

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»**

# **ВЕТЕРИНАРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ**

**Краткий курс лекций**

**для студентов IV курса**

**Специальность 36.05.01 - Ветеринария**

**Саратов 2016**

УДК 615.84

Р60

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры «Микробиология, биотехнология и химия»

ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»

*Л.А. Фоменко*

Доктор ветеринарных наук, вед. научный сотрудник лаборатории фармакологии  
ГНУ «Краснодарский НИВИ» Россельхозакадемии

*Е.В. Кузьмина*

Р60

**Ветеринарная радиобиология:** краткий курс лекций для студентов 4 курса по специальности 36.05.01 - «Ветеринария»/Сост. Т. Н. Родионова// ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. – 83 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Ветеринарная радиобиология» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для студентов специальности 36.05.01 - Ветеринария

Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам радиобиологии.

Курс направлен на формирование у студентов профессиональной компетенции: осуществление профилактики, диагностики и лечения животных при радиационных поражениях, ведения методами ветеринарной санитарии и оздоровления хозяйств, проведение комплекса организационных и специальных мероприятий при ведении животноводства в условиях радионуклидного загрязнения внешней среды, рационального использования загрязненной радионуклидами продукции растениеводства и животноводства.

УДК 615.84

© Родионова Т.Н., 2016

© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» 2016

## Введение

Ветеринарная радиобиология относится к базовой (общепрофессиональной) части профессионального цикла.

Основу ветеринарной радиобиологии составляют учения о механизме действия ионизирующего излучения на биоорганические вещества, вирусы, бактерии, клетки, ткани, целостные организмы, популяции, биоценозы, их сообщества и биосферу в целом.

Знания по ветеринарной радиобиологии являются базовыми для изучения других дисциплин: ветеринарно-санитарная экспертиза, акушерства и гинекологии, внутренних незаразных болезней.

Ветеринарная радиобиология является наукой, неразрывно связанной с производственной деятельностью ветеринарных специалистов, которые должны знать характер биологического действия различных доз радиоактивных излучений, уметь оценивать радиационную ситуацию, диагностировать болезни лучевых поражений, организовывать и проводить мероприятия по оказанию лечебно-профилактической помощи животным, прогнозировать поступление радиоактивных веществ в продукты питания и таким образом предотвратить заражение продуктов радиоактивными веществами.

## Лекция 1.

### **КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОБИОЛОГИИ, ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, СТРУКТУРА КУРСА. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТЕРМИНЫ.**

#### **1.1. Цели изучения дисциплины**

Научить студента выполнять радиационную экспертизу объектов ветеринарного надзора и использовать на практике методы клинического и лабораторного исследования при лучевых поражениях.

- Получить знания о роли, значении и месте эксплуатации основных типов радиометрических и дозиметрических приборов.
- Овладеть методами рациональной экспертизы объектов ветеринарного надзора.
- Овладеть методами клинического и лабораторного исследования при лучевых поражениях животных.

#### **Радиология - комплексная наука об ионизирующих излучениях.**

**Радиобиология** - наука, изучает воздействие ионизирующего излучения на животных и человека, а также ищет способы и средства их защиты и пути использования излучения в народном хозяйстве.

Радиобиология связана с ядерной и технической физикой и химией с одной стороны, и биологические науки — с другой. Опираясь на данные ядерной физики о сущности, свойствах, источниках, этих излучений и методах их измерения, радиология изучает:

- 1) действие радиации на организмы,
- 2) распространение и перемещение радиоактивных веществ в биосфере,
- 3) разрабатывает меры защиты и безопасности как при работе с источниками ионизирующих излучений, так и в чрезвычайных обстоятельствах.

Перспективным разделом радиологии является изучение способов и преимуществ мирного использования энергии ядра в различных отраслях науки и практики.

Радиобиология вскрывает общие закономерности биологического ответа на ионизирующее воздействие на основе которых разрабатываются пути и методы управления лучевыми реакциями организма. Она занимается поиском средств защиты организма от воздействия излучений и путей пострадиационного восстановления от повреждений, прогнозирование опасности для человека и животных вызванной повышенном уровня радиации окружающей среды и радиоактивного загрязнения продуктов сельскохозяйственного производства (мясо, молоко, яйцо, овощи, зернофураж и т.д.) разработкой методов использования ионизирующих излучений в качестве радиобиологической технологии в сельском хозяйстве, пищевой и микробиологической промышленности, а также для диагностики болезней и лечения больных животных.

