контрольные уровни для категории Б устанавливаются органами Государственного санитарного надзора по представлению администрации учреждения. До установления контрольных уровней их числовые значения принимаются равными допустимым уровням, установленным настоящими нормами НРБ-96.

При установлении контрольных уровней следует исходить из:

- необходимости сохранения достигнутого уровня радиационного воздействия в данном учреждении ниже допустимого уровня;
- неравномерности радиационного воздействия во времени, например, при периодических работах, нестационарном режиме работы и т. д.

При установлении контрольной концентрации радионуклида в атмосферном воздухе и в воде водоемов следует учитывать возможности поступления его по пищевым цепям и внешнее излучение радионуклидов, накопившихся на местности.

Контрольный уровень устанавливается и используется для оценки радиационной обстановки преимущественно на основе среднего значения показателя за смену для категории А, и за месяц для категории Б.

При обслуживании постоянно работающего оборудования (процессов) контрольный уровень устанавливается, как правило, ниже допустимого уровня.

В отдельных случаях при нестационарных условиях работы, эпизодических работах и т. п. контрольный уровень может устанавливаться выше допустимого уровня при обязательном согласовании его с органами Государственного санитарного надзора. Необходимость подобного превышения контрольного уровня над допустимым должна быть тщательно обоснована с тем, чтобы это превышение было скомпенсировано более низким значением радиационного фактора в остальное время и чтобы среднее за год реальное значение его не превысило соответствующего допустимого уровня. Во всех случаях контрольный уровень рекомендуется устанавливать настолько низким, насколько это практически возможно.

Превышение основных дозовых пределов (ПДД и ПД) и пределов поступления (ПДП и ПГП) не допускается и является нарушением настоящих норм.

## **Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП-99)**

Основные санитарные правила распространяются на все предприятия и учреждения всех министерств и ведомств, где возможны производство, обработка применение, хранение, переработка, обезвреживание и транспортирование естественных и искусственных радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений. Этими правилами руководствуются в своей работе службы, осуществляющие контроль за обеспечением безопасности профессиональных работников и населения страны.

Ответственность за выполнение ОСП-99 возлагается на руководство учреждений.

Производство, обработка, применение, хранение и транспортирование источников ионизирующих излучений, переработка и обезвреживание радиоактивных отходов осуществляется с разрешения и под контролем органов и учреждений санитарно-эпидемиологических служб, которым предоставляется вся необходимая информация для оценки возможной радиационной опасности для персонала и населения и выяснения санитарного состояния соответствующего объекта.

Оборудование, контейнеры, упаковки, транспортные средства, аппараты, подвижные установки, помещения, предназначенные для работ с применением источников ионизирующих излучений должны иметь знаки радиационной опасности.

Контроль за организацией охраны, состоянием, наличием условий сохранности источников ионизирующих излучений осуществляют органы внутренних дел.

Применение радиоактивных веществ в различных областях народного хозяйства путем их введения в вырабатываемую продукцию, независимо от физического состояния продукции разрешается только после предварительного согласования с главным санитарно-эпидемиологическим управлением Минздрава РФ.

Мероприятия по радиационной безопасности при работе с применением источников ионизирующих излучений должны учитывать все виды лучевого воздействия на персонал, ограниченную часть населения и населения в целом и предусматривать меры, снижающие суммарную дозу от всех источников внешнего и внутреннего облучения до уровня, не превышающего допустимый для соответствующей категории лиц.

Размещение учреждений, участков, установок, предназначенных для работы с источниками ионизирующих облучений в жилых зданиях и детских учреждениях запрещается.

Для размещения вновь строящихся учреждений, предназначенных для работы с открытыми источниками, площадки следует выбирать с подветренной стороны по отношению их к жилым зданиям, к детским, общественным учреждениям, зонам отдыха и т. д.

Вокруг учреждения, предназначенного для работы с источниками ионизирующих излучений, в случаях необходимости устанавливается санитарно-защитная зона и зоны



наблюдения. Размер зон устанавливается в каждом конкретном случае по согласованию с органами СЭС.

В санитарно-защитной зоне запрещается размещение жилищных зданий, больниц, детских учреждений, санаториев и других оздоровительных учреждений, а также промышленных и подсобных сооружений, не относящихся к учереждению, для которого устанавливается санитарно-защитная зона.

Использование земель санитарно-защитной зоны для сельско-хозяйственных целей возможно только с разрешением Главного санитарно-эпидемиологического управления Минздрава РФ по согласованию с МСХ РФ.

Учреждения, помещения и установки, предназначенные для работ с источниками ионизирующих излучений, в том числе хранилища радиоактивных веществ, до начала их эксплуатации должны быть приняты комиссией в составе представителей заинтересованной организации, органов Государственного санитарного надзора, технической инспекции профсоюза, органов внутренних дел. Комиссия устанавливает соответствие принимаемых объектов проекту и требования действующих норм и правил, наличие условий радиационной безопасности для персонала и населения, обеспечение условий сохранности радиоактивных веществ, также решает вопрос о возможности эксплуатации объекта и получения учреждением источников ионизирующих излучений.

Комиссией составляется акт приемки, в котором указывается допустимое годовое потребление радиоактивных веществ учреждением, назначение помещений и класс работ, которые разрешается в них проводить. Для помещений,

предназначенных для работ с применением закрытых источников, указывается вид и мощность источника излучения и максимальная активность источника.

На основании акта приемки местные органы Государственного санитарного надзора оформляют санитарный паспорт учреждения, предоставляющий право хранения и проведения работ с применением источников ионизирующих излучений. Санитарный паспорт выдается учреждению на срок не более 3 лет. Копия санитарного паспорта направляется для регистрации в органы внутренних дел.

На дверях помещения, где проводятся работы с источниками ионизирующих излучений вывешивается знак радиационной опасности с указанием класса работ, проведение которых разрешено в данных помещениях.

Администрация учреждения обязана разработать, согласовать с органами санитарно-эпидемиологической службы и утвердить инструкцию по радиационной безопасности в учреждении, в которой излагаются порядок проведения работ учета, хранения и выдачи источников излучения, сбора и удаления радиоактивных отходов, содержания помещений, меры личной профилактики, организация проведения реабилитационного контроля, меры радиационной безопасности при пуско-наладочных работах с источниками ионизирующих излучений, а также «Инструкция по предупреждению и ликвидации аварии (пожара)».

Вывоз источников ионизирующих излучений для проведения работ с ними за пределами территории, на которую распространяется действие санитарного паспорта, разрешается только после согласования с органами СЭС, выдавши-

ми санитарный паспорт и извещения органов СЭС и органов внутренних дел по месту проведения работ.

При прекращении работ в учреждении оставшиеся неизрасходованные радионуклиды подлежат утилизации или передаче в другие учреждения в установленном порядке настоящих правил.

К непосредственной работе с источниками ионизирующих излучений допускаются лица не моложе 18 лет. Женщины должны освободиться от работ с источниками ионизирующих излучений на весь период беременности, а при работе с открытыми источниками и на период вскармливания ребенка.

Проверка знаний правил безопасности работы проводится комиссионно до начала работ и периодически не реже 1 раза в год. Результаты проверки знаний регистрируются в журнале или в карточке инструктажа. Администрация учреждений несет ответственность за проведение инструктажа по технике безопасности, производственной санитарии и другими правилами охраны труда и постоянный контроль за соблюдением работниками всех требований инструкции и правил.

### **Получение, учет, хранение и перевозка источников ионизирующих излучений**

Постановка учреждению источников ионизирующих излучений проводится по заявкам, согласованным с органами СЭС и органами внутренних дел. Передавать из одного учреждения в другое источники излучений допускается только с разрешения СЭС и МВД.

Радионуклиды и закрытые радиоактивные препараты учитываются по фасовкам (препаратам) и активности, ука-

занным в сопроводительных документах. Приборы, аппараты и установки, в которых используются источники ионизирующих излучений учитываются по наименованиям и заводским номерам с указанием активности препаратов.

Выдача источников излучения из мест хранения на рабочие места производится ответственным лицом только по письменному разрешению руководителя учреждения. Выдача и возврат источников регистрируется в приходно-расходном журнале.

Расходование радионуклидов, используемых в открытом виде, оформляется внутренними актами, составляемыми исполнителями работ с участием лиц, ответственных за учет и хранение источников излучений. Акты утверждаются администрацией учреждения.

Ежегодно комиссия, назначенная руководителем учреждения, проводит инвентаризацию радионуклидов, установок. В случае обнаружения потерь источников излучения или расхода радионуклидов для целей, не определяемых технологией работы, немедленно информируются вышестоящие организации, органы МВД СЭС и проводится расследование.

На специализированные автомашины для постоянных перевозок радионуклидов, материалов, устройств и установок с источниками ионизирующих излучений, радиоактивных отходов оформляется санитарный паспорт.

Источники излучения, не находящиеся в работе, должны храниться в специально отведенных местах или соответственно оборудованных хранилищах, исключая доступ к ним посторонних лиц. Хранилища должны размещаться,

как правило, на уровне низших отметок здания (подвал, нижний этаж).

Отделка и оборудование помещения для хранения открытых радионуклидов должны отвечать требованиям для работы соответствующего класса, но не ниже второго класса.

Устройства для хранения источников излучения (ниши, колодцы, сейфы) должны быть устроены так, чтобы при закладке или извлечении отдельных источников персонал не подвергался облучению от остальных находящихся в устройстве источников.

Дверцы секций и упаковки с радионуклидами должны легко открываться и иметь отчетливую маркировку с указанием наименования хранимого радионуклида и его активности. Лицо, ответственное за учет и хранение источников, должно иметь карту-схему их размещения в хранилище.

Стеклянные емкости, содержащие радиоактивные жидкости, должны быть помещены в металлические или пластмассовые сосуды, достаточные для хранения всей хранящейся жидкости, в случае если целостность стекла нарушится.

Радионуклиды, при хранении которых возможно выделение радиоактивных газов, паров или аэрозолей должны храниться в вытяжных шкафах, боксах, в закрытых сосудах. Хранилище должно быть оборудовано круглосуточно работающей вытяжной вентиляцией.

### **Работа с закрытыми источниками излучений**

Закрытый источник – радиоактивный источник излучения, устройство которого исключает попадание радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.

В нерабочем положении все источники излучения должны находиться в закрытых устройствах, а неизотопные источники ионизирующих излучений обесточены.

Запрещается прикасаться к радиоактивным источникам руками, при работе с препаратами, извлеченными из защитных контейнеров, должны использоваться соответствующие закрытые экраны и различного рода манипуляторы (склады).

При работе с закрытыми источниками более 200 мг-экв радия должны использоваться специальные устройства с дистанционным управлением. При устройстве рентгеноустановок с энергией излучения свыше 10 КэВ пульт управления аппаратом размещается в смежном помещении. Входная дверь в помещение, где находится аппарат, должна блокироваться с механизмом перемещения аппарата или с включением высокого напряжения так, чтобы исключалась возможность случайного облучения персонала.

Помещения, где размещаются стационарные установки с изотопными источниками излучения, должны быть оборудованы системами блокировки и сигнализации о положении облучателя и превышения заданной мощности дозы излучения.

При использовании приборов, установок с закрытыми источниками излучений вне помещений или общих помещениях должны предусматриваться следующие мероприятия:

- предпочтительное направление излучений в сторону земли или в сторону, где нет людей;
- наибольшее удаление источников от персонала и других лиц;

- ограничение длительности пребывания людей вблизи источников;
- применение передвижных ограждений и защитных экранов;
- вывешивание плакатов, предупреждающих об опасности, отчетливо видимых с расстояния не менее 5 м.

При работе с закрытыми источниками излучения специальные требования к отделке помещений не предъявляются.

### **Работа с радионуклидами в открытом виде**

Открытый источник – радиоактивный источник излучения, при использовании которого возможно попадание содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.

Радионуклиды, как потенциальные источники внутреннего облучения по степени радиационной опасности разделяются на 4 группы:

**ГРУППА «А»** – с минимально значимой активностью ( $MZA$ ) = 0,1 мкКи;

**ГРУППА «Б»** – радионуклиды с  $MZA = 1$  мкКи;

**ГРУППА «В»** – радионуклиды с  $MZA = 10$  мкКи;

**ГРУППА «Г»** – радионуклиды с  $MZA = 100$  мкКи.

Все работы с открытыми источниками разделяются на 3 класса: (I, II, III), которые устанавливаются в зависимости от группы радиационной опасности радионуклида и фактической его активности на рабочем месте. Классом работ определяются требования к размещению и оборудованию помещений, в которых проводятся работы с открытыми источниками.

В помещениях для работ I и II классов полы, стены и потолки должны быть покрыты специальными слабосорби-

рующими материалами, стойкими к моющим средствам. Края покрытий полов должны быть подняты и заделаны заподлицо со стенками. Углы помещений должны быть закруглены. Полотна дверей и переплеты должны иметь простейшие профили.

Площадь в расчете на одного работающего должна быть не менее 10 м<sup>2</sup>. Оборудование и рабочая мебель должны иметь гладкую поверхность, простую конструкцию и слабосорбирующие смесители и открываться при помощи педального или лок-поверхности (позволяют открывать краны нажатием локтя). Количество радионуклидов на рабочем месте должно быть минимально необходимым для работы. При работе с радиоактивными веществами следует пользоваться пластикатовыми пленками, фильтровальной бумагой и другими подсобными материалами разового пользования.

В учреждении, где проводятся работы I и II классов, следует предусматривать выбросные трубы, высота которых должна обеспечить снижение концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе до контрольного уровня, устанавливаемого НРБ-76.

Учреждения, где ведутся работы с радионуклидами в открытом виде, должны иметь водопровод и канализацию, краны для воды, подаваемой к раковинам, должны иметь смесители и открываться при помощи педального или локтевого устройства.

### **Сбор, удаление и обезвреживание твердых и жидких радиоактивных отходов**

Система удаления и обезвреживания твердых радиоактивных отходов и подлежащих захоронению жидких радио-



активных отходов должны быть централизованы и включать в себя сбор отходов, временное их хранение, удаление и обезвреживание.

Конструкция контейнеров для радиоактивных отходов должна быть такой, чтобы была возможная механизированная погрузка и разгрузка их с автомашины. Мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от сборника с радиоактивными отходами допускается не более 10 мбэр/ч.

Транспортирование радиоактивных отходов должно проводиться на специально оборудованных машинах. Допускаются перевозки радиоактивных отходов водным путем, железнодорожным или специально выделенным автотранспортом в механически прочных герметичных условиях (упаковках).

Удаление радиоактивных отходов должно проводиться на специальных пунктах захоронения. В окрестностях пункта захоронения отходов организуется санитарно-защитная зона. Территория пункта захоронения огораживается предупреждающими знаками и обеспечивается охраной и сигнализацией. Участок должен быть связан автомагистралями, благоустроенными подъездами и озеленен.

### **Меры индивидуальной защиты и личной гигиены**

Загрязнение личной одежды и обуви не допускается. Все лица, работающие или посещающие участки работы с открытыми источниками, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты в зависимости от вида класса работ.

При работах первого класса и при отдельных работах второго класса работающие должны быть обеспечены комбинезонами или костюмами, шапочками, спецбельем, нос-

ками, личной обувью или ботинками, перчатками, бумажными полотенцами и носовыми платками разового пользования в зависимости от характера возможного радиоактивного загрязнения воздуха, а также средствами защиты органов дыхания.

При работах второго класса и при отдельных работах третьего класса работающие должны быть обеспечены халатами, шапочками, перчатками, легкой обувью и при необходимости средствами защиты органов дыхания.

При выходе из помещений, где проводятся работы с радионуклидами следует проверить чистоту спецодежды и других средств индивидуальной защиты, снять их и при выявлении радиоактивного загрязнения вымыться под душем.

Основная спецодежда и белье персонала не реже одного раза в неделю должны направляться на дезактивацию в спецпрачечные.

В помещениях для работ с открытыми источниками запрещается:

- пребывание сотрудников без необходимых средств индивидуальной защиты;
- хранение пищевых продуктов, домашней одежды и других предметов, не имеющих отношения к работе;
- прием пищи, курение, пользование косметическими принадлежностями.

Для этих целей предусматриваются специальные изолированные помещения.

## **Раздел 3. Физические основы ветеринарной радиобиологии**

### **Содержание раздела**

Основные закономерности микромира. Элементарные частицы. Физическая характеристика элементарных частиц (протон, нейтрон, электрон). Размеры и плотность ядер. Энергия связи частиц в ядре. Масса ядра и дефект массы. Электронная оболочка атома.

Стабильные и нестабильные (радиоактивные) изотопы. Явление радиоактивности. Естественная и искусственная радиоактивность. Типы ядерных превращений. Радиоактивные излучения, их виды и характеристика (природа, заряд, энергия, пробег). Закон радиоактивного распада. Единицы радиоактивности. Радиоактивные семейства. Получение и свойства искусственных радионуклидов.

Реакция деления и синтеза ядер, управляемые ядерные реакции деления. Взаимодействие альфа- и бета-частиц с веществом. Закон ослабления пучка бета. Слой половинного ослабления бета частиц в веществе. Обратное рассеяние. Самопоглощение.

Виды взаимодействия гамма-излучения с веществом. Закон поглощения гамма-лучей. Основные эффекты взаимодействия нейтронов с веществом. Наведенная радиоактивность. Защита от ионизирующих излучений.

### **Методические указания к изучению раздела**

Студента, приступившего к изучению этого раздела, не должны «пугать» термины и понятия ядерной физики. В курсе радиобиологии изучение их вызвано необходимостью

понять, какие процессы происходят в организме человека и животных при загрязнении его радионуклидами, осознанно проводить радиометрирование проб. Так, строение ядра определяет радиоактивность элемента, превращение нейтральных атомов в ионы формирует характер и тяжесть лучевых поражений в организме.

Эпиграфом к курсу радиобиологии могут быть слова академика В.И. Вернадского: «Кругом нас, в нас самих, всюду и везде без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут потоки излучений разной длины волны».

Радиация (лучи, излучения) характеризуются длиной волны и энергией (обратно пропорциональная зависимость). Именно энергия вызывает биологический эффект, прямо пропорциональный ее величине. Механизм биологической реакции обусловлен процессами, происходящими в атомах элементов, из которых состоит организм.

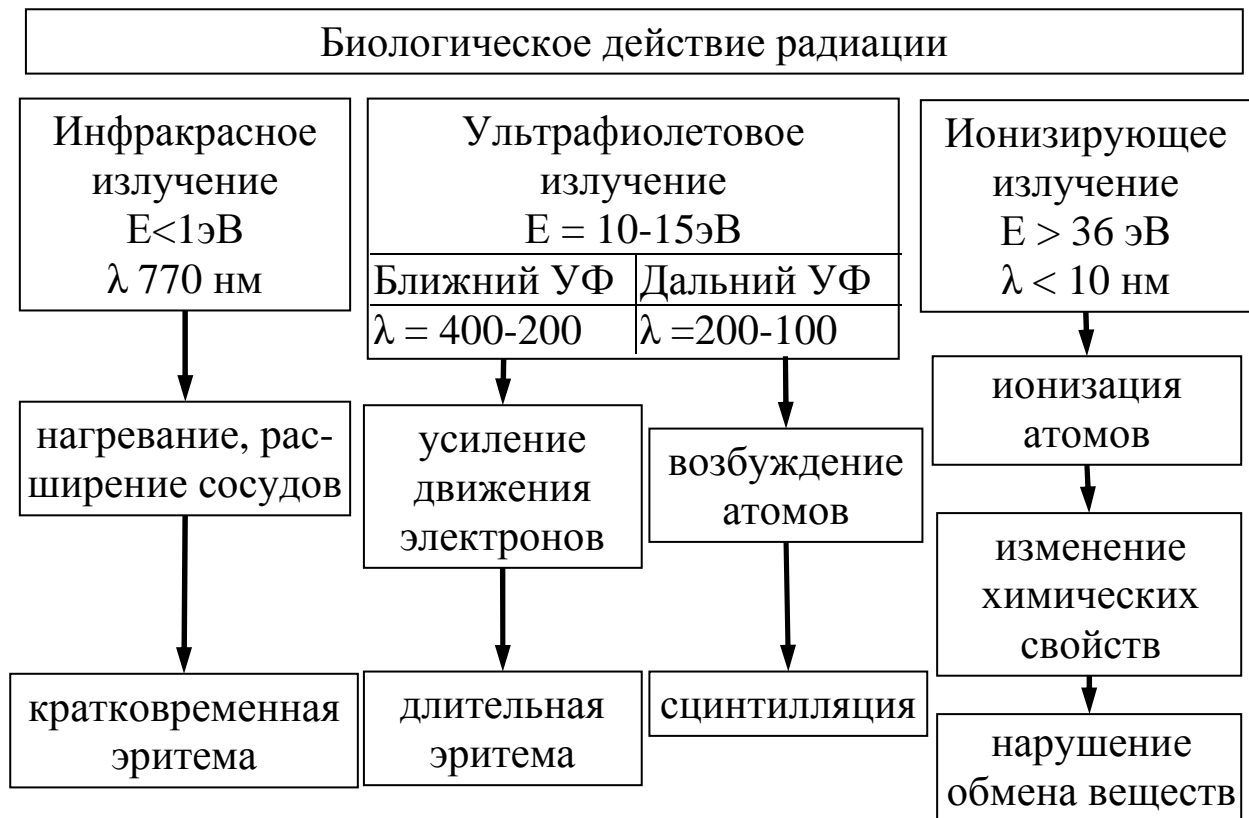


Рисунок 3 - Биологическое действие радиации

По биологическому эффекту вся электромагнитная радиация подразделяется на неионизирующую - инфракрасные лучи, видимый свет, ближний ультрафиолет и ионизирующую - дальний ультрафиолет, лучи Рентгена, гамма-лучи (рисунок 4.)