В связи с бурным развитием атомной промышленности перед человечеством возникла реальная угроза радиоактивного загрязнения биосферы.

Если к концу 30-х годов во всем мире было всего несколько сот граммов радия, что соответствовало радиоактивности в несколько сот кюри, а радиоактивность других радиоактивных элементов, извлеченных к тому времени на поверхность земли в было невелико, то в настоящее время радиоактивность, обусловленных огромным количеством искусственных радиоактивных веществ, измеряется сотнями миллионов

кюри.

С каждым годом во всем мире увеличивается применение радиоактивных веществ в различных областях народного хозяйства (атомные электростанции, энергетические установки для атомных ледоколов, новые атомные реакторы и ускорители), в военной промышленности (атомные подводные лодки, ядерное оружие и т.д.), в промышленности для дефектоскопии, автоматического регулирования производственных процессов, в медицине и научно-исследовательской работе, где они применяются в качестве источников излучения и мягких атомов. Несомненно, использование человечеством радиоизотопов увеличивает и количество радиоактивных веществ поступающих в биосферу тем самым загрязняя ее: - это и составляет нам экологическую проблему, в связи с этим...

6 июня 1905 г выступая с Нобелевской речью в Стокгольмской Академии наук, Пьер Кюри произнес воистину пророческие слова: «Можно себе представить, что в преступных руках радий способен быть очень опасным, и в связи с этим следует задаться вопросом: является ли познание тайн природы выгодным для человечества; достаточно ли человечество созрело, чтобы извлекать из него только пользу, или это познание для него вредоносно?... Я лично принадлежу к людям, думающим, думающим, что человечество извлечет из новых открытий больше пользы, чем зла».

К сожалению, сбылись обе части предсказания, и все же следует думать, что великий ученый был прав — в конечном итоге восторжествует благо.

## **1.2. Краткая история развития радиологии. Вклад отечественных ученых в развитие науки.**

Большим вкладом в развитие радиобиологии, как самостоятельной науки, послужило открытие Пьера Кюри о радиоактивности радия - элемента, образующегося в результате ряда превращений урана. Впервые, было обнаружено разрушительное действие гамма - лучей на клетки различных тканей, а также высокая проникающая способность гамма — лучей.

Возникновение радиобиологии обязано трем великим открытиям, увенчавшим окончание предыдущего столетия:

1895 - открытие Вильгельмом Конрадом Рентгеном X - лучей.

1896 - открытие Анри Беккерелем естественной радиоактивности.

1898 - открытие четой Кюри - Марией Складовской и Пьером Кюри радиоактивных свойств полония и радия.

Особо интенсивное развитие радиобиологических исследований, началось после варварской атомной бомбардировки городов Хиросимы и Нагасаки - поставившей на повестку дня неотложную задачу — разработать способы противолучевой защиты и методы лечения при радиационных поражениях.

Через несколько месяцев после открытия лучей Рентгена выдающийся русский ученик Сеченова Н.Ф. Тарханов показал, что эти лучи оказывают значительное влияние на биологические объекты.

В России пионером в развитии радиобиологии был выдающийся патофизиолог Ефим Семенович Лондон, который изучал действие ионизирующих излучений на организм животных.

В 1911 г Е.С. Лондон публикует первую монографию о биологическом действии излучений радия.

Впервые В.И. Вернадский в нашей стране начал активно изучать действие

радиоактивных изотопов на организм.

С 1927 г. после появления работ Мюллера на дрозофиле возникла новая радиобиология - радиационная генетика.

В 1903 г. Альберс-Шонберг обнаружил дегенеративные изменения семяродного эпителия и азоспермию у морских свинок и кроликов, а в 1905 г. Хальберштадтер наблюдал атрофию яичников у облученных животных. Вскоре Броун и Осгоуд выявили азоспермию, явившуюся причиной бесплодия молодых рабочих завода рентгеновских трубок, проработавших на производстве более трех лет.