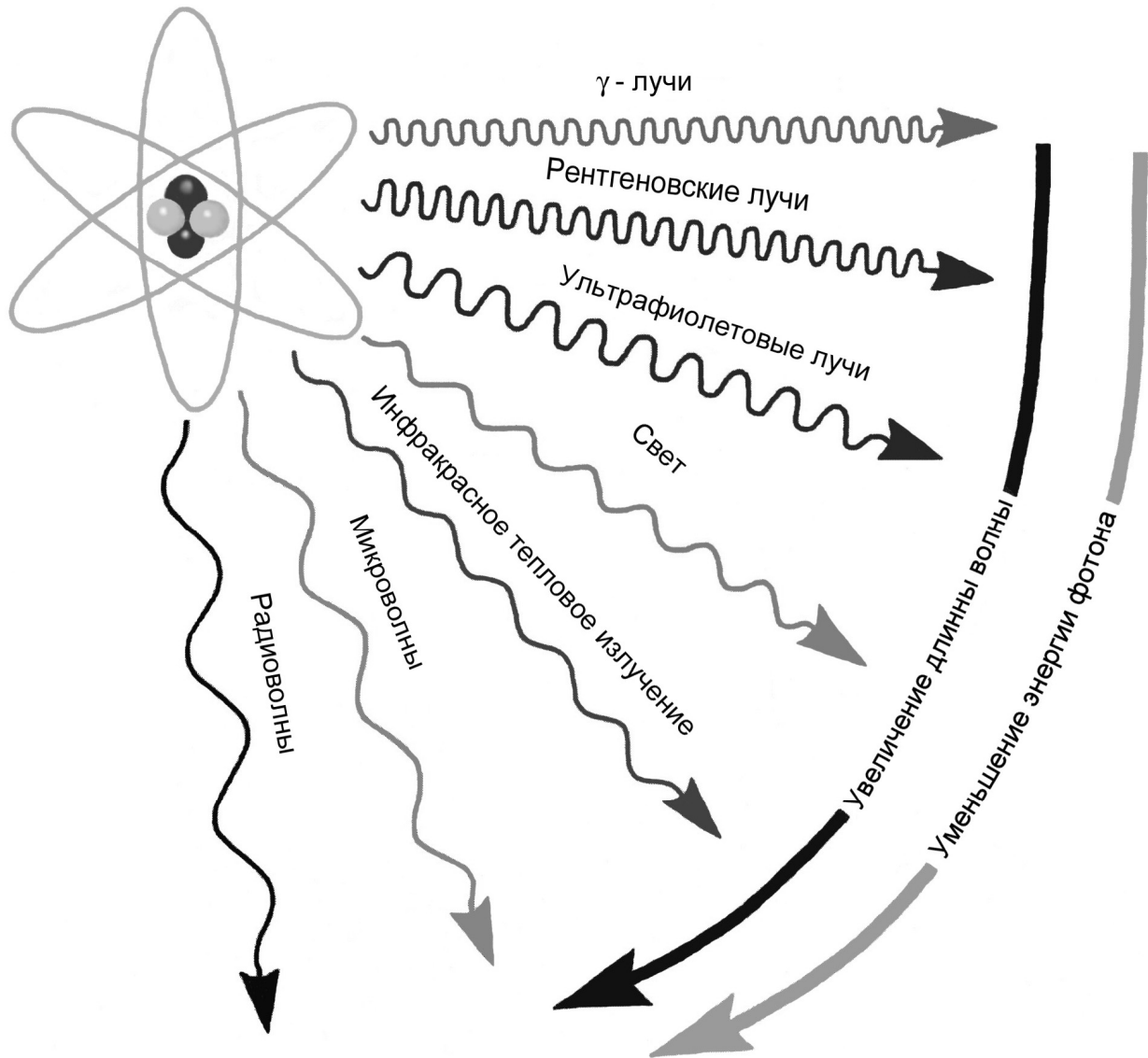


Рисунок 4 - Спектр электромагнитных излучений

Неионизирующие излучения используются в повседневной практике животноводства, особенно в осенне-зимний период.

В курсе ветробиологии нас интересует ионизирующая радиация (далее – радиация, излучение). Источником

радиации являются радиоактивные (нестабильные) изотопы. С 1975 г. принят международный термин – радионуклид.

Обратите внимание!!! *Каждый химический элемент – смесь изотопов: стабильных и нестабильных радиоактивных.* В этом суть явления изотопии.

**Изотоп** (*isos* – равный, *topos* – место) – разновидность ядер *одного и того же элемента*, имеющих одинаковое количество протонов, но разное количество нейтронов, а, следовательно, массу.

Таблица 5 – Изотопный состав важнейших для организма элементов

Номер в периодической системе	Название	Химический знак	Изотопы
1	Водород	H	H <sup>1</sup> , H <sup>2</sup> , <b>H<sup>3</sup></b>
6	Углерод	C	<b>C<sup>11</sup></b> , C <sup>12</sup> , C <sup>13</sup> , <b>C<sup>14</sup></b> , <b>C<sup>15</sup></b>
7	Азот	N	<b>N<sup>13</sup></b> , N <sup>14</sup> , N <sup>15</sup> , <b>N<sup>16</sup></b>
8	Кислород	O	<b>O<sup>15</sup></b> , O <sup>16</sup> , O <sup>17</sup> , O <sup>18</sup>
11	Натрий	Na	<b>Na<sup>22</sup></b> , Na <sup>23</sup> , <b>Na<sup>24</sup></b>
15	Фосфор	P	P <sup>31</sup> , <b>P<sup>32</sup></b> , <b>P<sup>33</sup></b>
16	Сера	S	S <sup>32</sup> , S <sup>33</sup> , S <sup>34</sup> , <b>S<sup>35</sup></b> , S <sup>36</sup>
19	Калий	K	K <sup>39</sup> , <b>K<sup>40</sup></b> , K <sup>41</sup> , <b>K<sup>42</sup></b> , <b>K<sup>43</sup></b>
20	Кальций	Ca	Ca <sup>40</sup> , <b>Ca<sup>41</sup></b> , Ca <sup>42</sup> , Ca <sup>43</sup> , Ca <sup>44</sup> , Ca <sup>45</sup> , Ca <sup>46</sup> , <b>Ca<sup>47</sup></b> , Ca <sup>48</sup> , <b>Ca<sup>49</sup></b>
26	Железо	Fe	<b>Fe<sup>52</sup></b> , Fe <sup>54</sup> , <b>Fe<sup>55</sup></b> , Fe <sup>56</sup> , Fe <sup>57</sup> , Fe <sup>58</sup> , <b>Fe<sup>59</sup></b> , <b>Fe<sup>60</sup></b>
88	Радий	Ra	<b>Ra<sup>222</sup></b> , <b>Ra<sup>223</sup></b> , <b>Ra<sup>224</sup></b> , <b>Ra<sup>225</sup></b> , <b>Ra<sup>226</sup></b> , <b>Ra<sup>228</sup></b>
92	Уран	U	<b>U<sup>230</sup></b> , <b>U<sup>231</sup></b> , <b>U<sup>232</sup></b> , <b>U<sup>233</sup></b> , <b>U<sup>234</sup></b> , <b>U<sup>235</sup></b> , <b>U<sup>236</sup></b> , <b>U<sup>237</sup></b> , <b>U<sup>238</sup></b> , <b>U<sup>239</sup></b> , <b>U<sup>240</sup></b>

**Примечание:** **Красным** цветом – выделены нестабильные изотопы.

Ядро состоит из нуклонов: протонов ( $p^+$ ) и нейтронов ( $n^0$ ).

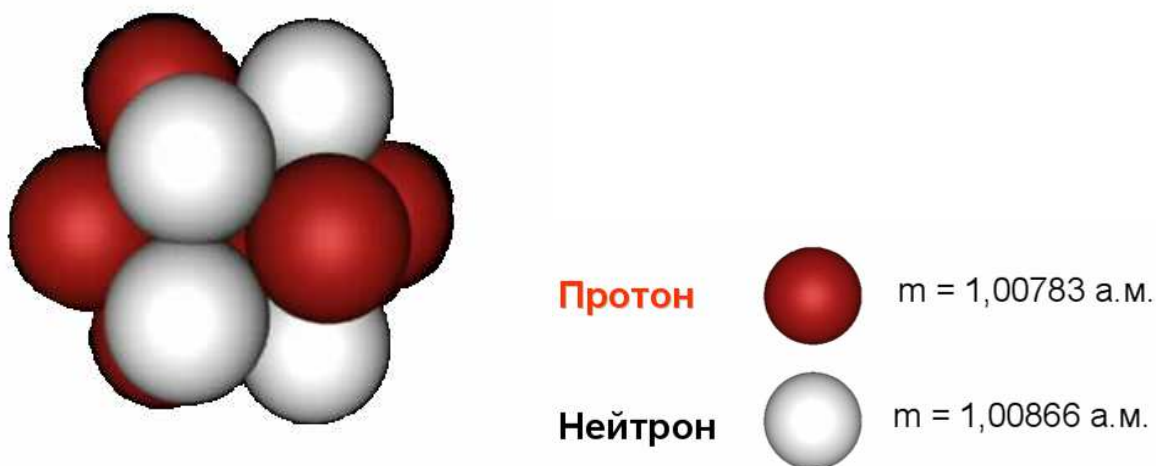


Рисунок 5 - Строение ядра

Гипотеза «капельной» модели ядра принята по аналогии с каплей воды. Как между молекулами воды существуют молекулярные силы, так и между элементарными частицами ядра (нуклонами) – ядерные силы сцепления. Соотношение протонов и нейтронов называется эффектом насыщения (ЭН). Ядерные силы сцепления и дефект массы определяют стабильность или радиоактивность ядра. Изменение этих условий: нарушение ЭН, возрастание дефекта массы, ослабление ядерных сил сцепления являются причиной нестабильности (радиоактивности).

Ядерные силы сцепления в ядре выше сил отталкивания между одноименно заряженными протонами. Это самые мощные силы в природе, однако проявляются только при определенных условиях:  $ЭН < 1,1$ , на расстоянии не более размера ядра, пространственное положение частиц в ядре.

**Радиоактивность** – процесс перехода ядра из нестабильного состояния в стабильное с выделением радиации и образованием дочерних элементов. Распадающееся ядро на-

зывается материнским, а новое образующееся – дочерним. Дочерние элементы могут быть стабильными или нестабильными в зависимости от эффекта насыщения. Распад идет до образования стабильных изотопов.

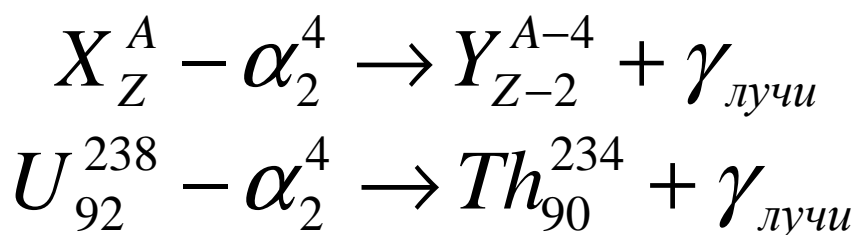
Типы распадов:

**α-распад** (распадаются ядра с порядковым номером >82).

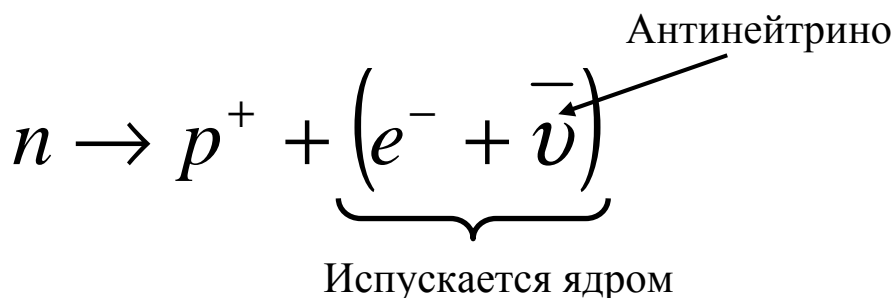
Суть α-распада:

«материнское» ядро **X** с зарядом **Z** и массовым числом **A** превращается в новое «дочернее» ядро **Y** с **Z-2** и **A-4**.

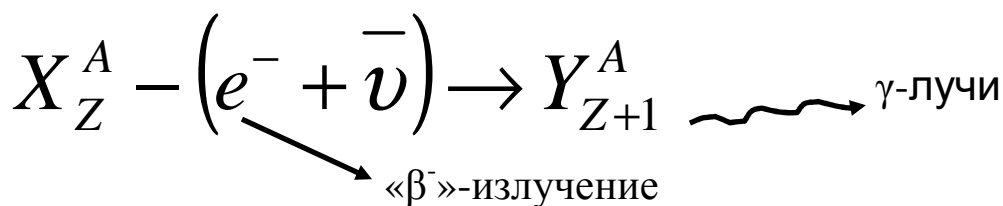
Из материнского ядра вылетает альфа частица, дочернее ядро избыток энергии выделяет, испуская гамма-квант.



**Электронный «β<sup>-</sup>»-распад n>p**

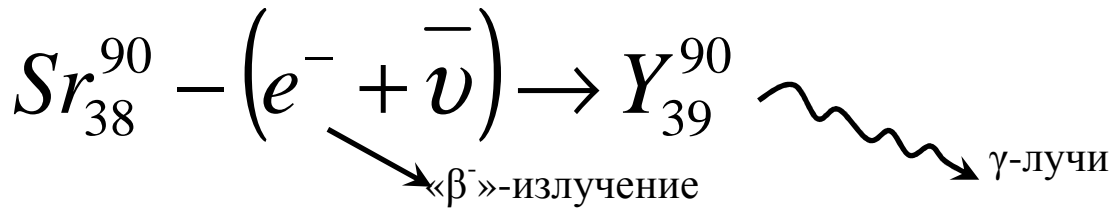


Образуется новое ядро с зарядом на 1 больше

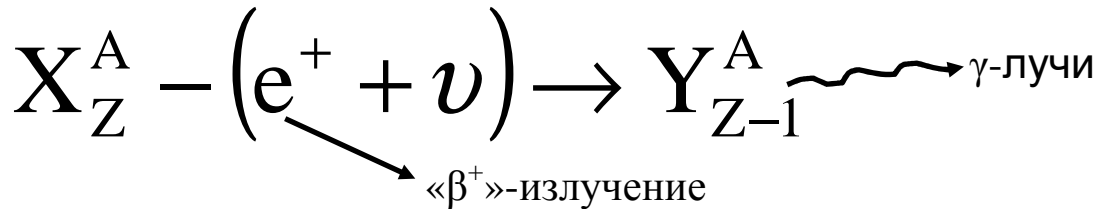
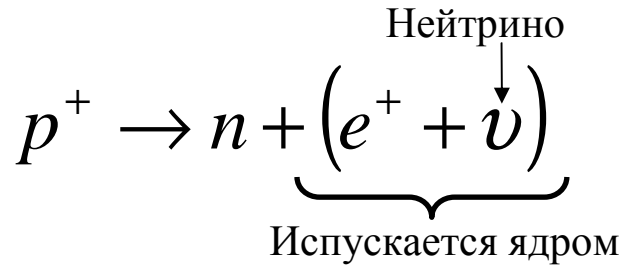




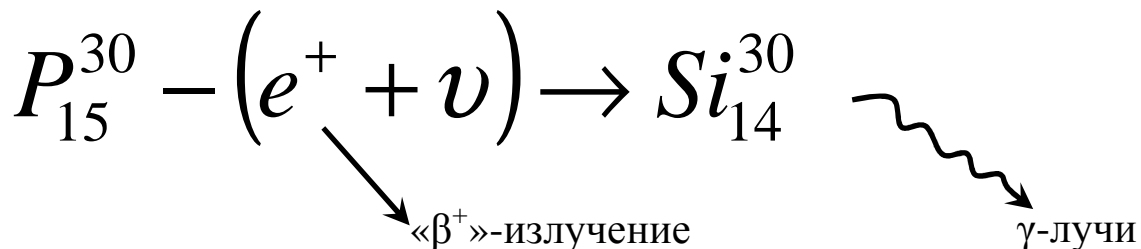
Пример  $\beta$ -отрицательного распада (электронного)



Позитронный « $\beta^{+}$ »-распад  $p > n$



Пример  $\beta$ -положительного распада (позитронного)



**Радиация по природе:** корпускулярная ( $\alpha$ -лучи,  $\beta$ -лучи, поток нейтральных частиц) и электромагнитная (дальний ультрафиолет, лучи Рентгена и  $\gamma$ -лучи).

Корпускулярная радиация образована потоком элементарных частиц, вылетающих из материнского ядра при его распаде: так,  $\alpha$ -лучи образованы потоком протонов, дейтронов,  $\alpha$ -частиц;  $\beta$ -лучи – позитронами и ядерными электронами; поток нейтральных частиц – нейтронами, нейтрино,  $\pi$ -мезонами.

Электромагнитная радиация в виде квантов испускается дочерним элементом.

В окружающей среде радиация (независимо от природы) вызывает процессы ионизации и возбуждения встречаемых атомов. По степени ионизации вещества детектора прибора определяют уровень радиации. Ионизация атомов элементов биологической ткани приводит к изменению химических свойств элемента и, как следствие, нарушению обмена веществ в организме.

**Свойства радиации:** ионизирующая и проникающая способности. Ионизирующая способность характеризуется полной и удельной ионизацией (плотностью ионизации). Полная ионизация определяется количеством пар ионов, которое луч может образовать на пути распространения. Удельная ионизация характеризуется количеством пар ионов на единице длины пробега. Полная ионизация прямо пропорциональна энергии радиации, удельная ионизация обратно пропорциональна скорости движения луча и прямо пропорциональна плотности вещества, в котором проходит луч. Проникающая способность определяется пробегом лучей. Путь – это расстояние, которое проходит радиация. Пробег – это часть пути, на котором происходит ионизация. Удельная ионизация определяет величину пробега и находится с ним в обратно пропорциональной зависимости.

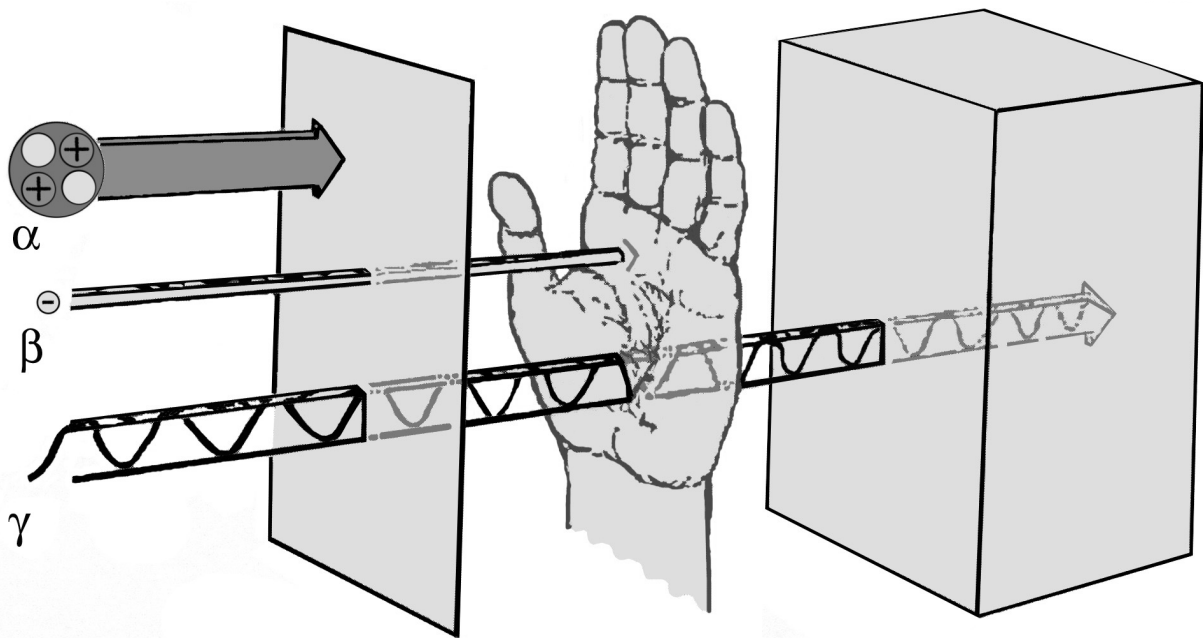


Рисунок 6 – Проникающая способность разных видов излучения

**Процесс распада** радионуклидов подчиняется **закону** радиоактивного распада.

«За единицу времени всегда распадается одна и та же доля ( $\lambda$ ) радиоактивного вещества независимо от его первоначального количества».

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t, \quad (3.1)$$

$$A = \frac{-\lambda N_0}{t}, \quad (3.2)$$

где  $A$  – радиоактивность,  $\lambda$  – постоянная распада.

Относительную скорость распада  $\lambda$  для короткоживущих изотопов выше, чем для долгоживущих:

$$\lambda = 0,693/T_{1/2}.$$

Благодаря постоянной распада количество радиоактивного вещества с течением времени уменьшается в зависимости от значения  $\lambda$ .

(Если создать условия хранения сельскохозяйственной продукции, затормаживающие развитие патогенной микрофлоры, то с течением времени за счет естественного распада радиоактивность снизится до допустимого значения).

Количество распадов в единицу времени характеризует абсолютную скорость распада, т. е. радиоактивность.

Если принять  $t = T_{1/2}$ , то из формулы 3.1 следует, что радиоактивность прямо пропорциональна постоянной распада ( $\lambda$ ) первоначальному количеству вещества ( $N_0$ ) и обратно пропорциональна периоду полураспада. Таким образом, радиоактивность короткоживущих радионуклидов выше долгоживущих. Высокий радиационный фон сразу после ядерных взрывов и аварий обусловлен распадом большого количества короткоживущих изотопов.

Период полураспада – время, в течение которого распадается половина радиоизотопов вещества.

Таблица 6 – Периоды полураспада наиболее опасных в биологическом отношении радионуклидов

Элемент	$I^{124}$	$I^{131}$	$Cs^{137}$	$Sr^{90}$
$T_{1/2}$	4,18 сут.	8,05 сут.	30 лет	28 лет

Полный распад  $T = 10T_{1/2}$

### Графическое изображение закона радиоактивного распада

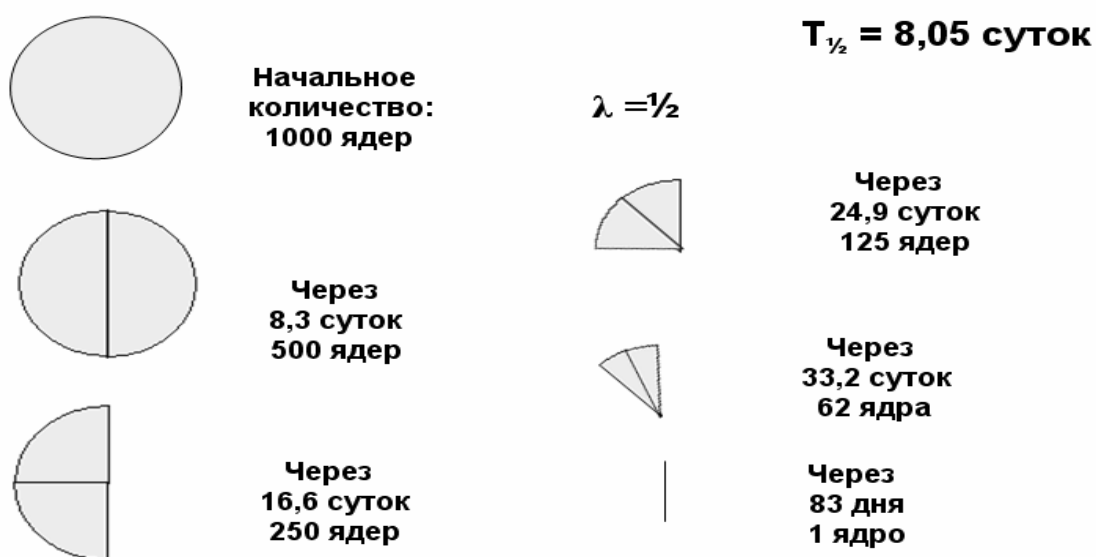


Рисунок 7 - Распад  $I^{131}$

# Расчеты распада

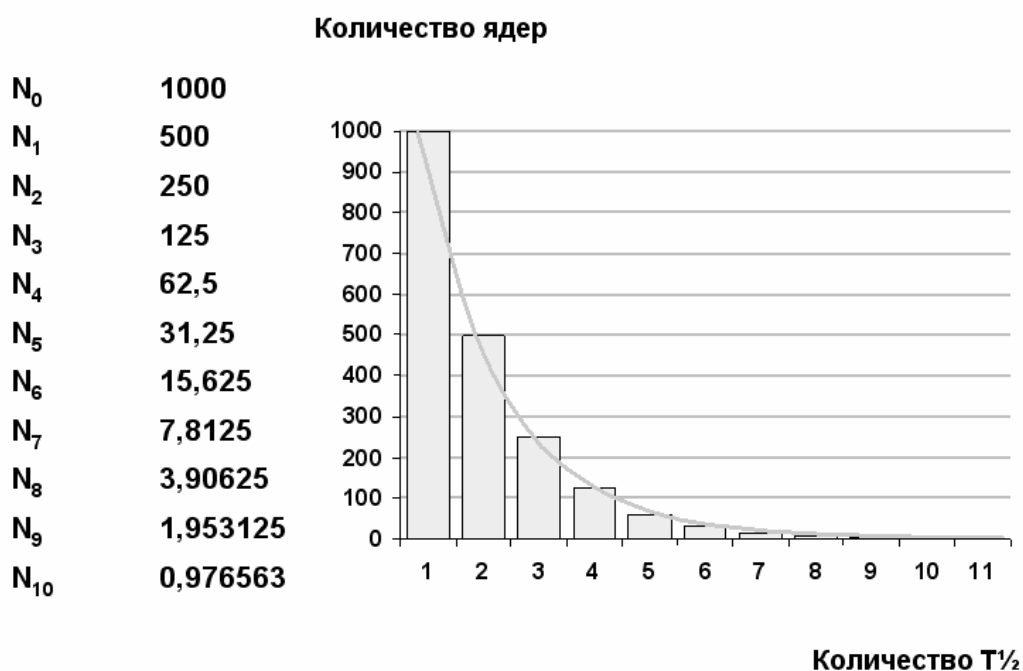


Рисунок 8 – Графическое представление зависимости количества изотопа от периода полураспада

К ядерным превращениям относятся ядерные реакции – бомбардировка элементарными частицами и  $\gamma$ -квантами встречных атомов окружающей среды. При этом стабильные ядра превращаются в нестабильные.

Под воздействием ИИ с веществом понимают физико-химические и органические процессы, которые возникают в нем при прохождении радиации. В результате взаимодействия с атомами и молекулами вещества радиация растрчивает свою энергию. Потери энергии бывают 2 видов: ионизационные и радиационные.

Рассматривая особенности взаимодействия с веществом каждого вида излучения, следует обращать внимание на массу, заряд и скорость элементарных частиц, массу ядра встречного атома.

Так, для положительно заряженных частиц массой в 7000 раз больше массы электрона характерны в основном потери энергии на ионизацию. Из 500 000  $\alpha$ -частиц только одна по теории вероятности может попасть в ядро.

$\beta$ -лучи, в зависимости от типа  $\beta$ -распадов (см. выше), могут состоять из отрицательно заряженных ядерных электронов или положительно заряженных позитронов. Вследствие этого и поведение их в электрическом поле ядра встречного атома различно. Кроме того, нужно учесть, что  $\beta$ -частицы являются легкими по массе (по сравнению с  $\alpha$ -частицами) частицами, поэтому на их поведение будет влиять масса встречных атомов. Вследствие этого  $\beta$ -лучи испытывают радиационные и ионизационные потери. Радиационные потери тем больше, чем больше масса встречных атомов среды и энергия частиц.

## **Раздел 4. Дозиметрия и радиометрия ионизирующих излучений**

### **Содержание раздела**

Понятие о радиометрии и дозиметрии ионизирующих излучений, их цели и задачи. Методы и средства обнаружения и регистрации ионизирующих излучений. Ионизационные методы детектирования. Ионизационная камера, газоразрядные, сцинтилляционные счетчики, принцип их устройства и работы. Классификация счетчиков, их счетная характеристика, эффективность. Сцинтилляционные методы регистрации и измерения излучений. Понятие о сцинтилляторах. Фотоэлектронные умножители.

Методы детектирования, основанные на вторичных эффектах взаимодействия излучений с веществом – фото-

графический, химический и калориметрический. Выбор детекторов излучений в зависимости от типа излучения и его энергии.

Классификация радиометрических, дозиметрических и спектрометрических приборов, применяемых для радиационной экспертизы кормов и продуктов животноводства, их устройство и принцип работы. Подготовка радиометрических и дозиметрических приборов к работе, проверка стабильности их работы. Основные методы определения радиоактивности препаратов – сравнительный, относительный и абсолютный. Определение абсолютной и относительной ошибок счета. Доза излучения и ее мощность. Относительная биологическая эффективность различных видов излучений. Единицы измерения дозы и мощности дозы. Расчет доз при внешнем и внутреннем облучении. Связь между активностью и дозой излучения. Дозиметрия и радиометрия, их цели и задачи. Классификация дозиметрических детекторов. Дозы излучения и их мощность. Единицы измерения. Определение уровня радиации на местности. Радиометрический контроль.

Гигиенические нормативы:

предельно допустимая доза (ПДД), предельно допустимое поступление радионуклида (ПГП), предел годового поступления радионуклида (ПДС), допустимая концентрация радионуклида (ДК), временно допустимые уровни (ВДУ).

### **Методические указания к изучению раздела**

Знания этого раздела лежат в основе практической деятельности врача-радиолога.

Для оценки радиационной ситуации на местности, в хозяйствах, определения степени загрязненности радионуклидами сельскохозяйственной продукции проводят дозиметрические и радиометрические исследования.

Дозиметрия своей целью имеет определение радиационного фона (на Кубани не более 20 мкР/ч), величины доз излучения: экспозиционной, поглощенной и эквивалентной, уровня радиации от различных источников, в частности сельскохозяйственной продукции.

Без знания доз излучения невозможно прогнозировать тяжесть лучевого поражения, контролировать радиационную безопасность населения и животных при различных радиационных авариях.

**Радиометрия** своей целью имеет определение **радиоактивности** продукции, изотопного состава загрязняющих ее радионуклидов. Исследования проводят дозиметрическими и радиометрическими приборами. Существуют приборы, выполняющие функции дозиметра-радиометра.

Принципиальная схема устройства приборов независимо от модификации одинакова. Дозиметры и радиометры имеют четыре блока: 1-й блок детектирования, 2-й блок – преобразующее устройство, 3-й блок – усиления, 4-й блок – регистрации.

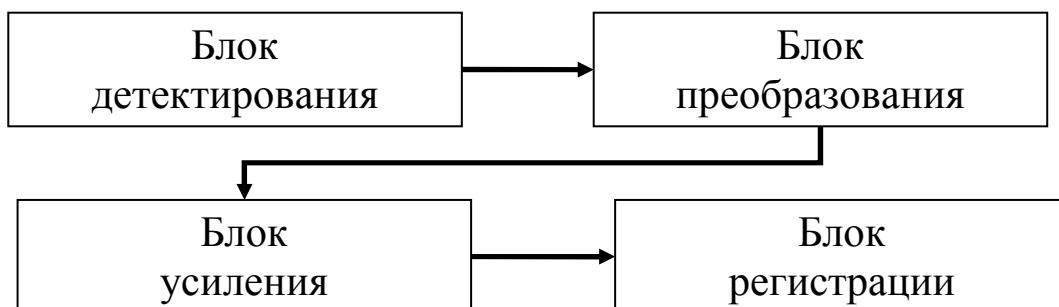


Рисунок 9 – Схема дозиметрических и радиометрических приборов



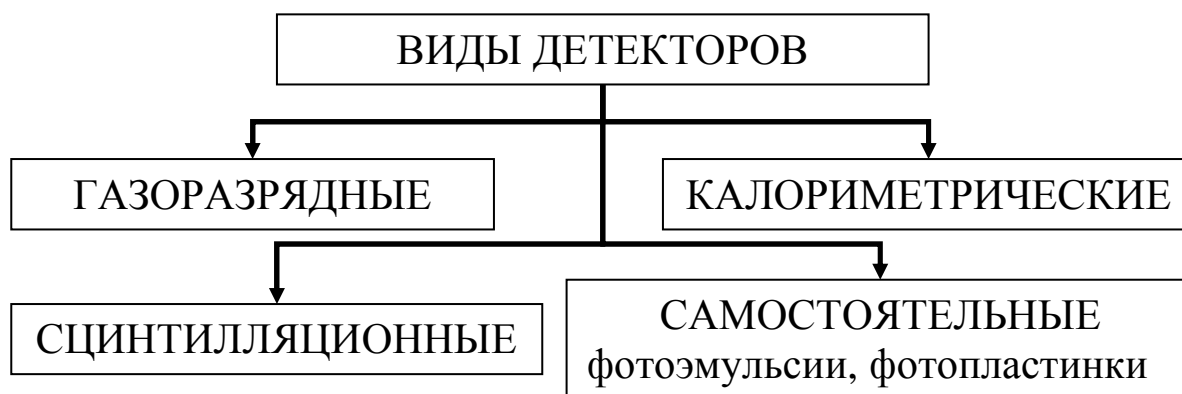


Рисунок 10 – Классификация детекторов

Блок детектирования заполнен кристаллическим (NaI, KI) или газообразным (инертный газ) веществом, в котором при действии на него радиации, идущей от радионуклида, находящегося во внешней среде или в сельхозпродукции, происходят процессы ионизации или возбуждения атомов с последующей сцинтилляцией.

В дальнейшем физико-химические процессы преобразуются в импульсы (2-й блок), усиливаются (3-й блок) и регистрируются (4-й блок).

В последнем модификация самая различная: в виде индуктора, цифрового табло, шкалы со стрелкой и др.

Методы определения радиоактивности – абсолютные и относительные.

При абсолютном методе считают «импульсы», исходящие от радионуклидов пробы. Закон радиоактивного распада позволяет предположить, что активность источника прямопропорциональна числу имеющихся в нем ядер и постоянной распада:

$$N_t = N_0 \times \lambda,$$

где  $N_t$  – количество ядер распадающихся в данный момент,  $N_0$  – первоначальное количество ядер,  $\lambda$  – постоянная распада для данного радионуклида.

Для определения радиоактивности проб объектов ветернадзора чаще используется относительный метод расчета.

Метод основан на сравнении активности исследуемой пробы и эталона. В качестве эталона выбирают радиоактивный изотоп, одноименный с изотопом, определяемым в пробе. Вид, энергия излучения эталона и пробы должны быть идентичны.

**Экспозиционная доза** излучения – доза радиации гамма- и рентгеновского излучения, идущая от источника и вызывающая ионизацию атомов воздуха. Измеряется в рентгенах и его производных:

Дольных  $mP = 10^{-3} P$  (миллирентген);  $\mu P = 10^{-6} P$  (микрорентген).

Кратных  $KP = 10^3 P$  (килорентген);  $MP = 10^6 P$  (мега-рентген).

На практике применяется внесистемная единица – рентген, принятая в 1928 г. **Рентген (Р)** – такое количество энергии рентгеновского или гамма-излучения, вызывающей в  $1 \text{ см}^3$  воздуха (0,001293 г) при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. (1013 гПа) и температуре  $0^\circ\text{C}$  образование  $2,08 \times 10^9$  пар ионов.

За единицу экспозиционной дозы в Международной системе единиц (СИ) принят **кулон на килограмм (Кл/кг)**, т. е. такое количество энергии рентгеновского и гамма-излучения, которое в килограмме сухого воздуха образует ионы, несущие суммарный заряд в один кулон электричества каждого знака:  $1 P = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ ;  $1 \text{ Кл/кг} = 3680 P$ .

Экспозиционная доза характеризует активность источника. Определить по ней тяжесть лучевого поражения мож-

но относительно. Более точную характеристику лучевого поражения дает поглощенная доза.

**Поглощенная доза** – количество энергии любого вида излучения, поглощенного единицей массы облучаемого вещества.

Определяется по формуле:

$$D_{\text{погл(rad)}} = D_{\text{эксп(p)}} \times K.$$

Поглощение энергии как физический процесс зависит от многих факторов:

– коэффициента ( $K$ ), характеризующего плотность ткани (для жировой – 0,5; костной – 2,5-5; всего организма в целом – 0,92–0,93);

– расстояния источника до облучаемого объекта;

– состояния воздушной среды (влажность, давление и т. д.);

– угла падения лучей на объект;

– массы животного и его позы.

Единицы измерения в практической системе: **рад** (radiation absorption dose) – это такая доза, при которой одним граммом облучаемого вещества поглощается энергия любого вида излучения, равная 100 эрг (1 рад = 100 эрг/г).

Рад имеет производные единицы – дольные (мрад, мкрад) и кратные (Крад, Мрад).

За единицу поглощенной дозы в СИ принят **грей** (Гр), т. е. такая поглощенная доза, при которой одним килограммом вещества поглощается энергия любого вида излучения, равная 1 джоулю (Дж): 1 Гр = 1 Дж/кг.

Грей имеет производные единицы – дольные мГр, сГр (сантигрей), мкГр, и кратные КГр, МГр:

1 Гр = 100 рад,

1 рад = 0,01 Гр.

По величине поглощенной дозы нельзя достоверно прогнозировать тяжесть лучевого поражения, так как не учитывается ионизирующая способность и радиочувствительность облучаемого объекта. При одной и той же поглощенной дозе различные виды ионизирующего излучения (ИИ) оказывают разное биологическое действие. В связи с этим было введено понятие **эквивалентной дозы** – это та же поглощенная доза (по величине), но с учетом ионизирующей способности лучей.

Определяется по формуле:  $D_{\text{экв(бэр)}} = D_{\text{погл(rad)}} \times \text{ОБЭ}$ .

Коэффициент ОБЭ (относительная биологическая эффективность) сравнивает биологический эффект от любого вида излучения с биологическим эффектом от гамма-лучей.

ОБЭ для  $\gamma$ -лучей и лучей Рентгена – 1,  $\beta$ -лучей – 6,  $\alpha$ -лучей – 15, быстрых нейтронов – 20.

За единицу измерения эквивалентной дозы в практической системе принят **БЭР** (биологический эквивалент рада). Единица БЭР – это такая доза любого вида ИИ, при которой в живом организме создается такой же биологический эффект, как при поглощенной дозе гамма- и рентгеновского излучения в 1 рад.

В Международной системе измерения принят **Зиверт** (Зв),

1 Зв = 100 бэр.

Единицы эквивалентной дозы имеют дольные мЗв, мкЗв и кратные значения.

Таблица 7 – Основные физические величины в радиационной биологии и их единицы

Физическая величина	Единица, ее наименование, международное обозначение		Соотношение между единицами	
	Системная (СИ)	Внесистемная	Внесистемной и системы (СИ)	Системы (СИ) и внесистемной
Активность нуклида в радиоактивном источнике	Беккерель (Bq, Бк)	Кюри (Ci, Ки)	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк	1 Бк = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки
Экспозиционная доза излучения	Кулон на килограмм (K/rg, Кл/кг)	Рентген (R, Р)	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг	1 Кл/кг = 3876 Р
Мощность экспозиционной дозы излучения	Ампер на килограмм (A/rg, А/кг)	Рентген в сек. (R/s, Р/с)	1 Р/с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг	1 А/кг = 3876 Р/с
Поглощенная доза излучения	Грей (Gy, Гр)	рад (rad, рад)	1 рад = 0,01 Гр	1 Гр = 100 рад
Мощность поглощенной дозы излучения	Грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	рад в секунду (rad/s, рад/с)	1 рад/с = 0,01 Гр/с	1 Гр/с = 100 рад/с
Эквивалентная доза излучения	Зиверт (Sv, Зв)	бэр (rem, бер)	1 бэр = 0,01 Зв	1 Зв = 100 бэр
Мощность экспозиционной дозы излучения	Зиверт в секунду (Sv/s, Зв/с)	бэр в секунду (rem/s, бер/с)	1 бэр/с = 0,01 Зв/с	1 Зв/с = 100 бэр/с

## **Раздел 5. Биологические действия ионизирующих излучений**

Содержание раздела

Современные представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений на молекулярном и клеточном уровнях.

Теории, объясняющие биологическое действие ИИ. Прямое и косвенное действие. Зависимость биологического действия излучения от дозы облучения и ее мощности, вида ИИ, плотности ионизации, объема и площади облучения, физиологического состояния организма и других факторов. Радиочувствительность и радиорезистентность. Восстановительные и компенсаторные процессы при облучении на молекулярном, клеточном уровнях и в целом организме. Проблема действия малых доз радиации.

### **Методические указания к изучению раздела**

Биологическое действие ИИ имеет ряд особенностей:

- нет рецепторов, воспринимающих лучистую энергию;
- не переходит в тепловой вид энергии;
- реакция на конкретный физический фактор – радиацию – многогранна;
- для многоклеточных нет прямой зависимости между величиной радиации и ответной реакцией организма.

В зависимости от мощности дозы радиация может оказывать действие: стимулирующее, ингибирующее, мутагенное, летальное.

Независимо от места нахождения радионуклида, т. е. при внешнем и внутреннем облучении, механизм развития лучевого поражения одинаков и проходит в 3 этапа:

## Механизм действия радиации на организм

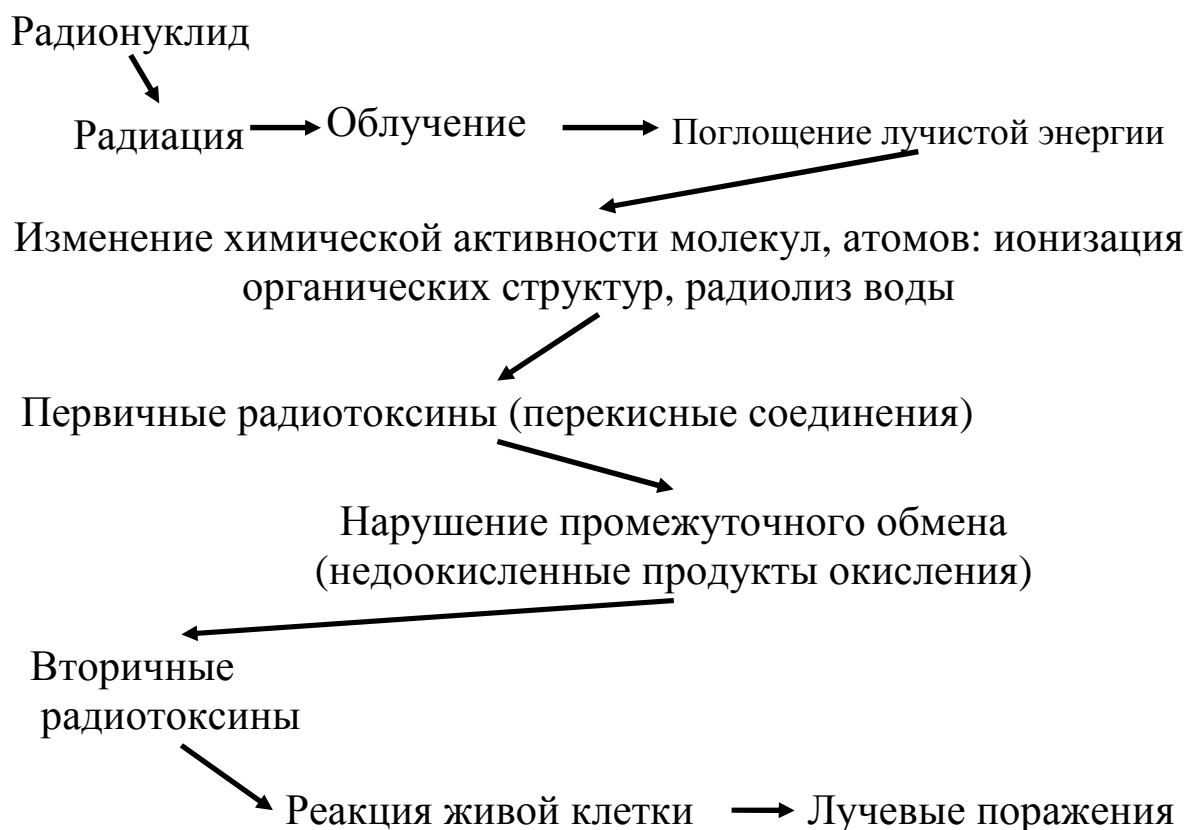


Рисунок 11 – Этапы действия лучевой энергии на организм

– 1-й этап – физический – включает 2 момента: облучение и поглощение лучистой энергии, продолжительность –  $10^{-16}$ с;



Рисунок 12 – Прямое и косвенное действие излучения на клетку

– 2-й этап – радиационно-химический: энергия поглощенной дозы расходуется на ионизацию или возбуждение атомов элементов клетки с образованием органических радикалов. В этом заключается прямое действие на структуры клетки, в основном,  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучей. Косвенное действие происходит через радиолиз воды клетки с образованием радикалов воды. Радикалы воды, взаимодействуя друг с другом, образуют перекисные соединения. Перекисные соединения называют первичными радиотоксинами. Действие только  $\gamma$ - и рентгеновских лучей (редкоионизирующих) сопровождается образованием свободного кислорода в тканях (кислородный эффект). Свободный кислород является катализатором, ускоряет образование перекисных соединений. Перекисные соединения действуют на не поврежденные прямым действием радиации белки, жиры, углеводы структур клетки, вызывая их перекисное окисление с образованием недоокисленных продуктов: свободные радикалы, хиноны, фенолы (вторичные радиотоксины).

Радиотоксины – низкомолекулярные биологические вещества различной природы. Образуются в организме животных, растений и человека при воздействии ИИ и участвуют в формировании лучевых поражений. Радиотоксины играют существенную роль в лучевой болезни, могут останавливать рост тканей, в больших концентрациях – вызывать лейкопению, задерживать развитие организма, стать причиной появления уродств в потомстве.

Реакция клетки на радиацию формирует 3-й этап развития лучевого поражения – общебиологический (морфологический, физиологический).



# Реакция клетки

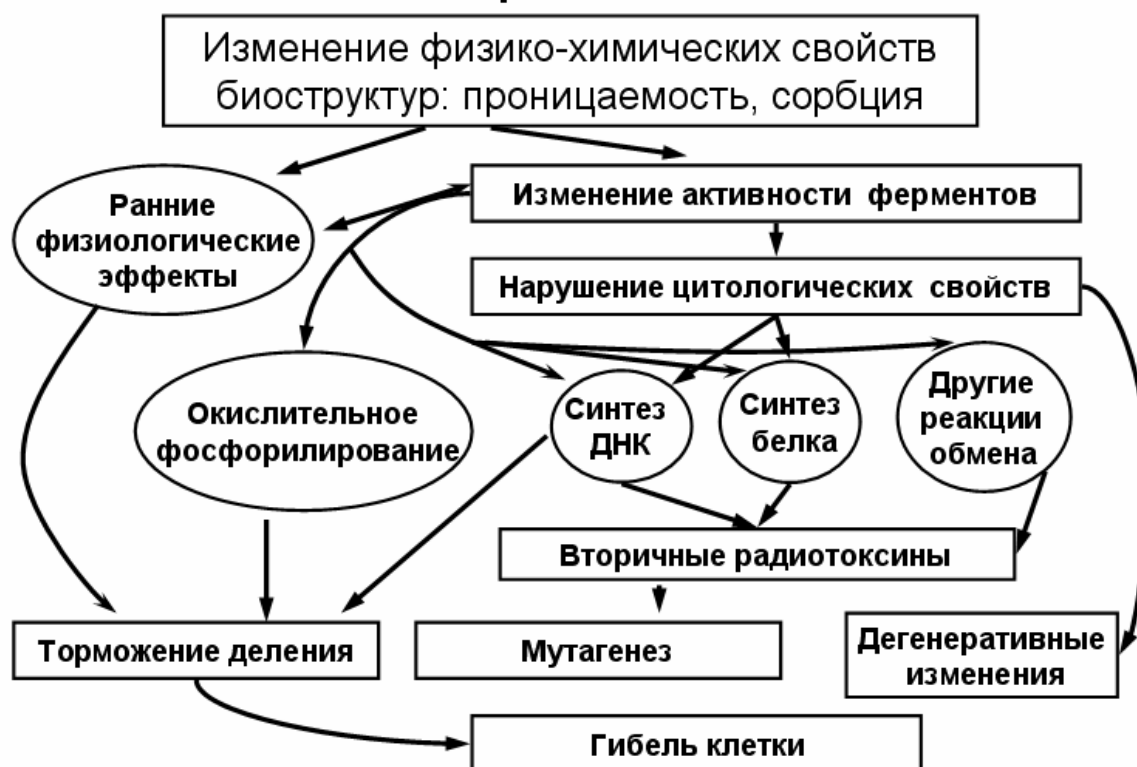


Рисунок 13 – Реакция клетки на действие ИИ

Если первичные радиотоксины быстро распадаются под действием пероксидазы, то вторичные оказывают более длительное действие, вызывая лучевые поражения, причиной которых является нарушение обмена веществ – токсический компонент патогенеза.

Лучевые поражения как ответная реакция организма на радиацию по времени возникновения могут быть непосредственными (например, гистологические изменения кожи, соматические, острая форма лучевой болезни) и отдаленные (новообразования, мутации и т. д.).

## Механизм взаимодействия радиации с биологической тканью

- физический этап –  $10^{-16}$  с
- радиационно-химический этап –  $10^{-13}$  с
- биологический (морфологический, физиологический) этап.

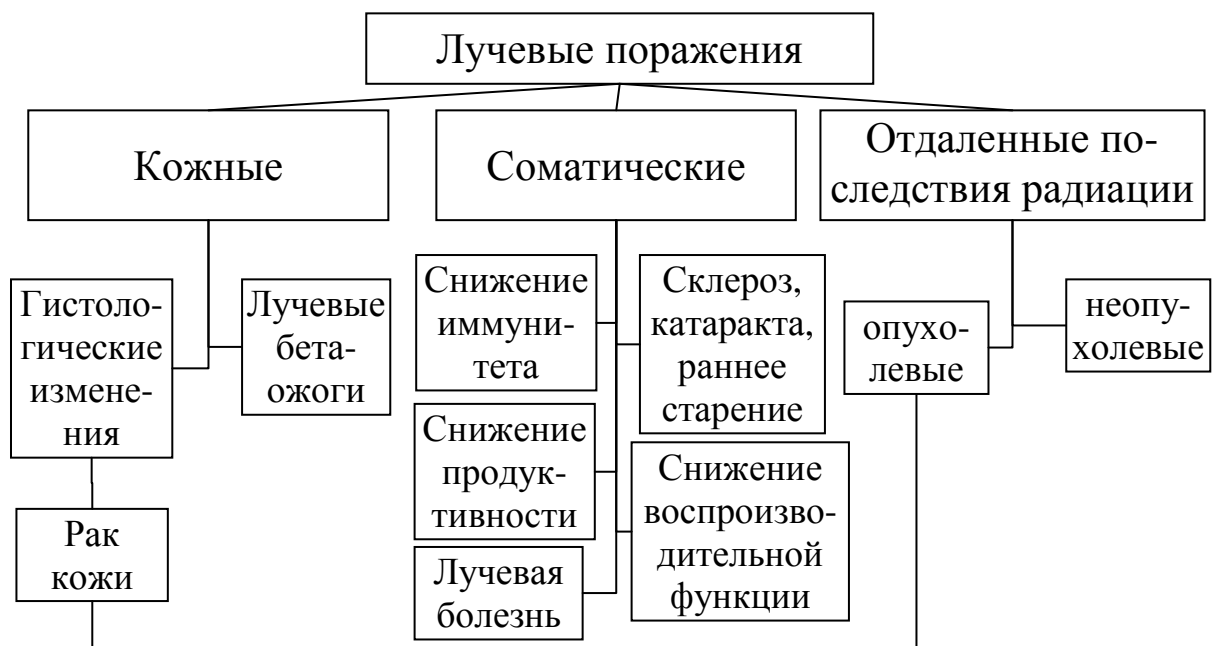


Рисунок 14 – Механизм взаимодействия ИИ с веществом

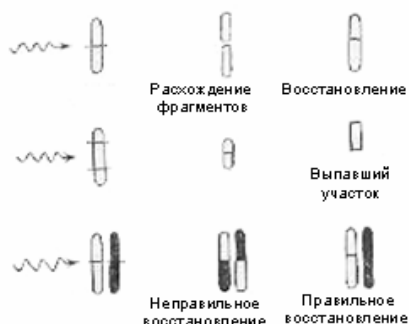
К неопухолевым поражениям относятся радиационный склероз, раннее старение организма, угнетение воспроизводительной функции, формирование реакции приспособления к стресс-факторам (вакцинация, нарушение технологии содержания), радиационный мутагенез (рисунок 14).

## Хромосомные поражения после рентгеновского облучения



Нерасхождение хромосом в метафазе и образование мостиков и фрагментов

### Разрывы и восстановление хромосом



Единый разрыв

Двойной разрыв

Разрыв двух хромосом

Рисунок 15 – Формирование лучевых поражений

Механизм развития радиационного поражения объясняет теория цепных каталитических реакций. С точки зрения этой теории становится понятен радиобиологический парадокс, а именно: несоответствие между минимальной величиной поглощенной энергии и тяжелой степенью поражения организма.

**Факторы, определяющие тяжесть лучевого поражения: физические и биологические.**

К физическим факторам относятся пространственно-временные характеристики облучения, мощность эквивалентной дозы (вид лучей, плотность ионизации). К биологическим – радиочувствительность (тканевая, индивидуальная, видовая).

**Радиочувствительность** – способность реагировать на радиацию.

Тканевая радиочувствительность определяется правилом Бергонье и Трибондо: «Радиочувствительность прямо пропорциональна скорости митотического деления клеток и обратно пропорциональна степени их дифференцированности».

К тканям особо радиочувствительным относятся: кроветворная, половые железы, слизистая. Средней радиочувствительностью обладают железы внутренней секреции и паренхиматозные органы. Повышенную резистентность отмечают у костной, хрящевой и нервной тканей. О нервной ткани следует сказать, что, обладая устойчивостью (радиорезистентностью) в гистологическом плане, в функциональном отношении поражается одной из первых.

Ответная реакция физиологических систем, определяемая радиочувствительностью ткани и органов, проявляются в виде симптомов и синдромов. При этом отмечена последовательность их развития.

Индивидуальная радиочувствительность зависит от возраста, пола, физиологического состояния организма, типа ВНД и других факторов, присущих индивидууму. Видо-

вая радиочувствительность обусловлена сложностью организации вида (ступень эволюции), эволюционной адаптацией и соотношением катехоламинов и сенсibilизаторов в организме.

## **Раздел 6. Токсикология радиоактивных веществ**

### **Содержание раздела**

Радиотоксикологическая характеристика наиболее опасных радиоактивных продуктов ядерного деления (стронция-90, цезия-134, цезия-137, йода-131, полония-210, плутония-239 и др.).

Классификация радионуклидов по их радиотоксичности. Закономерности метаболизма радионуклидов в организме животных. Источники, пути поступления и распределение радионуклидов в организме. Типы распределения: равномерный, ретикулоэндотелиальный, остеотропный, печеночный, почечный и тиреотропный. Понятие о критическом органе. Накопление радионуклидов в органах и тканях. Эффективный период полувыведения. Методы ускорения выведения радионуклидов из организма сельскохозяйственных животных при их хроническом поступлении.

Факторы, определяющие степень биологического действия инкорпорированных радионуклидов – доза, вид и энергия излучения, пути поступления и выведения из организма, тип распределения в организме, период полураспада и эффективный период полувыведения, растворимость и другие физико-химические и биологические свойства радиоактивного вещества.

### **Методические указания к изучению раздела**

!!! Под токсичностью радионуклида как источника внутреннего облучения понимают его поражающее действие в организме.

Классифицируют радионуклиды по их токсичности на основе степени выраженности биологического действия на следующие группы:

Группа А – радионуклиды особо высокой радиотоксичности:  $\text{Po}^{210}$ ,  $\text{Ra}^{226}$ ,  $\text{Th}^{230}$  и др.

Группа Б – высокой радиотоксичности:  $\text{I}^{131}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Th}^{234}$ ,  $\text{U}^{235}$ .

Группа В – средней радиотоксичности:  $\text{P}^{32}$ ,  $\text{S}^{35}$ ,  $\text{Cl}^{36}$ ,  $\text{Ca}^{45}$ ,  $\text{Sr}^{89}$ ,  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Fe}^{59}$  и др.

Группа Г – наименьшей радиотоксичности:  $\text{C}^{14}$ ,  $\text{Cr}^{57}$ ,  $\text{Fe}^{55}$ ,  $\text{Cu}^{64}$ ,  $\text{Hg}^{197}$  и др.

Поражающее действие (токсичность) радионуклида зависит от следующих факторов:

- физических – мощности дозы (временные характеристики), периода полураспада, вида лучей (альфа, бета, гамма) и энергии, а также их ионизирующей и проникающей способности;

- биологических – типа распределения в организме, критического органа, пути и скорости полувыведения из организма.

Организм человека и животных является последним звеном распространения радионуклидов по «пищевой» цепи в биосфере.

Радиотоксикология – наука, изучающая пути поступления искусственных радионуклидов в организм, распределение в организме и органах, депонирование в «критическом» органе и выведение из организма. Изучает биологические эффекты при внутреннем облучении, разрабатывает способы, ускоряющие выведение радионуклидов из организма.

Пути поступления – алиментарный, аэрогенный и кожный.

Если принять загрязнение организма при кожном за 1 условную единицу, то при аэрогенном будет в 1 000 раз больше, а при алиментарном – в 1 000 000 раз. При поступлении с кормом в пищеварительный тракт легкорастворимые ( $\text{I}^{131}$ ,  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ).

!!! Тип распределения радионуклидов, поступивших в кровь, зависит от их валентности. Являясь по сути нестабильными изотопами, они участвуют в обменных процессах также, как и их изотопные и неизотопные химические аналоги (элементы, обладающие одинаковой валентностью). Смотрите таблицу Д.И. Менделеева (приложение). Изотопным аналогом для стронция-90 является неизотопный кальций для цезия-137 – калий.

Депонирование радионуклида в том или ином органе определяется участием их стабильного химического аналога в обменных процессах этого органа.

«Критический» орган – орган, в котором более всего аккумулируется радионуклидов из-за его высокой тропности к ним, а следовательно, испытывающий наибольшую лучевую нагрузку.

Путь выведения радионуклидов: для легкорастворимых, быстро всасывающихся из ЖКТ в кровь и участвующих в обмене веществ – через почки. Труднорастворимые задерживаются в петлях толстого кишечника, выводятся в основном с калом. Моча и кал при этом становятся радиоактивными.

Способы, ограничивающие поступление радионуклидов с кормом и ускоряющие выведение из организма, основаны на принципе «конкуренции». Добавка в корм препаратов, содержащих стабильные химические аналоги радионуклидов, препятствует участию искусственных радионуклидов в обменных процессах органа и ускоряет выведение из организма. Для  $Sr-90^{+2}$  – это препараты  $Ca^{+2}$ ,  $Cs-137^{+}$  –  $K^{+}$ .

В процессе эволюции сложилось так, что приоритетное участие в обменных процессах имеют стабильные изотопы или естественные радионуклиды, на фоне которых зарождается жизнь.

Таблица 8 – Органы максимального накопления радионуклидов

Элемент		Распределение в организме	Масса органа или ткани, кг	Доля полной дозы
Водород	H	Все тело	70	1,0
Углерод	C	Все тело	70	1,0
Натрий	Na	Все тело	70	1,0
Калий	K	Мышечная ткань	30	0,92
Стронций	Sr	Кость	7	0,7
Йод	I	Щитовидная железа	0,2	0,2
Цезий	Cs	Мышечная ткань	30	0,45
Барий	Ba	Кость	7	0,96
Радий	Ra	Кость	7	0,99
Торий	Th	Кость	7	0,82
Уран	U	Почки	0,3	0,065
Плутоний	Pu	Кость	7	0,75

Таблица 9 – Накопление стронция 90 в трофических цепях небольшого озера

Ткани и органы	Sr90	Cs137	P32
Кости	180	84	5550
Чешуя	320	–	4040
Плавники	280	–	5350
Мышцы	14	615	1510
Жабры	62	–	1580
Печень	8	338	2790
Почки	16	648	2390

## Раздел 7. Лучевые поражения

### Содержание раздела

Лучевая болезнь, ее формы и степени; лучевая травма; генетические эффекты. Острая лучевая болезнь, вызванная внешним облучением, ее периоды и степени тяжести. Патогенез, клинические признаки, патологоанатомические изменения, диагноз, прогноз, лечение и профилактика лучевой

болезни у различных видов животных. Особенности клинической и патологоанатомической картины лучевой болезни при радиационных комбинированных и сочетанных лучевых поражениях. Особенности течения лучевой болезни у различных видов сельскохозяйственных животных. Хроническая лучевая болезнь. Особенности развития и течения заболевания. Диагноз, прогноз и исходы. Профилактика и лечение при хронической лучевой болезни.

Лучевые ожоги. Этиология, патогенез, клинические признаки и исходы лучевых ожогов. Отличительные признаки лучевых ожогов от термических и химических. Профилактика и лечение при лучевых ожогах. Генетические эффекты. Радиационный мутагенез. Возможные последствия мутаций в соматических клетках – лейкозы, рак, нарушения мутагенеза и др. Зависимость генетического эффекта от величины дозы излучения и распределения ее по областям тела и во времени. Действие ионизирующего излучения на зародыш, эмбрион и плод.

### **Методические указания к изучению раздела**

Лучевые поражения являются проявлением 3-го общепатологического этапа механизма развития радиационного поражения (см. раздел 5). По характеру проявления классифицируются как кожные (гистологические изменения, лучевые ожоги), соматические (снижение иммунитета, радиационный склероз, радиационная катаракта, нарушение воспроизводительной функции и т. д.) и отдаленные последствия радиации. Последние проявляются как опухолевые (рак кожи, щитовидной железы, легких, заболевания системы крови в виде разных форм лейкоза) и неопухолевые (мутации дистрофические и склеротические заболевания тканей).

Лучевая болезнь – это заболевание всего организма в целом. По своим характеристикам относится к внутренним незаразным болезням: имеет формы – острую и хроническую; периоды – первичных реакций, латентный, разгар клинических признаков, исход. Степени тяжести – легкая,



средняя, тяжелая, крайне тяжелая. Патогенез определяют токсемические факторы (радиотоксины), которые вызывают нарушение не только обменных процессов, но и деятельности ЦНС. Радиотоксины воздействуют на отделы головного мозга гуморальным и рефлекторным путями. При гуморальном механизме воздействуют непосредственно на нервные центры, а при рефлекторном – на хеморецепторы периферических сосудов.

Болезнь лучевая (ЛБ) – острое лучевое поражение, заболевание, вызванное большой (свыше 1 Гр) дозой проникающего излучения. Острая форма ЛБ возникает в результате однократного общего внешнего облучения ИИ в дозах, превышающих 1 Гр.

Болезнь лучевая острая костномозговой формы – болезнь, развивающаяся при дозах ИИ от 1 до 6 Гр, с поражением системы кровообращения, в первую очередь лимфатической ткани и костного мозга.

Различают легкую (1–2 Гр), среднюю (2–4 Гр), тяжелую (4–6 Гр) степени лучевой болезни острой костномозговой формы.

Болезнь лучевая острая переходной формы – заболевание с преимущественным поражением кишечника развивается при дозах 6–10 Гр. Специальное лечение может обеспечить восстановление организма.

Болезнь лучевая острая с преимущественным поражением ЖКТ развивается при дозах 10–20 Гр со смертельным исходом через 8–16 суток.

Болезнь лучевая острая токсемической формы – заболевание с вторичным поражением НС развивается у человека при дозах 20–80 Гр со смертельным исходом на 4–7 сутки при мозговой и менингеальной симптоматике, т. е. с признаками менингеального синдрома (повышение температуры тела, клонические судороги, нарушение координации движения и т. д.).

Болезнь лучевая острая церебральной формы (лат. *Cerebrum* – мозг) – заболевание с первичным поражением НС развивается при дозах ИИ свыше 80 Гр с коллапсом и судорогами, завершается смертью на 1–3 сутки.

Болезнь лучевая хроническая – форма лучевого поражения, развивается в результате продолжительного облучения организма в малых дозах (при интенсивности 0,1–0,5 Гр в сутки после суммарной дозы 0,7–1,0 Гр).

Смерть под лучом наступает в момент облучения ИИ в очень большой дозе (1000 Гр и выше) или в течение 30–50 минут после начала облучения. Причиной служат изменения состава и физико-химических свойств крови. Гибель происходит вследствие денатурации белка.

Особенности течения лучевой болезни у разных с.-х. животных.

Синдромы лучевой болезни: кровяной, геморрагический, кишечный, инфекционный, аутоаллергический.

Последовательность синдромов определяется тканевой радиочувствительностью, которая формирует ответную реакцию органов и физиологических систем.

Перестановка синдромов местами недопустима, так как это свидетельствует о непонимании логической последовательности проявления клинических признаков болезни. Лечение симптоматическое: общепринятыми препаратами и направлено на снижение выраженности симптомов.

### **Лучевая болезнь КРС**

1. Отказ от корма.
2. Жадно пьют воду.
3. Много лежат.
4. Появление на слизистой ротовой полости точечных и полосчатых кровоизлияний.
5. Дрожь.
6. Температура тела повышена на 1–20°С.
7. Отеки конечностей и подгрудка.

8. Животные горбятся в результате поражений ЖКТ и других внутренних органов.

9. Одышка, хрипы, кашель.

10. Тягучие выделения из носовых отверстий.

#### **Лучевая болезнь лошадей:**

1. Выраженное возбуждение и сильное беспокойство.

2. Повышение тактильной чувствительности.

3. Усиление тонов сердца и сердечного толчка.

4. Учащение пульса и дыхания.

5. Слезотечение.

6. У жеребцов и меринов выпадает половой член.

7. Отек препуция и мошонки.

8. Позывы на корм и воду отсутствуют.

9. Понос.

10. Появление запального желоба.

11. Хвостовой рефлекс ослаблен.

#### **Лучевая болезнь овец и коз:**

1. Угнетение, снижение аппетита.

2. Усиление перистальтики, понос.

3. Повышение температуры тела.

4. Резко ослабевают сердечная деятельность и тонус сосудов, тахикардия.

5. Болезненность кожи, местами выпадает шерсть.

6. Оголенные участки кожи гиперемированы, с точечными и диффузными кровоизлияниями.

7. Серозный ринит.

8. Животные лежат.

#### **Лучевая болезнь свиней:**

1. Возбуждение, сменяющееся общим угнетением.

2. Снижение аппетита.

3. Повышается тактильная чувствительность.

4. Одышка.

5. Слизистые оболочки бледные.
6. На коже, за ушами, в паху и на брюшине появляются кровоизлияния.
7. Кровотечение из ноздрей, ротовой полости, анального и вагинального отверстий.
8. Понос.
9. Примесь сгустков крови в кале.
10. Исхудание.

### **Лучевая болезнь кур:**

1. Дрожание головы, подолгу сидят в сонном состоянии.
2. Гребешки и сережки отекают.
3. Дыхание затруднено.
4. Серозное воспаление слизистых оболочек.
5. Помет приобретает зеленоватый цвет.
6. Снижается аппетит и яйценоскость.
7. Повышается смертность эмбрионов.
8. Уменьшается масса тела.

## **Раздел 8. Основы радиэкологии**

### **Содержание раздела**

Радиэкология и ее задачи. Источники поступления радионуклидов во внешнюю среду. Физико-химическое состояние радионуклидов в воде, почвах, кормах, органах и тканях животных.

Миграция радионуклидов по биологическим цепочкам: почва – растения – животное – продукты животноводства, растениеводства – человек. Переход радионуклидов в продукцию животноводства. Особенности накопления радионуклидов в продукции рыбоводства, пчеловодства, звероводства и промысловых животных.

## Методические указания к изучению раздела

Радиоэкология изучает процессы и явления возникающие в биосфере в результате поступления в окружающую среду радионуклидов. В своем становлении как науки радиоэкология прошла 3 этапа.

Первый этап: 1930–1945 гг. В 30 годы XX столетия В.И. Вернадский и его школа геофизиков изучали распространение естественных радионуклидов в биогеоценозах.

Второй этап: 1945–1995 гг. Изучаются процессы и явления, происходящие в биосфере в результате распространения искусственных радионуклидов.

Третий этап: с 1995 г. и по настоящее время (современный этап). Изучается действие малых доз радиации на организм и последствий использования атома в мирных целях.

От радиоэкологии в середине XX столетия отпочковалась сельскохозяйственная радиоэкология. Это наука изучает закономерности миграции радионуклидов по биологическим цепям в агропромышленной сфере и действие радиации на сельскохозяйственные растения и животных.

В биосфере постоянно происходит перемещение (миграция) радионуклидов. По происхождению миграции радионуклидов разделяют на:

*природные* – при наводнениях, разливах рек, приливах и отливах морей озер и океанов, сезонные миграции животных, планктона, при землетрясениях, пожарах, песчаных и снежных бурях, дождях и др.;

*техногенные* (антропогенные) – при взрывах ядерных боеприпасов, авариях на АЭС, добыче урана, каменного угля, заготовке древесины на загрязненных территориях, минеральных удобрений, добыче и переработке нефти.

В результате испытания атомных бомб, аварий на промышленных предприятиях и атомных электростанциях образуется радиоактивное облако (РО). Оно состоит из радиоактивной пыли, поднимаемого с земли грунта и конденсирующихся водяных паров с наведенной радиоактивностью,

радиоактивной смеси продуктов деления ядерного и термоядерного заряда. РО может иметь радиус в несколько десятков километров и перемещаться по направления воздушных потоков на сотни и тысячи километров. По ходу радиоактивного облака выпадают осадки, образуя ядерный след. Радиоактивные осадки по содержанию радионуклидов, отличающихся по массе, периоду полураспада и дальности распространения подразделяются на первичные, вторичные и глобальные.

Первичные осадки состоят из тяжелых крупных частиц (конгломератов), оседают с пылью или дождем на расстоянии до нескольких сотен километров. Вторичные осадки состоят из более мелких образований радионуклидов, поднимаются на несколько километров в средние слои атмосферы и относятся воздушными течениями от места взрыва на сотни и тысячи километров. Поздние (глобальные) осадки состоят из пылевидных частиц, поднимаются в верхние слои атмосферы и с потоков воздуха циркулируют в течение 5–6 лет, выпадая в любой точке планеты. Следовательно, радиоактивное загрязнение носит не локальный, а глобальный характер.

Миграция радионуклидов.

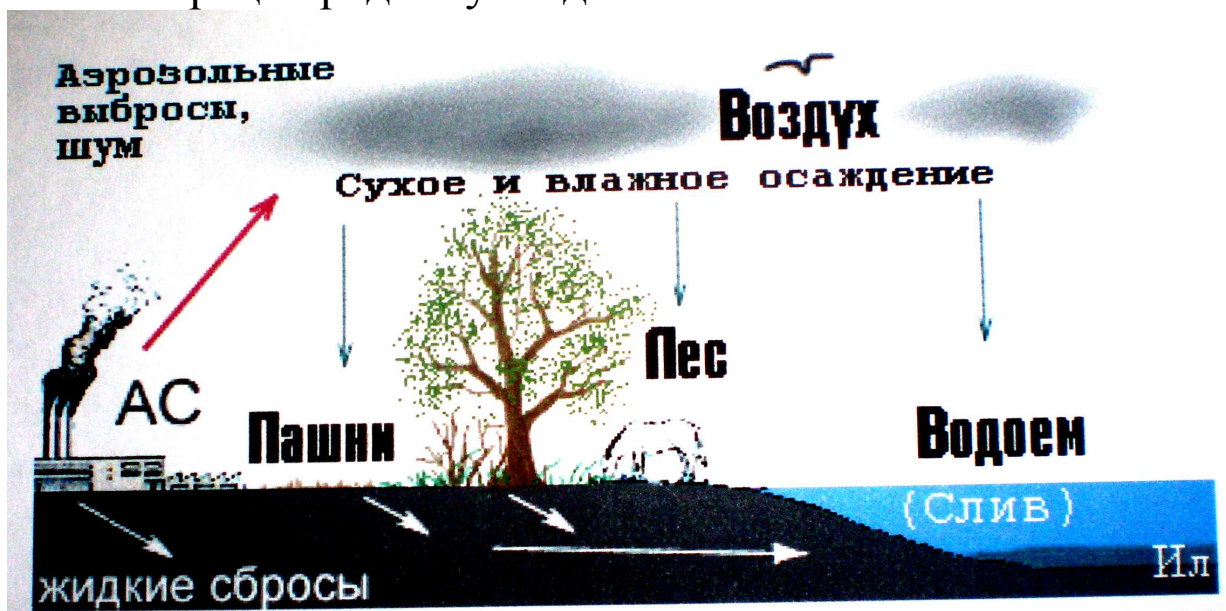


Рисунок 16 – Миграция радионуклидов в биосфере: первичные, вторичные и глобальные облака

Загрязнение водоемов, почвы дает начало распространения радионуклидов по пищевой (биологической) цепи.

*Пищевая цепь* – это распространение вещества и энергии между звеньями биогеоценоза, представляющие различные трофические уровни.

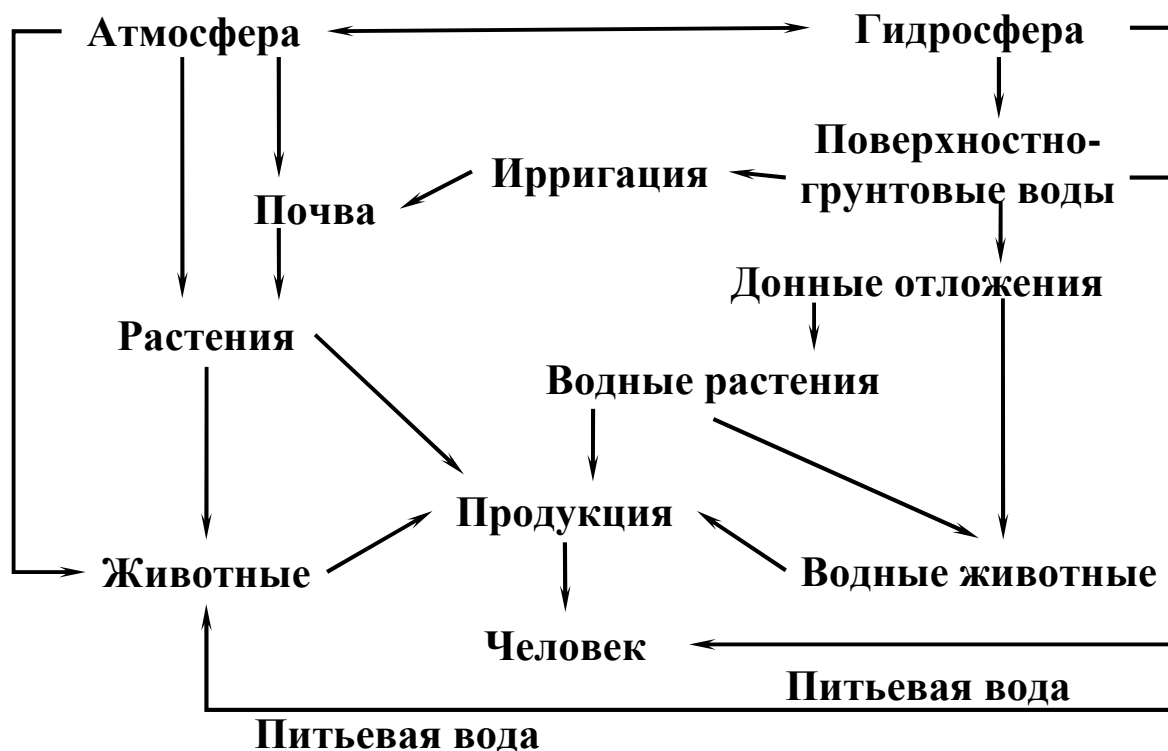


Рисунок 17 – Миграция радионуклидов по «пищевой» цепи

В качестве примера можно рассмотреть кратность накопления радионуклидов в организмах водных животных и растениях небольшого пресного водоема.

На распространение радионуклидов по «пищевым» цепям влияет физико-химическое состояние радионуклидов в почве, содержание в ней стабильных изотопов (химических аналогов), свойства почвы, коэффициенты накопления, биологические особенности растений, агротехника возделывания культур.

Поведение радионуклидов в почве зависит от ее механического и минералогического состава (легкая, тяжелая), сорбционных свойств.

По поглотительной способности почвы располагаются в следующем порядке: чернозем > каштановая > дерново-подзолистая > суглинистая > дерново-подзолистая супесчаная. Но, независимо от типа почвы, бо́льшая часть выпавших радионуклидов задерживается в верхних слоях до 10 см в течение 5–6 лет. Глинистые почвы прочнее удерживают радионуклиды, песчаные – менее. Илистые фракции прочно удерживают  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$ , при этом в черноземной почве в большей степени, чем в дерново-подзолистой. Причем  $\text{Sr}^{90}$  более подвижен, чем  $\text{Cs}^{137}$ .

Миграция радионуклидов зависит от типа минералов почвы: гидрослюды прочнее фиксируют  $\text{Cs}^{137}$ , а бентонит, гумбрин –  $\text{Sr}^{90}$ . Старение и частичная кристаллизация коллоидов почвы приводит к тому, что уже через год после выпадения усвоение растениями  $\text{Cs}^{137}$  уменьшается более чем в 3 раза, на 3-й год – в 5 раз, а  $\text{Sr}^{90}$  только лишь на 20–30%. Это объясняется тем, что  $\text{Cs}^{137}$  входит в кристаллические решетки минералов, а  $\text{Sr}^{90}$  находится в виде ионов.

На подвижность влияет также содержание гумуса: с одной стороны, он концентрирует радионуклиды в слое до 1 см, с другой, способствует переходу радионуклидов в растворимое состояние, тем самым ускоряя их миграцию по вертикальному профилю. Гуминовые кислоты тормозят переход в растения.

Каждый из радионуклидов присутствует в почве в водорастворимой, обменной и необменной формах. На миграцию радионуклидов влияет наличие в почве природных изотопных и неизотопных носителей, концентрация последних даже в большей степени.

Так, 74%  $\text{Sr}^{90}$  в глобальных выпадениях находится в водорастворимой форме, что на 98% определяет его подвижность в почве. Количество водорастворимого стронция больше в почве с низким рН и минимальным содержанием обменного  $\text{Ca}^{+2}$ . Подвижность  $\text{Sr}^{90}$  уменьшает присутствие  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  за счет ионного обмена.



Цезий-137 в глобальных выпадениях лишь на 45% находится в водорастворимой форме. В почве основная часть его сорбируется и лишь 1% может переходить в водную вытяжку.

Физико-химические свойства почвы: pH, кислотность. Повышение кислотности ускоряет переход в растения. Увеличение карбонатности снижает переход в растения  $Sr^{90}$  в 3 раза, а  $Cs^{137}$  увеличивает в 4 раза.

На распространение радионуклидов в почве влияют ее микроорганизмы. Они поглощают радионуклиды, включают их в свои обменные процессы, меняя форму радионуклидов, выводят их в почву в виде ионов или соединений с органическими веществами.

Переход радионуклидов из почвы в растения определяется не только вышеназванными, но и биологическими факторами, характеризующих данный вид растений.

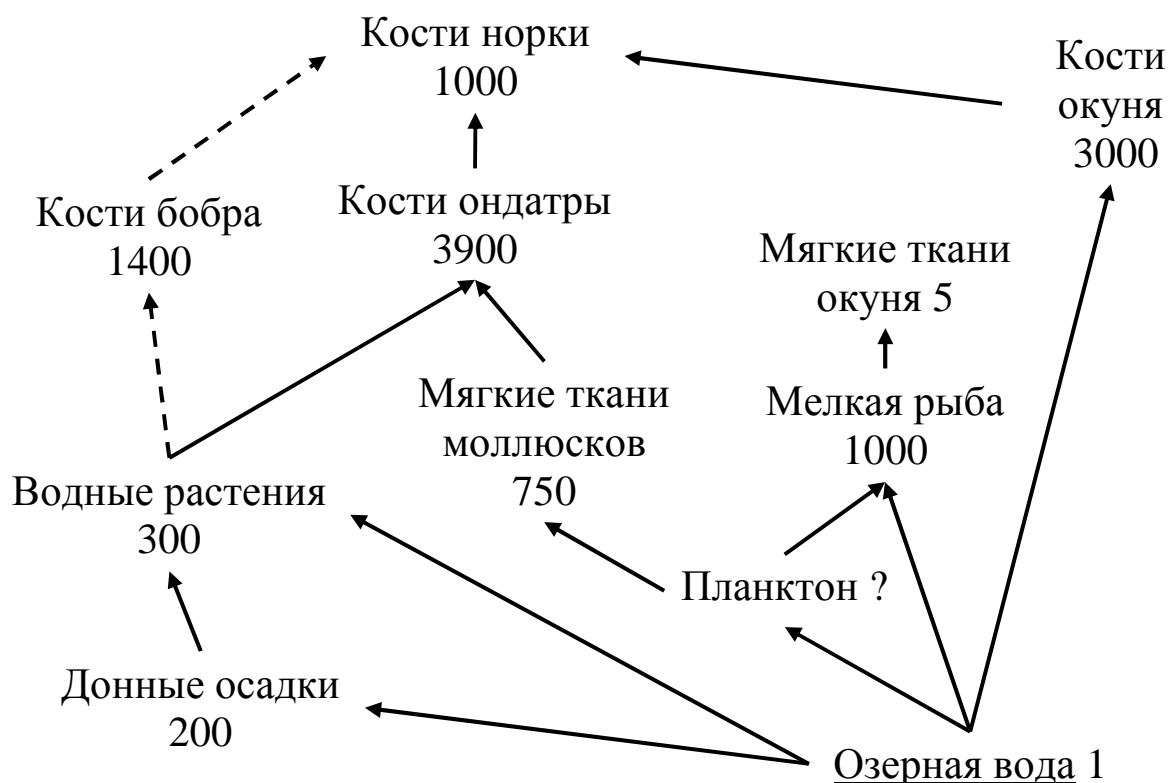


Рисунок 18 – Кратность накопления концентрация  $Sr^{90}$ ,  $Cs^{137}$  и  $P^{32}$  в органах пресноводной рыбы

Особенность перехода радионуклидов между звеньями пищевой цепи определяется коэффициентами дискриминации или отличительности. Он рассчитывается по формулам:

$$КД \quad Sr_{90} = \frac{\left(\frac{Sr_{90}}{Ca}\right)_{проба}}{\left(\frac{Sr_{90}}{Ca}\right)_{предшественник}} \quad КД \quad Cs_{137} = \frac{\left(\frac{Cs_{137}}{K}\right)_{проба}}{\left(\frac{Cs_{137}}{K}\right)_{предшественники}} .$$

Величина рассчитываемого коэффициента при наличии дискриминации радиостронция или радиоцезия в пользу соответственно кальция или калия меньше единицы. Если он больше единицы, то это свидетельствует о накоплении радионуклидов в каждом последующем звене биологической цепи.

## **Раздел 9. Прогнозирование и нормирование поступления радионуклидов в корма, организм животных и продукцию животноводства**

### **Содержание раздела**

Прогнозирование поступления радионуклидов в корма и продукцию животноводства. Нормирование поступления радионуклидов в корма, организм и продукцию с.-х. животных. Предельно допустимые концентрации (уровни) радионуклидов в кормах для продуктивных животных, в продуктах и сырье животного и растительного происхождения. Предельно допустимые уровни загрязнения радиоактивными веществами кожных покровов животных, поверхностей рабочих помещений и транспортных средств.

### **Методические указания к изучению раздела**

Прогнозирование поступления радионуклидов в продукцию растениеводства в случае загрязнения радионукли-

дами территорий – необходимое мероприятие для снижения содержания радионуклидов до безопасных уровней.

Прогнозы разделяют на краткосрочные и длительные, предварительные и заключительные. На начальном этапе после радиоактивного загрязнения делают предварительные краткосрочные прогнозы. Они являются ориентировочными, позволяют принять меры безопасности для населения и с.-х. животных.

После уточнения радиационной обстановки делают долгосрочный прогноз – разрабатывают технологию ведения растениеводства и животноводства на зараженной местности. Подбирают культуры для очищения почвы или с учетом плотности загрязнения почвы определяют цели, на которые может быть использован полученный урожай (продовольственные, технические, фураж, промышленная переработка). Например, бобовые с высоким коэффициентом накопления радионуклидов используют для очищения почвы от радионуклидов.

Необходимо определить изотопный состав радионуклидов, знать особенности распространения их по пищевой цепи, что обусловлено коэффициентом накопления растениями, а также коэффициентами перехода в корма и организм животных.

Для организации мероприятий по дезактивации почвы необходимо учитывать особенности поведения изотопов в почве. На необрабатываемых землях радионуклиды находятся на глубине 10–15 см гумусовых горизонтов, т. е. там, где расположена основная масса корней растений. На пахотных почвах радионуклиды распределены по всей глубине пахотного слоя.

Следует учитывать и рельеф местности. На склонах происходит перераспределение радионуклидов за счет ветровой и водной эрозий. Доступность растениям Cs-137 с течением времени снижается, а Sr-90 повышается. Это обусловлено тем, что Cs-137 (70–80%) находится в прочносвя-

занной форме – углах кристаллической решетки. Стронций-90 находится в легко доступной для растений водорастворимой и обменной форме. При одинаковой плотности загрязнения почв переход Sr-90 из почвы в растения в 10 раз выше, чем Cs-137 (см. раздел 8).

Особенности поведения радионуклидов в почве определили методы ее дезактивации: агротехнологический и агрохимический. К агротехнологическим относятся: увеличение глубины вспашки на 20–30 см, орошение почвы, и т. д. К агрохимическим – добавка в почву «конкурентов» Sr<sup>90</sup> и Cs<sup>137</sup> в виде минерализации почвы, внесения минеральных и органических удобрений.

Нормирование, поступление и накопление искусственных радионуклидов в продукции с.-х. животных обусловлено нормами поступления в организм человека. Животные могут перенести большую лучевую нагрузку и загрязненность радионуклидами, чем человек. Переход радионуклидов из кормов в продукцию животноводства зависит от формы и состояния их в растениях, длительности поступления в организм животных, уровня обменных процессов, физиологического состояния, типа питания, состава рациона, его сбалансированности по минеральным веществам и продуктивности животных. Допустимые нормы содержания искусственных радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, кормах изложены в следующих документах: «Нормы радиационной безопасности НРБ-99» и «Санитарные правила и нормы Сан ПиН».

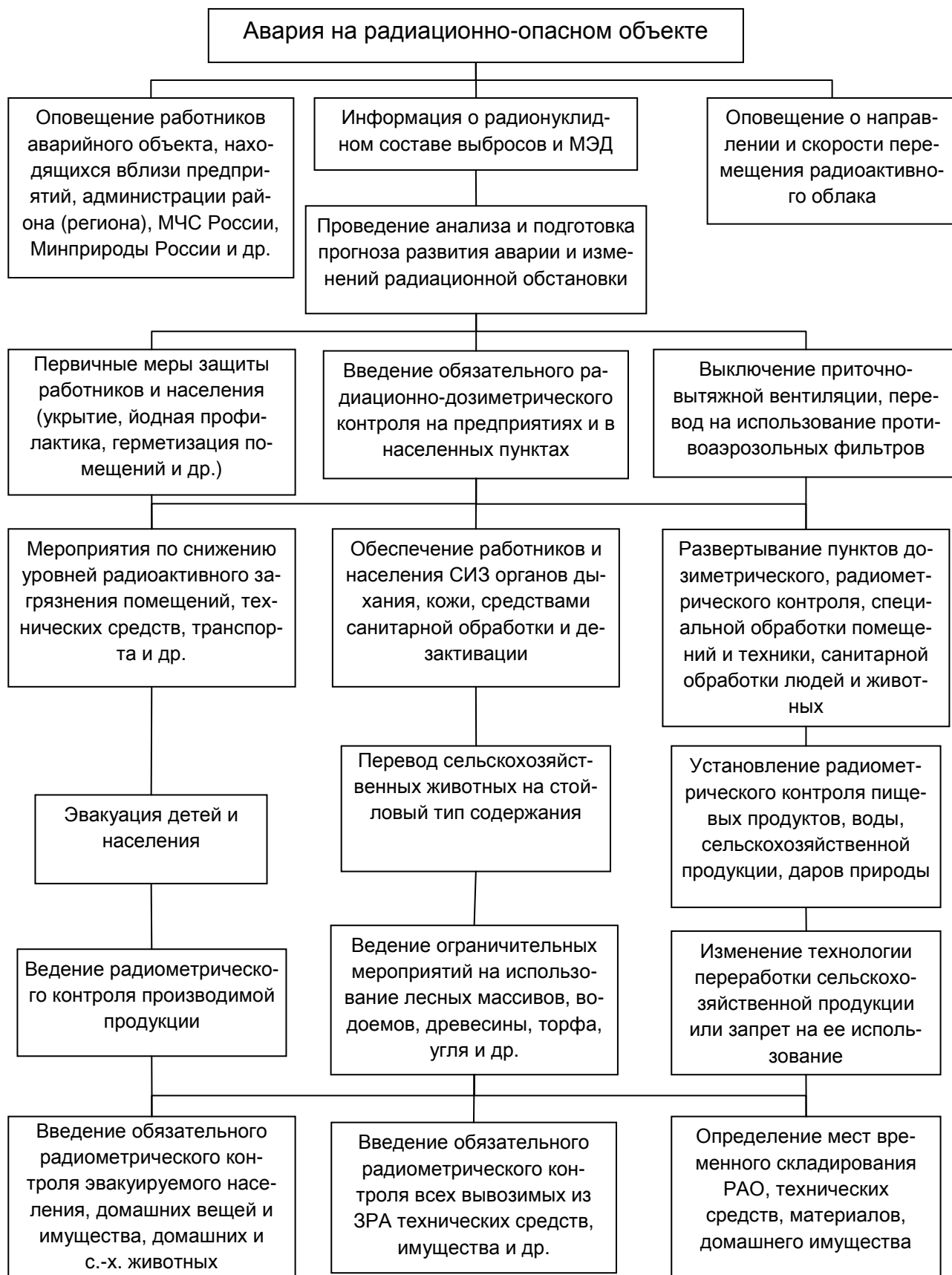
МЭД – мощность эквивалентной дозы;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ЗРА – зона радиационной аварии;

РАО – радиоактивные отходы.

# Алгоритм действий в период радиационной аварии (по Л.А. Ильину, В.Ф. Кириллову, И.П. Коренкову, 1996)



## **Раздел 10. Режим питания и содержания животных при радиоактивном загрязнении среды**

### **Содержание раздела**

Организация и ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения. Использование кормов, кормовых угодий, животных и продукции животноводства, загрязненных радионуклидами. Организация и проведение мероприятий, направленных на снижение поступления радионуклидов в сельскохозяйственные растения и продукцию животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды. Технологические способы переработки загрязненной радионуклидами животноводческой продукции.

### **Методические указания к изучению раздела**

В условиях радиоактивного загрязнения территорию подразделяют на 4 зоны в зависимости от степени загрязнения  $Cs^{137}$  Бк/км<sup>2</sup> и  $Sr^{90}$  Бк/км<sup>2</sup>. В каждой зоне проводят дозиметрический и радиометрический контроль: плановый периодический и сплошной. Радиационная ситуация определяет технологию содержания и кормления животных. Растения с низким коэффициентом накопления радионуклидов (кукуруза, топинамбур, зерновые) остаются практически чистыми и используются в кормлении животных. Методы, ограничивающие распространение радионуклидов по «пищевой» цепи, основаны на принципе конкурентности (применение удобрений, минеральных подкормок). Зная физико-химическое состояние радионуклидов в почве, ее механический состав, применяют соответствующие агротехнические мероприятия (раздел 9).

Методы дезактивации сельскохозяйственной продукции: механический, технологический и разбавления. При поверхностном загрязнении растений и животных применяют механический метод (мытьё, чистка). При корневом

поступлении радионуклидов в растения происходит их структурное загрязнение. Когда радионуклиды вступают в обмен веществ растительного или животного организма механический метод неэффективен. В этом случае применяют методы: технологический и разбавления.

В первом случае подбирается такая технология переработки сырья, чтобы на каждом ее этапе продукция очищалась от радионуклидов. Например, «грязное» цельное молоко через ряд промежуточных этапов переводят в чистое топленое сливочное масло, создавая условия для длительного хранения.

Разбавление проводят следующим образом: берут одну часть грязной продукции и разбавляют в десяти частях чистой продукции (1:10).

## **Раздел 11. Радиационная экспертиза и радиологический мониторинг объектов ветеринарно-санитарного надзора**

### **Содержание раздела**

Система и методы радиологического контроля. Положение о системе государственного ветеринарного контроля Российской Федерации. Основные принципы организации радиологического контроля в ветеринарии. Методы радиологического контроля. Цели и задачи ветеринарной радиометрической экспертизы объектов ветнадзора. Последовательные этапы ее выполнения. Объекты исследования, правила отбора и пересылки проб. Экспрессные и лабораторные методы радиационной экспертизы.

Разновидности экспрессных методов. Измерение суммарной бета-активности. Экспрессные методы определения стронция-90, цезия-137 и йода-131. Экспрессные методы измерения радиоактивности по гамма-излучению. Экспресс-метод радиационного контроля на продовольственных рын-

ках. Прижизненный радиационный контроль. Оценка данных радиометрического контроля.

Ветеринарная радиохимическая экспертиза, ее цели и задачи. Принципы радиохимического анализа при определении активности объектов ветнадзора по содержанию стронция-90, цезия-137 и йода-131, свинца-210, полония-210. Спектрометрические методы радиационной экспертизы, их классификация (альфа-, бета-, гамма-, спектрометрические методы), физические основы этих методов, достоинства, преимущества, пути преодоления возможных ошибок измерения. Особенности проведения полевой спектрометрии.

### **Методические указания к изучению раздела**

Основные принципы организации радиологического контроля в ветеринарии, методы радиологического контроля, должностная инструкция ветврача-радиолога, штат радиологического отдела и группы, оснащенность приборами изложены в документе «Положение о системе государственного ветеринарного контроля радиоактивного загрязнения объектов ветеринарного надзора в Российской Федерации», изданном Департаментом ветеринарии в 1998 г.

Радиологические отделы проводят радиометрические и дозиметрические измерения. Радиометрические методы бывают экспрессными (предварительная подготовка пробы заключается только в ее измельчении) и по зольному остатку (проба предварительно сжигается до исчезновения органического вещества и озоляется в муфельной печи при температуре 200°C).

Радиометрический контроль бывает плановый и внеплановый. Плановый контроль в зависимости от радиационной обстановки на территории подразделяют на периодический и сплошной. Для проведения планового периодического контроля край или область делят не менее чем на 7 зон. В каждой зоне Департаментом ветеринарии назначаются контрольные точки – это хозяйства, куда ежекварталь-



но приезжают сотрудники радиологического отдела для отбора проб объектов ветеринарного надзора. В каждой партии корма методом «конверта» отбирают точечную пробу массой в 1 кг; чем больше партия, тем больше точечных проб. Точечные пробы тщательно смешивают, образуя объединенную. Из объединенной пробы отбирают среднюю. Масса образца определяется с учетом коэффициента озоления при проведении радиоэкспертизы.

В случае аварийной ситуации параллельно с периодическим контролем проводят сплошной. Он проводится не только в контрольных точках, а во всех хозяйствах и предприятиях, производящих и перерабатывающих животноводческую продукцию, а также на территории, куда вывозится продукция из зараженной местности.

Этапы проведения радиометрического контроля: отбор проб, транспортировка в радиометрический отдел, подготовка проб к радиометрированию, непосредственно радиометрирование.

Все этапы радиометрического контроля документируются.

## **Раздел 12. Использование радиоактивных изотопов, радионуклидных методов и радиационной биотехнологии в животноводстве и ветеринарии**

### **Содержание раздела**

Применение радионуклидных методов при исследовании функционального состояния органов и систем организма, изучении обмена веществ у животных, фармакодинамики лекарственных веществ. Использование радиоизотопных методов в токсикологии, физиологии, патофизиологии, терапии, хирургии, акушерстве, паразитологии, микробиологии и т. д. Метод автордиографии. Использование радио-

иммунологического анализа для ранней диагностики стельности коров, выявления нарушений функций репродуктивных органов у животных, оценки функциональной активности эндокринных желез: щитовидной, поджелудочной, гипофиза и надпочечников, диагностика вирусных инфекций.

Использование радиационной технологии в растениеводстве и животноводстве с целью стимуляции роста, развития и повышения продуктивности животных, изменения наследственных свойств организма. Возможности применения радиационной биотехнологии при производстве кормов и кормовых добавок; для обработки готовой продукции животноводства с целью удлинения сроков хранения и обеззараживания кожевенного сырья, шерсти, тары, навоза; для уничтожения вредных насекомых для получения вакцин. Использование радиационной технологии в диагностике болезней, терапии, в биологической промышленности и других отраслях народного хозяйства.

### **Методические указания к изучению раздела**

Радиоизотопы применяют как индикаторы (меченые атомы) в исследовательских работах по физиологии, биохимии животных и растений. Этот метод позволяет проследить участие органов в обменных процессах, поведение любого вещества в организме. Для этого в исследуемое вещество вводят метку – радиоактивный изотоп, который в организме прослеживается так же, как и его стабильной аналог. Затем проводят убой животного и определяют радиоактивность органа. С помощью дозиметрических приборов можно провести и прижизненное исследование органа.

Биологическое действие ионизирующей радиации зависит от мощности дозы и радиочувствительности облучаемого организма. Радиация может оказывать действие: стимулирующее, ингибирующее, мутагенное и летальное на организм растений, животных и человека. Многообразие ее действия делает возможным применение ионизирующего

излучения в медицине, ветеринарии, животноводстве, биотехнологии.

Радиоиммунологический метод позволяет определить содержание вещества вне организма с использованием радиоактивного вещества. Метод основан на классической иммунологической реакции антиген – антитело.

Применяют:

- для оценки функционального состояния желез внутренней секреции;

- для ранней диагностики стельности животных, что позволяет осеменить корову повторно уже на 3–4 сутки, а не через месяц;

- для прогнозирования молочной и мясной продуктивности КРС, рабочих качеств лошадей;

- для изучения патогенеза лучевой болезни, лейкоза и других патологий;

- для диагностики бешенства и других вирусных инфекций.

Метод автографии – получение фотографических изображений в результате действия на фотоэмульсию излучений радиоизотопов, находящихся в исследуемом объекте. Вводя в организм изотопы с разным периодом полураспада,  $P^{32}$  и  $Ca^{45}$  (стабильные изотопы этих элементов участвуют в построении костных тканей), можно получить снимки от излучения в разное время. Это позволяет проследить процесс формирования костной ткани в динамике, в частности после перелома.

Диагностика радиоизотопная – (diagnostikos – способный распознавать) – распознавание патологических изменений отдельных органов и систем с помощью методов радиоизотопного исследования. Основана на регистрации и измерении излучений от введенных в организм радиофармацевтических препаратов или радиометрии биологических проб и служит для изучения обмена веществ, функций ор-

ганов и систем, скорости движения крови, лимфы, обмена газов и др.

Радиоиндикация – способ изучения функции и строения органов и систем живого организма путем наблюдения за изменением введенных в него радиоактивных изотопов и меченных ими соединений.

Радиационная стерилизация – полное уничтожение микроорганизмов в облучаемом материале, пищевых продуктах питьевой воде, перевязочных и шовных материалах, кожевенном сырье, шерсти и др. Используют в основном гамма-излучения при обработке поверхности бета-излучением. На этом методе основана борьба с вредителями сельскохозяйственных растений животных и их продукции (путем облучения мясных туш, консервируемых продуктов), половой стерилизации насекомых (самцов) в лаборатории с последующим рассеиванием их с самолетов на обширной территории (в результате не происходит оплодотворения отложенных яиц, что приводит к сокращению популяции насекомых).

## **КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ**

Контрольная работа выполняется в виде письменного ответа на указанные в индивидуальном задании вопросы. Вопросы определяются по номеру в списке группы. На вопросы отвечать по существу и конкретно. Сначала прочитайте методические указания к разделу, тем самым поймете ключевые моменты темы. Более подробную информацию найдете в учебниках и пособии для самостоятельной работы.

Объем контрольной работы не должен превышать 12 страниц рукописного текста.

## **Вопросы для выполнения контрольной работы:**

### **I. Физические основы сельскохозяйственной радиобиологии**

1. Краткая история развития радиобиологии.
2. Структура и функции подразделений радиологической службы.
3. Дозиметрия и радиометрия. Предмет и задачи.
4. Явление изотопии. Определение понятия «изотоп». Стабильные и радиоактивные изотопы.
5. Строение атома. Процесс ионизации.
6. Строение ядра. «Капельная» модель ядра. Причины неустойчивости ядра.
7. Причины распада ядра. Типы распадов ( $\alpha$ ,  $\beta$ -распады, ядерное деление).
8. Закон радиоактивного распада.
9. Классификация радиации по природе. Характеристики радиации.
10. Свойства радиации. Полная и удельная ионизация и факторы, ее определяющие.
11. Ядерные превращения (распады и ядерные реакции).
12. Взаимодействие  $\alpha$ -излучения с веществом.
13. Взаимодействие  $\beta$ -излучения с веществом.
14. Взаимодействие нейтронного излучения с веществом.
15. Взаимодействие электромагнитного  $\gamma$ -излучения с веществом.
16. Явление радиоактивности. Единицы измерения.
17. Понятие об искусственной радиоактивности.
18. Факторы, определяющие радиоактивность: постоянная распада, период полураспада (см. Закон радиоактивного распада).
19. Экспозиционная доза излучения.
20. Поглощенная доза излучения и факторы, ее определяющие.

21. Эквивалентная доза излучения и факторы, ее определяющие.
22. Виды радиометрического контроля.
23. Проведение планового периодического контроля.
24. Этапы радиометрического контроля, отбор проб.
25. Понятие суммарной радиоактивности. Необходимость определения изотопного состава проб.

## **II. Радиационные поражения**

1. Пространственно-временные характеристики внешнего облучения.
2. Механизм развития лучевого поражения.
3. Физический этап развития лучевого поражения.
4. Радиационно-химический этап развития лучевого поражения.
5. Общебиологический этап развития лучевого поражения. Классификация лучевых поражений.
6. Факторы, определяющие тяжесть лучевого поражения.
7. Понятие о радиочувствительности. Классификация радиочувствительности.
8. Тканевая радиочувствительность. Правило Бергонье – Трибондо.
9. Индивидуальная радиочувствительность и факторы, ее определяющие.
10. Видовая радиочувствительность. Теории, ее объясняющие.
11. Кожные поражения. Лучевые  $\beta$ -ожоги.
12. Соматические поражения.
13. Формы лучевой болезни, их этиологический фактор.
14. Периоды лучевой болезни; факторы, определяющие их продолжительность и степень тяжести.
15. Синдромы лучевой болезни. Фактор, определяющий последовательность их проявления.
16. Профилактика и лечение лучевой болезни.

17. Отдаленные последствия радиации (опухолевые, неопухолевые).
18. Влияние радиации на иммунитет.
19. Влияние радиации на наследственность. Радиационный мутагенез.
20. Патогенез острой формы лучевой болезни.
21. Особенности течения хронической формы лучевой болезни.
22. Влияние внешнего и внутреннего облучения на продуктивность животных.
23. Действие ионизирующего излучения на зародыш, эмбрион, плод и потомство.
24. Использование радиационной стимуляции для повышения хозяйственно-полезных качеств животных.
25. Факторы, снижающие действие радиации на организм.

### **III. Радиотоксикология**

1. Радиотоксикология. Предмет и задачи.
2. Пути поступления радионуклидов в организм животных.
3. Понятие о «пищевой» цепи распространения радионуклидов.
4. Типы распределения радионуклидов в организме.
5. Депонирование радионуклидов в организме. Принцип конкурентности.
6. Понятие о «критическом» органе.
7. Период биологического полувыведения радионуклидов из организма.
8. Особенности радиационного поражения при внутреннем облучении.
9. Факторы, ускоряющие выведение радионуклидов из организма.
10. Поступление радионуклидов в продукцию животноводства.
11. Что понимают под токсичностью радионуклида? Факторы, ее определяющие.

12. Радиотоксикологическая характеристика йода-131, 129.
13. Радиотоксикологическая характеристика цезия-137, 134.
14. Радиотоксикологическая характеристика стронция-90.
15. Определите отличия в строении ядра стронция-90 и стронция-88, цезия-137 и цезия-133, йода-131 и йода-127. По какому физическому свойству они отличаются?
16. Пути выведения радионуклидов из организма.
17. Методы дезактивации сельскохозяйственной продукции.
18. Мероприятия, ограничивающие распространение радионуклидов на этапе корм-животное. Как используется в данном случае принцип «конкурентности»?
19. Снижение усвоения изотопов йод-131.
20. Снижение усвоения изотопов стронция-90.
21. Снижение усвоения изотопов цезия-137.
22. Дезактивация молочных продуктов.
23. Дезактивация мясных продуктов.
24. Методы дезактивации сельскохозяйственной продукции при внекорневом и корневом загрязнении растений радионуклидами.
25. Как влияют химические свойства (растворимость, валентность) на поведение радионуклидов в организме?

#### **IV. Радиоэкология**

1. Сельскохозяйственная радиоэкология (кратко по истории развития науки), предмет, задачи.
2. Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды.
3. Понятие о «пищевой» цепи распространения радионуклидов. Коэффициент дискриминации.
4. Мероприятия, ограничивающие распространение радионуклидов по «пищевой» цепи. Принцип «конкурентности».
5. Естественные источники загрязнения окружающей среды.



6. Искусственные источники загрязнения окружающей среды.

7. Биологическая цепь распространения йода-131.

8. Биологическая цепь распространения цезия-137.

9. Естественный радиационный фон и его компоненты.

10. Техногенный радиационный фон.

11. Искусственный радиационный фон.

12. Естественные радиоактивные газы (радон, торон) и их действие на организм.

13. Биологическая цепь распространения стронция-90.

14. Состояние и формы радионуклидов в почве.

15. Влияние факторов почвы (механический состав, рН и др.) на поведение радионуклидов.

16. Снижение усвоения изотопов цезия-137.

17. Накопление радионуклидов растениями (указать коэффициенты накопления, факторы, их определяющие).

18. Снижение усвоения изотопов стронция-90.

19. Мероприятия по снижению перехода радионуклидов из кормов в продукцию животноводства.

20. Техногенные источники загрязнения окружающей среды.

21. Радиационный фон и его составляющие.

22. Миграция радионуклидов в биосфере (первичные, вторичные, глобальные осадки).

23. Радиоактивная загрязненность сельскохозяйственной продукции.

24. Формирование поглощенных доз при внешнем и внутреннем облучении.

25. Методы дезактивации сельскохозяйственной продукции.

## **V. Ведение животноводства на зараженной местности**

1. Содержание животных в условиях чрезвычайной радиационной ситуации.

2. Радиометрический контроль сельскохозяйственной продукции при радиоактивном заражении местности.
3. Плановый периодический радиометрический контроль.
4. Плановый сплошной радиометрический контроль.
5. Ведение животноводства на территории с разным уровнем радиоактивной загрязненности.
6. Дезактивация молочной продукции.
7. Дезактивация мясной продукции.
8. Методы дезактивации сельскохозяйственной продукции.
9. Мероприятия ветеринарной службы в период аварийной радиационной ситуации.
10. Источники образования высокого радиационного фона.
11. Прогнозирование радиационного загрязнения продукции животноводства.
12. Прогнозирование годового поступления радионуклидов в организм радионуклидов с сельскохозяйственной продукцией.
13. Дозиметрический контроль радиационного фона. Экспозиционная доза излучения.
14. Принцип работы дозиметрических и радиометрических приборов.
15. Процессы, происходящие в детекторах. Типы детекторов.
16. По какой дозе излучения прогнозируют тяжесть лучевого поражения.
17. Отличие поглощенной и эквивалентной дозы.
18. Миграция наиболее опасных радионуклидов в биосфере.
19. Отличительные особенности перехода цезия-137 и стронция-90 по «пищевым» цепям. Мероприятия, ограничивающие их распространение.
20. Проблема малых сверхфоновых доз радиации.
21. Применение ионизирующего излучения в ветеринарии и животноводстве.

22. Особенности проведения ветеринарных мероприятий в период интенсивного радиоактивного загрязнения.

23. Метод «меченых» изотопов. Его применение в биологической науке.

24. Система защитных и реабилитационных ветеринарных мероприятий на территории, загрязненной радионуклидами.

25. Снижение лучевой нагрузки на животных и человека в условиях радиационной аварии.

### **Вопросы к экзамену**

1. Структура радиологической службы и функции ее подразделений.

2. Сущность дозиметрического и радиометрического контроля.

3. Виды радиометрического контроля.

4. Проведение планового периодического контроля в Краснодарском крае.

5. Функции сотрудника радиологического отдела и радиологической группы.

6. Этапы радиометрического контроля, отбор проб.

7. Радиометрический контроль сельскохозяйственной продукции при радиоактивном заражении местности.

8. Дозиметрия и радиометрия. Предмет и задачи.

9. Явление изотопии. Определение понятия «изотоп». Стабильные и радиоактивные изотопы.

10. Строение ядра. «Капельная» модель строения ядра.

11. Причины нестабильности ядра. Ядерные силы сцепления.

12. Типы распадов (альфа-, бета-распад, деление ядра).

13. Закон радиоактивного распада.

14. Явление радиоактивности. Единицы измерения.

15. Факторы, определяющие радиоактивность (постоянная распада, период полураспада, количество радиоактивного вещества).

16. Ядерные превращения (распады и ядерные реакции). Искусственная радиоактивность.

17. Строение атома, процесс ионизации.

18. Классификация радиации по природе. Характеристики радиации.

19. Свойства радиации. Полная и удельная (плотность) ионизация и факторы, ее определяющие.

20. Экспозиционная и поглощенная дозы излучения. Единицы измерения.

21. Поглощенная доза излучения и факторы, его определяющие.

22. Эквивалентная доза излучения и факторы, его определяющие.

23. Отличие поглощенной и эквивалентной доз излучения.

24. Отличия в действии внешнего и внутреннего облучения.

25. Пространственно временные характеристика внешнего облучения.

26. Предмет и задачи радиотоксикологии.

27. Пути поступления радиоактивных веществ в организм животных.

28. Типы распределения радионуклидов в организме.

29. Понятие о «критическом» органе. Принцип конкурентности.

30. Токсичность радионуклида и факторы, его определяющие.

31. Период полывыведения радионуклидов из организма. Факторы, его определяющие.

32. Механизм развития лучевого поражения.

33. Физический этап взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

34. Радиационно-химический этап лучевого поражения, понятие о радиотоксинах.

35. Общебиологический этап развития лучевого поражения. Классификация лучевых поражений.

36. Реакция клетки на действие радиации. Механизмы гибели клетки.

37. Факторы, определяющие степень тяжести лучевого поражения

38. Радиочувствительность тканей. Правило Бергонье-Трибондо.

39. Индивидуальная радиочувствительность и факторы, ее определяющие.

40. Видовая радиочувствительность. Теории, ее объясняющие.

41. Формы лучевой болезни, их этиологический фактор. Периоды лучевой болезни.

42. Синдромы лучевой болезни. Фактор, определяющий последовательность их проявления.

43. Профилактика и лечение острой формы лучевой болезни.

44. Кожные поражения. Лучевые ожоги.

45. Отдаленные последствия радиации.

46. Особенности течения острой формы лучевой болезни у сельскохозяйственных животных разных видов.

47. Особенности течения хронической формы лучевой болезни.

48. Особенности биологического действия радиации. Эффекты радиации в зависимости от дозы.

49. Особенности радиационного поражения при внутреннем облучении.

50. Характеристика и биологическое действие радионуклидов- стронция-90, йода-131, цезия-137. Кормовые факторы, снижающие усвоение этих изотопов.

51. Методы дезактивации сельскохозяйственной продукции.

52. Дезактивация молочных продуктов.

53. Дезактивация мясных продуктов.

54. Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды.

55. Понятие о «пищевой» цепи распространения радионуклидов. Коэффициент дискриминации.

56. Мероприятия, ограничивающие распространения радионуклидов по пищевой цепи. Принцип «конкурентности».

57. Радиационный фон и его составляющие. Единицы измерения.

58. Естественный радиационный фон и его компоненты.

59. Ведение сельскохозяйственного производства на зараженной радионуклидами местности.

60. Применение ионизирующего излучения в животноводстве и ветеринарии.

61. Критерии деления оптического излучения на ионизирующее и неионизирующее.

62. Патоморфологические изменения в организме при лучевых поражениях.

## **Рекомендуемая литература**

### **Основная:**

1. Радиобиология: учебник / А.Д. Белов, В.А. Киршин, Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. - М.: Колос, 1999. - 384 с.

2. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных / под ред. профессора В.В. Бударкова и профессора А.С. Зенкина - М.: КолосС, 2008. - 350 с.
3. Практикум по радиобиологии / Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожкина, З.Г. Кусурова, С.В. Тимофеев. - М.: КолосС, 2007. - 399 с.

#### **Нормативная:**

1. Закон «О радиационной безопасности населения РФ», 1996 г.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 26.758-99 - М.: Минздрав РФ, 1999.

#### **Дополнительная:**

1. Алексахин Р.М. Проблемы радиоэкологии: Эволюция идей. Итоги. - М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006.
2. Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В., «Основы сельскохозяйственной радиологии» 1991.
3. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена, М. Медицина, 1999.
4. Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Экология животных в радиационном биогеоценозе, М. Наука, 1989.
5. Ильязов Р.Г. Экологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы для животноводства и пути их преодоления, Казань, ФЭН, 2002.
6. Киршин В.А. и др. Радиобиологические эффекты у животных, М. ,1999
7. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дозиметрии ионизирующих излучений, Зеленская Л.А., Радуль А.П. Краснодар, 2008, с. 54.
8. Пособие «Радиометрический контроль сельскохозяйственной продукции методы ее дезактивации». Зеленская Л.А., Радуль А.П. Краснодар, 2008. с. 38.

9. Пособие для самостоятельной работы по дисциплине «Радиобиология» Зеленская Л.А., Радуль А.П. Краснодар 2008, с 97.
10. Рачинский В.В. Курс основ атомной техники в сельском хозяйстве, М. Атомиздат, 1978.
11. Сельскохозяйственная радиоэкология Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А., М. Экология , 1991.
12. Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных. Под редакцией С.П. Ярмоненко, М, Высшая школа, 2004.

## Приложения

Таблица 10 – Состояние между единицами СИ и внесистемными единицами активности и характеристиками поля излучения

Величина	Название и обозначение единицы		Связь между единицами
	система СИ	внесистемная единица	
1	2	3	4
Активность (А)	Беккерель (Бк), равна одному распаду в секунду (расп/с)	Кюри (Ки)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ расп/с}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$ $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$ $1 \text{ Бк} = 2,703 \times 10^{-10} \text{ Ки}$
Плотность потока (I) или тока Je энергии частиц	Ватт на квадратный метр ( $\text{Вт/м}^2$ ), равный одному джоулю на квадратный метр в секунду [ $\text{Дж}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ ]	Эрг на квадратный сантиметр в секунду [ $\text{эрг}/\text{см}^2 \times \text{с}$ ], мегаэлектрон-вольт на квадратный сантиметр в секунду [ $\text{МэВ}/(\text{см}^2 \times \text{с})$ ]	$1 \text{ эрг}/(\text{см}^2 \times \text{с}) =$ $= 1 \times 10^{-3} \text{ Дж}/(\text{м}^2 \times \text{с}) =$ $= 1 \times 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ $1 \text{ Вт/м}^2 = 1 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \times \text{с}) =$ $= 1 \times 10^{-3} \text{ Втэрг}/(\text{см}^2 \times \text{с})$ $1 \text{ МэВ}/(\text{см}^2 \times \text{с}) =$ $= 1,602 \times 10^{-9} \text{ Вт/м}^2$ $1 \text{ Вт/м}^2 = 1 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \times \text{с}) =$ $= 6,24 \times 10^8 \text{ МэВ}/(\text{см}^2 \times \text{с})$
Поглощенная доза (D)	Грэй (Гр), равный одному джоулю на джоульграмм (Дж/кг)	Рад (рад)	$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} =$ $= 1 \times 10^{-2} \text{ Дж/кг} =$ $= 1 \times 10^{-2} \text{ Гр}$ $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ $1 \text{ Гр} = \text{Дж/кг} =$ $= 10^4 \text{ эрг/г} = 100 \text{ рад}$



Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Мощность поглощенной дозы (D)	Грэй в секунду (Гр/с), равный одному джоулю на килограмм в секунду [Дж/(кг×с)]	Рад в секунду (рад/с)	1 рад/с = = $1 \times 10^{-2}$ Дж/(кг×с) = = $1 \times 10^{-2}$ Гр/с 1 Гр/с = 1 Дж/(кг×с) = = $1 \times 10^2$ рад/с
Эквивалентная доза (H)	Зиверт (Зв), равный одному грэю на взвешивающий коэффициент для вида излучения $W_r$ [ $1 \text{ Гр}/W_r = 1 \text{ (Дж/кг)}/W_r$ ]	Бэр (бэр)	1 бэр = $1 \times 10^{-2}$ Зв
Мощность эквивалентная доза (H)	Зиверт в секунду (Зв/с)	Бэр в секунду (бэр/с)	1 бэр/с = $1 \times 10^{-2}$ Зв/с 1 Зв/с = 100 бэр/с
Экспозиционная доза <sup>1</sup> (X)	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг (точно) 1 Кл/кг = $3,88 \times 10^3$ Р (приближенно)
Мощность экспозиционной дозы	Кулон на килограмм в секунду [Кл/(кг×с)]	Рентген в секунду (Р/с)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/(кг×с) (точно) 1 Кл/(кг×с) = $3,88 \times 10^3$ Р/с (приближенно)
Керам <sup>2</sup> (K)	Грей (Гр), равный одному джоулю на килограмм (Дж/кг)	Рад (рад)	1 рад = 100 эрг/г = = $1 \times 10^{-2}$ Дж/кг = = $1 \times 10^{-2}$ Гр 1 Гр = 1 Дж/кг = = $10^4$ эрг/г = 100 рад
Мощность кермы (K)	Грэй в секунду (Гр/с), равный одному джоулю на килограмм в секунду [Дж/(кг×с)]	Рад в секунду (рад/с)	1 рад/с = = $1 \times 10^{-2}$ Дж/(кг×с) = = $1 \times 10^{-2}$ Гр/с 1 Гр/с = 1 Дж/(кг×с) = = $1 \times 10^2$ рад/с

Примечание: <sup>1</sup> Используется для  $\gamma$ -излучения с энергией до 3 МэВ в воздухе. 1 Р = 0,87 рад =  $0,87 \times 10^{-2}$  Гр поглощенной в воздухе дозы.

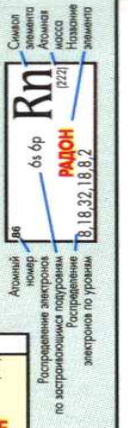
<sup>2</sup> для  $\gamma$ -излучения с энергией до 10 МэВ керма практически не отличается от поглощенной дозы.

Таблица 11 – Множители и приставки в системе СИ для образования десятичных дольных и кратных единиц

Множитель	Приставка СИ	Обозначение приставки	
		Международное	Русское
$10^{18}$	экса	E	Э
$10^{15}$	пета	P	П
$10^{12}$	тера	T	Т
$10^9$	гига	G	Г
$10^6$	мега	M	М
$10^3$	кило	k	к
$10^2$	гекто	h	г
$10^1$	дека	da	да
$10^{-1}$	деци	d	д
$10^{-2}$	санτι	c	с
$10^{-3}$	милли	m	м
$10^{-6}$	микро	$\mu$	МК
$10^{-9}$	нано	n	н
$10^{-12}$	пико	p	п
$10^{-15}$	фемто	f	ф
$10^{-18}$	атто	a	а

**ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ А. И. МЕНДЕЛЕЕВА**

I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
1 <b>H</b> 1,0079													2 <b>He</b> 4,0026			
3 <b>Li</b> 6,941	4 <b>Be</b> 9,01218		5 <b>B</b> 10,81		6 <b>C</b> 12,011		7 <b>N</b> 14,0067		8 <b>O</b> 15,9994		9 <b>F</b> 18,99840		10 <b>Ne</b> 20,179			
11 <b>Na</b> 22,98977	12 <b>Mg</b> 24,305		13 <b>Al</b> 26,98154		14 <b>Si</b> 28,086		15 <b>P</b> 30,97376		16 <b>S</b> 32,06		17 <b>Cl</b> 35,453		18 <b>Ar</b> 39,948			
19 <b>K</b> 39,098	20 <b>Ca</b> 40,08		21 <b>Sc</b> 44,9559		22 <b>Ti</b> 47,88		23 <b>V</b> 50,9414		24 <b>Cr</b> 51,996		25 <b>Mn</b> 54,9380		26 <b>Fe</b> 55,847		27 <b>Ni</b> 58,70	
37 <b>Rb</b> 85,468	38 <b>Sr</b> 87,62		39 <b>Y</b> 88,9059		40 <b>Zr</b> 91,22		41 <b>Nb</b> 92,9064		42 <b>Mo</b> 95,94		43 <b>Tc</b> 98,9062		44 <b>Ru</b> 101,07		45 <b>Rh</b> 102,9055	
47 <b>Ag</b> 107,8682	48 <b>Cd</b> 112,41		49 <b>In</b> 114,82		50 <b>Sn</b> 118,69		51 <b>Sb</b> 121,75		52 <b>Te</b> 127,60		53 <b>I</b> 126,9045		54 <b>Xe</b> 131,20		55 <b>Pd</b> 106,4	
55 <b>Cs</b> 132,9054	56 <b>Ba</b> 137,34		57 <b>La</b> 138,9055		58 <b>Hf</b> 178,49		59 <b>Ta</b> 180,9479		60 <b>W</b> 183,85		61 <b>Re</b> 186,207		62 <b>Os</b> 190,2		63 <b>Ir</b> 192,22	
79 <b>Au</b> 196,9665	80 <b>Hg</b> 200,59		81 <b>Tl</b> 204,37		82 <b>Pb</b> 207,2		83 <b>Bi</b> 208,9804		84 <b>Po</b> [209]		85 <b>At</b> [210]		86 <b>Rn</b> [222]		64 <b>Pt</b> 195,09	
87 <b>Fr</b> [223]	88 <b>Ra</b> 226,0254		89 <b>Ac</b> [227]		90 <b>(Ku)</b> [261]		91 <b>(Ns)</b> [269]		92 <b>E-W</b> [100]		93 <b>E-Re</b> [107]		94 <b>Rn</b> [222]		65 <b>Au</b> 196,9665	
* ЛАНТАНОИДЫ																
59 <b>Pr</b> 140,90766	60 <b>Nd</b> 144,24		61 <b>Sm</b> 150,4		62 <b>Eu</b> 151,96		63 <b>Gd</b> 157,25		64 <b>Tb</b> 158,9254		65 <b>Dy</b> 162,5008		66 <b>Ho</b> 164,9304		67 <b>Er</b> 167,26	
89 <b>La</b> 138,9055	90 <b>Ce</b> 140,12		91 <b>Pm</b> [145]		92 <b>Am</b> [243]		93 <b>Cm</b> [247]		94 <b>Bk</b> [247]		95 <b>Cf</b> [251]		96 <b>Es</b> [257]		97 <b>Fm</b> [261]	
91 <b>La</b> 138,9055	92 <b>Ce</b> 140,12		93 <b>Pr</b> 140,90766		94 <b>Nd</b> 144,24		95 <b>Pm</b> [145]		96 <b>Sm</b> 150,4		97 <b>Eu</b> 151,96		98 <b>Gd</b> 157,25		99 <b>Tb</b> 158,9254	
99 <b>Tm</b> 168,9342	100 <b>Yb</b> 173,04		101 <b>(No)</b> [259]		102 <b>(Lr)</b> [261]		103 <b>(Nh)</b> [285]		104 <b>(Fl)</b> [289]		105 <b>(Ts)</b> [293]		106 <b>(Og)</b> [297]		107 <b>(Lv)</b> [301]	
71 <b>Lu</b> 174,967	72 <b>Hf</b> 178,49		73 <b>Ta</b> 180,9479		74 <b>W</b> 183,85		75 <b>Re</b> 186,207		76 <b>Os</b> 190,2		77 <b>Ir</b> 192,22		78 <b>Pt</b> 195,09		79 <b>Au</b> 196,9665	
109 <b>Tm</b> 168,9342	110 <b>Yb</b> 173,04		111 <b>(Nh)</b> [285]		112 <b>(Fl)</b> [289]		113 <b>(Ts)</b> [293]		114 <b>(Og)</b> [297]		115 <b>(Lv)</b> [301]		116 <b>(Uu)</b> [305]		117 <b>(Lr)</b> [261]	
109 <b>Tm</b> 168,9342	110 <b>Yb</b> 173,04		111 <b>(Nh)</b> [285]		112 <b>(Fl)</b> [289]		113 <b>(Ts)</b> [293]		114 <b>(Og)</b> [297]		115 <b>(Lv)</b> [301]		116 <b>(Uu)</b> [305]		117 <b>(Lr)</b> [261]	



## Иод-131

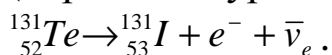
**Иод-131** (йод-131,  $^{131}\text{I}$ ), также называемый *радиойодом* (не смотря на наличие других радиоактивных изотопов этого элемента), – радиоактивный нуклид химического элемента иода с атомным номером 53 и массовым числом 131. Период его полураспада составляет 8,03 суток. Иод-131 является продуктом деления урана, плутония и, косвенно, тория, составляя до 3 % продуктов деления ядер.

Удельная активность этого нуклида составляет приблизительно  $4,6 \times 10^{15}$  Бк на грамм.

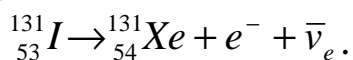
### Получение образование и распад

Облучение природного теллура позволяет получить почти чистый иод-131 как единственный изотоп с периодом полураспада более нескольких часов.

Иод-131 является дочерним продуктом  $\beta^-$ -распада нуклида  $^{131}\text{Te}$  (период полураспада последнего составляет 25,0 мин):



Он распадается с испусканием  $\beta$ -частиц с максимальной энергией 0,807 МэВ, а также с излучением  $\gamma$ -квантов с энергиями от 0,08 до 0,723 МэВ (наиболее характерная гамма-линия, используемая на практике для идентификации иода-131, имеет энергию 364,5 кэВ и излучается в 82 % распадов); излучаются также конверсионные электроны и рентгеновские кванты. При распаде  $^{131}\text{I}$  превращается в стабильный инертный газ ксенон ( $^{131}\text{Xe}_{54}$ ):



Выброс иода-131 в окружающую среду происходит в основном в результате ядерных испытаний и аварий на предприятиях атомной энергетики. В связи с коротким периодом полураспада, через 3 месяца (период йодной опасности) после такого выброса содержание иода-131 опускается ниже порога чувствительности детекторов.

### Иод-131 в окружающей среде

Йод-131 считается наиболее опасным нуклидом, образующимся при делении ядер. Это объясняется следующим набором свойств этого изотопа:

1. Относительно высокое содержание йода-131 среди осколков деления (около 3%).
2. Период полураспада (8 суток), с одной стороны, достаточно велик, что бы нуклид распространился по большим площадям, а с другой стороны, достаточно мал, что бы обеспечить очень высокую удельную активность изотопа – примерно 4.5 ПБк/г.
3. Высокая летучесть. При любых авариях ядерных реакторов в первую очередь улетучиваются инертные радиоактивные газы, затем – йод. Например, при аварии на ЧАЭС, из реактора было выброшено 100% инертных газов, 20% йода, 10-13% цезия, и всего 2-3% остальных элементов.
4. Йод очень мобилен и практически не образует нерастворимых соединений.
5. Йод является жизненно важным, и в то же время – дефицитным элементом. Поэтому все живые организмы выработали способность концентрировать йод в своем теле.
6. У человека большая часть йода (50%) в организме концентрируется в щитовидной железе, имеющей небольшую массу по сравнению со всем телом (12-25 г). Поэтому, даже небольшое количество радиойода приводит к большим дозам локального облучения щитовидной железы, вплоть до некроза фолликулярной ткани, синтезирующей гормон тироксин.

Является причиной отдаленных поражений щитовидной железы в связи с бета-распадом, иод-131 вызывает мутации и гибель клеток, в которые он проник, и окружающих тканей на глубину нескольких миллиметров.

Изотоп I с коротким периодом полураспада применяют в медицине и фармацевтике.

## **Радиационные аварии**

Авария на АЭС Фукусима I в марте 2011 вызвала значительный рост содержания  $^{131}\text{I}$  в продуктах питания, морской и водопроводной воде в регионах вокруг АЭС вплоть до Токио. Анализ воды в дренажной системе 2-го энергоблока показал содержание I-131, равное  $300 \text{ кБк/см}^3$ , что превышает установленную в Японии норму по отношению к питьевой воде в 7,5 миллионов раз.

Радиоэкспертизу по I-131 проводят в период «йодной опасности»

## Нормативы по содержанию иода-131

Согласно принятым в России нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009, решение об ограничении потребления продуктов питания обязательно принимается при удельной активности иода-131 в них, равной 10 кБк/кг (при удельной активности от 1 кБк/кг такое решение может приниматься по усмотрению уполномоченного органа). Для персонала, работающего с источниками радиации, предел годового поступления с воздухом иода-131 составляет  $2,6 \times 10^6$  Бк в год (дозовый коэффициент  $7,6 \times 10^{-9}$  Зв/Бк), а допустимая среднегодовая объемная активность в воздухе  $1,1 \times 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>

Для критических групп населения (дети в возрасте 1-2 года) установлены ограничения на поступление иода-131 с воздухом  $1,4 \times 10^4$  Бк/год, допустимая среднегодовая объемная активность в воздухе 7,3 Бк/м<sup>3</sup>, предел поступления с пищей  $5,6 \times 10^3$  Бк/год; дозовый коэффициент для этой группы населения составляет  $7,2 \times 10^{-8}$  Зв/Бк при поступлении иода-131 с воздухом и  $1,8 \times 10^{-7}$  Зв/Бк – при поступлении с пищей. Для взрослого населения при поступлении иода-131 с водой дозовый коэффициент составляет  $2,2 \times 10^{-8}$  Зв/Бк, а уровень вмешательства 6,2 Бк/л. Иод-131 относится к группе В радионуклидов по радиационной опасности (из четырёх групп, от А до Г, наиболее опасной является группа А). При возможном присутствии иода-131 в воде определение его удельной активности в воде является обязательным.

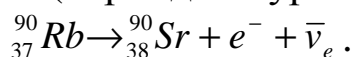
## Стронций-90

**Стронций-90** (англ. *strontium-90*) – радиоактивный нуклид химического элемента стронция с атомным номером 38 и массовым числом 90. Образуется преимущественно при делении ядер в ядерных реакторах и ядерном оружии.

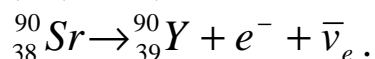
В окружающую среду <sup>90</sup>Sr попадает преимущественно при ядерных взрывах и выбросах с АЭС.

## Образование и распад

Стронций-90 является дочерним продуктом β<sup>-</sup>-распада нуклида <sup>90</sup>Rb (период полураспада составляет 158 с) и его изомеров с:



В свою очередь,  $^{90}\text{Sr}$  претерпевает  $\beta^-$ -распад, переходя в радиоактивный иттрий  $^{90}\text{Y}$  (вероятность 100 %, энергия распада 545,9(14) кэВ):



Нуклид  $^{90}\text{Y}$  также радиоактивен, имеет период полураспада в 64 часа и в процессе  $\beta^-$ -распада с энергией 2,28 МэВ превращается в стабильный  $^{90}\text{Zr}$ . Период полураспада – 28 лет относится к особо опасным в биологическом отношении радионуклидам.

### Биологическое действие

Стронций является аналогом кальция, поэтому он наиболее эффективно откладывается в костной ткани. В мягких тканях задерживается менее 1 %. За счёт отложения в костной ткани, он облучает костную ткань и костный мозг. Так как у красного костного мозга взвешивающий коэффициент в 12 раз больше, чем у костной ткани, то именно он является критическим органом при попадании стронция-90 в организм, что увеличивает риск заболевания раком костного мозга. А при поступлении большого количества изотопа может вызвать лучевую болезнь. Период биологического полувыведения составляет 90-154 суток допустимое содержание в воде и продуктах 25-100 Бк/кг (в сушеных молоке и рыбе до 200 Бк/кг).

### Применение

$^{90}\text{Sr}$  применяется в производстве радиоизотопных источников энергии в виде титаната стронция (плотность 4,8 г/см<sup>3</sup>, энерговыделение около 0,54 Вт/см<sup>3</sup>).

Одно из широких применений  $^{90}\text{Sr}$  – контрольные источники дозиметрических приборов, в том числе военного назначения и Гражданской обороны. Наиболее распространенный – типа «Б-8» исполнен как металлическая подложка, содержащая в углублении каплю эпоксидной смолы, содержащей соединение  $^{90}\text{Sr}$ . Для обеспечения защиты от образования радиоактивной пыли через эрозию, препарат закрыт тонким слоем фольги. Фактически такие источники ионизирующего излучения являются комплексом  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ , поскольку иттрий непрерывно образуется при распаде стронция.  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$  является практически чистым бета-источником. В отличие от гамма-радиоактивных препаратов бета-препараты легко экранировать относительно тонким (порядка 1 мм) слоем стали, что

обусловило выбор бета-препарата для проверочных целей, начиная со второго поколения военной дозиметрической аппаратуры (ДП-2, ДП-12, ДП-63).

## Цезий-137

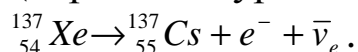
**Цезий-137**, известен также как **радиоцезий** – радиоактивный нуклид химического элемента цезия с атомным номером 55 и массовым числом 137. Образуется преимущественно при делении ядер в ядерных реакторах и ядерном оружии.

Цезий-137 – один из главных компонентов радиоактивного загрязнения биосферы. Содержится в радиоактивных выпадениях, радиоактивных отходах, сбросах заводов, перерабатывающих отходы атомных электростанций. Интенсивно сорбируется почвой и донными отложениями; в воде находится преимущественно в виде ионов. Содержится в растениях и организме животных и человека. Коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  наиболее высок у пресноводных водорослей и арктических наземных растений, особенно лишайников. В организме животных  $^{137}\text{Cs}$  накапливается главным образом в мышцах и печени. Наибольший коэффициент накопления его отмечен у северных оленей и североамериканских водоплавающих птиц. Накапливается в грибах, ряд которых (маслята, моховики, свинушка, горькушка, польский гриб) считается «аккумуляторами» радиоцезия.

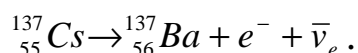
Активность одного грамма этого нуклида составляет приблизительно  $3,2 \times 10^{12}$  Бк.

## Образование и распад

Цезий-137 является дочерним продуктом  $\beta^-$ -распада нуклида  $^{137}\text{Xe}$  (период полураспада составляет 3,818(13) мин):



Цезий-137 претерпевает бета-распад (период полураспада 30,17 лет), в результате которого образуется стабильный изотоп бария  $^{137}\text{Ba}$ :



В 94,4 % случаев распад происходит с промежуточным образованием ядерного изомера бария-137  $^{137}\text{Ba}^m$  (его период полураспада составляет 2,55 мин), который в свою очередь переходит в основное состояние с испусканием гамма-кванта с энергией 661,7 кэВ



(или конверсионного электрона с энергией 661,7 кэВ, уменьшенной на величину энергии связи электрона). Суммарная энергия, выделяющаяся при бета-распаде одного ядра цезия-137, составляет  $1175,63 \pm 0,17$  кэВ.

### **Цезий-137 в окружающей среде**

Выброс цезия-137 в окружающую среду происходит в основном в результате ядерных испытаний и аварий на предприятиях атомной энергетики.

### **Радиационные аварии**

- При аварии на Южном Урале в 1957 г. произошел тепловой взрыв хранилища радиоактивных отходов, в результате которого в атмосферу поступили радионуклиды с суммарной активностью 74 ПБк, в том числе 0,2 ПБк  $^{137}\text{Cs}$ .
- При пожаре на радиохимическом заводе в Уинденейле в Великобритании в 1957 г. произошел выброс 12 ПБк радионуклидов, из них 46 ТБк  $^{137}\text{Cs}$ .
- Технологический сброс радиоактивных отходов предприятия «Маяк» на Южном Урале в р. Течу в 1957 г. составил 102 ПБк, в том числе  $^{137}\text{Cs}$  12,4 ПБк.
- Ветровой вынос радионуклидов из поймы оз. Карачай на Южном Урале в 1967 г. составил 30 ТБк. На долю  $^{137}\text{Cs}$  пришлось 0,4 ТБк.
- В 1986 г. во время аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) из разрушенного реактора было выброшено 1850 ПБк радионуклидов, при этом на долю радиоактивного цезия пришлось 270 ПБк. Распространение радионуклидов приняло планетарные масштабы. На Украине, в Белоруссии и Центральном экономическом районе Российской Федерации выпало более половины от общего количества радионуклидов, осевших на территории СНГ. Среднегодовая концентрация цезия-137 в приземном слое воздуха на территории СССР в 1986 году повысилась до уровня 1963 года (в 1963 г. наблюдалось повышение концентрации радиоцезия в результате проведения серии атмосферных ядерных взрывов в 1961–1962 гг.)

- В 2011 г. во время аварии на АЭС Фукусима-1 из разрушенного реактора было выброшено значительное количество цезия-137. Распространение, в основном, происходит через воды Тихого океана.

### **Локальные заражения**

Известны случаи загрязнения внешней среды в результате небрежного хранения источников цезия-137 для медицинских и технологических целей. Наиболее известным в этом отношении является инцидент в Гоянии, когда мародерами из заброшенной больницы была похищена деталь из установки для радиотерапии, содержащая цезий-137. В течение более чем двух недель с порошкообразным цезием контактировали все новые люди, и никто из них не знал о связанной с ним опасности. Радиоактивному заражению подверглись приблизительно 250 человек, четверо из них умерли.

На территории СССР инцидент с длительным облучением жителей одного из домов цезием-137 произошёл в 1980-х годах в Краматорске.

### **Биологическое действие**

Внутри живых организмов цезий-137 в основном проникает через органы дыхания и пищеварения. Хорошей защитной функцией обладает кожа (через неповрежденную поверхность кожи проникает только 0,007 % нанесенного препарата цезия, через обожженную – 20 %; при нанесении препарата цезия на рану всасывание 50 % препарата наблюдается в течение первых 10 мин, 90 % всасывается только через 3 часа). Около 80 % попавшего в организм цезия накапливается в мышцах, 8 % – в скелете, оставшиеся 12 % распределяются равномерно по другим тканям.

Накопление цезия в органах и тканях происходит до определенного предела (при условии его постоянного поступления), при этом интенсивная фаза накопления сменяется равновесным состоянием, когда содержание цезия в организме остается постоянным. Время достижения равновесного состояния зависит от возраста и вида животных. Равновесное состояние у сельскохозяйственных животных наступает примерно через 10-30 дней, у человека приблизительно через 430 суток.

Цезий-137 выводится в основном через почки и кишечник. Через месяц после прекращения поступления цезия из организма выводится примерно 80 % введенного количества, однако при этом следует отметить, что в процессе выведения значительные количества цезия повторно всасываются в кровь в нижних отделах кишечника.

Биологический период полувыведения накопленного цезия-137 для человека принято считать равным 70 суткам (согласно данным Международной комиссии по радиологической защите). Тем не менее, скорость выведения цезия зависит от многих факторов - физиологического состояния, питания и др. (например, приводятся данные о том, что период полувыведения для пяти облученных человек существенно различался и составлял 124, 61, 54, 36 и 36 суток).

При равномерном распределении цезия-137 в организме человека с удельной активностью 1 Бк/кг мощность поглощенной дозы, по данным различных авторов, варьирует от 2,14 до 3,16 мкГр/год.

При внешнем и внутреннем облучении биологическая эффективность цезия-137 практически одинакова (при сопоставимых поглощенных дозах). Вследствие относительно равномерного распределения этого нуклида в организме органы и ткани облучаются равномерно. Этому также способствует высокая проникающая способность гамма-излучения нуклида  $^{137}\text{Ba}^m$ , образующегося при распаде цезия-137: длина пробега гамма-квантов в мягких тканях человека достигает 12 см.

Развитие радиационных поражений у человека можно ожидать при поглощении дозы примерно в 2 Гр и более. Симптомы во многом схожи с острой лучевой болезнью при гамма-облучении: угнетённое состояние и слабость, диарея, снижение массы тела, внутренние кровоизлияния. Характерны типичные для острой лучевой болезни изменения в картине крови. Дозам в 148, 370 и 740 МБк соответствуют лёгкая, средняя и тяжелая степени поражения, однако лучевая реакция отмечается уже при единицах МБк.

Помощь при радиационном поражении цезием-137 должна быть направлена на выведение нуклида из организма и включает в себя дезактивацию кожных покровов, промывание желудка, назначение различных сорбентов (например, сернокислого бария, альгината натрия, полисурмина), а также рвотных, слабительных и мочегонных средств. Эффективным средством для уменьшения всасы-

вания цезия в кишечнике является сорбент ферроцианид, который связывает нуклид в неусваиваемую форму. Кроме того, для ускорения выведения нуклида стимулируют естественные выделительные процессы, используют различные комплексообразователи (ДТПА, ЭДТА и др.).

## Получение

Из растворов, полученных при переработке радиоактивных отходов ядерных реакторов,  $^{137}\text{Cs}$  извлекается методами соосаждения с гексацианоферратами железа, никеля, цинка или фторовольфраматом аммония. Используют также ионный обмен и экстракцию.

## Применение

Цезий-137 используется в гамма-дефектоскопии, измерительной технике, для радиационной стерилизации пищевых продуктов, медицинских препаратов и лекарств, в радиотерапии для лечения злокачественных опухолей. Также цезий-137 используется в производстве радиоизотопных источников тока, где он применяется в виде хлорида цезия (плотность  $3,9 \text{ г/см}^3$ , энерговыделение около  $1,27 \text{ Вт/см}^3$ ). Цезий-137 используется в датчиках предельных уровней сыпучих веществ (уровнемерах) в непрозрачных бункерах.

Цезий-137 имеет определенные преимущества перед радиоактивным кобальтом-60: более длительный период полураспада и менее жесткое гамма-излучение. В связи с этим приборы на основе  $^{137}\text{Cs}$  долговечнее, а защита от излучения менее громоздка. Однако, эти преимущества становятся реальными лишь при отсутствии примеси  $^{137}\text{Cs}$  с более коротким периодом полураспада и более жестким гамма-излучением.

Методические указания  
к выполнению контрольных работ для студентов заочной  
формы обучения по дисциплине «Радиобиология»

Подписано в печать 26.01.2012 г.

Формат 60×84 1\16. П.л. 7,2

Заказ № 200 экз.

---

Отпечатано в типографии Кубанского  
государственного аграрного университета  
350044, г. Краснодар, Калинина, 13.