В 1903 г. в значительной степени под влиянием экспериментов русского исследователя Е. С. Лондона, который обнаружил летальное действие лучей радия на мышей, Хейнке применил для этих целей рентгеновские лучи. Последний впервые описал лучевую анемию и лейкопению, а также обратил внимание на поражение органов кроветворения, видимое даже невооруженным глазом (например, атрофия селезенки). Он детально описал типичные изменения клеток костного мозга и лимфоузлов при гистологическом исследовании.

В 1905 г. Корнике установил, что под влиянием ионизирующего излучения тормозится деление клеток. Бергонье и Трибондо выявили неодинаковую чувствительность разных клеток к облучению. На основании этих экспериментов они в 1906 г. сформулировали положение, вошедшее в радиобиологию как правила Бергонье и Трибондо: чувствительность клеток к облучению прямо пропорциональна митотической активности и обратно пропорциональна степени их дифференцированности. Позднее в правила Бергонье и Трибондо были внесены существенные коррективы. В указанный период начали изучать действие ионизирующей радиации на эмбриогенез. Было обнаружено возникновение различных аномалий при облучении на определенных стадиях развития эмбриона.

В 1925 г. в опытах на дрожжевых клетках и плесневых грибах Г. Н. Надсони Г. Ф. Филиппов выявили действие ионизирующих излучений на генетический аппарат клетки, сопровождающееся наследственной передачей вновь приобретенных признаков. Так, исследуя влияние рентгеновских лучей на половой процесс у низших грибов, они обратили внимание на появление отдельных колоний оранжевого цвета. Изучение этих новых форм грибов показало их резкое отличие от исходной культуры — они были способны образовывать жир и оранжевый пигмент. Наблюдая данные грибы в течение многих поколений, ученые твердо установили, что имеют дело с наследуемым изменением и что, таким образом, рентгеновские лучи обладают мутагенным действием. В 1927 г. это подтвердил Г. Мюллер на дрозофиле, а затем Л. Стадлер на кукурузе. В дальнейшем исследования были проведены на мышах и других организмах. В настоящее время радиационно-генетические исследования проводятся во всем мире широким фронтом. Изучением этой проблемы занимается специальный раздел науки — радиационная генетика.

Это послужило основой для целого ряда исследований по влиянию ионизирующего излучения на наследование свойств организма (И.Л. Дубинин).

В 1919 г. создается в Харькове Украинский центр рентгенорадиологический и онкологический институты, а в 1924 г. начал работу институт рентгенологии и радиологии в Москве.

В это время радиобиологические исследования проводятся на кафедре медицинских институтов, усиленно изучалось биологическое действие рентгеновских лучей и их внедрение в медицинскую практику.

С начала 30-х годов в нашей стране начала развиваться радиационная селекция как на растительных так и на животных клетках (Г.А. Надсон, А.А. Сапегин, П.Ф. Рокицкий).

Накоплен большой материал по действию ионизирующих излучений на опухоли, также выявлен патогенез лучевой болезни (А.В. Лебединский, Л.А. Орбели, Б.Н. Тарусов, П.Д. Горизонтов и др.)

В последние годы широким фронтом ведутся исследования по радиобиологии клетки, а также по нарушению различных организмов и систем организма при лучевой патологии (Г.А. Зедгенидзе, И.С. Амосов, А.Н. Кишковский, И. В. Шостаковская, А.М. Сташков, И.Т. Курцин, В.Р. Файтельберг-Бланк и др.). Особенно перспективны исследования биохимических изменений в облученных организмах на клеточном и молекулярном уровне (А.Г. Пикулев, И.В. Савицкий, А.Я. Розанов, Р.И. Сафаров, В.Р. Файтельберг-Бланк и др.)

Большие успехи достигнуты в изучении природы кислородного эффекта и механизма действия на животных радиозащитных веществ. Работами лаборатории Р. Файтельберга-Бланка (А.В. Орловы, И.И.Кривенко, Л.Н. Котовой-Хроменко) показано, что наряду с химическими препаратами в качестве радиозащитных средств могут служить физические агенты, в частности, в высокоочастотные электромагнитные колебания.

В 1921 г. В.Г. Хлопин первый получил препарат радия из отечественного сырья.

Пионером в области кюри-терапии был Ф.С. Гросман. Н.И. Неменова справедливо считают основателем «советской» рентгено-радиологии.

Советскими учеными разработаны методы изготовления коллоидных радиоактивных растворов (золото, фосфора, фосфата хрома и др.) и изучение их клинического применения (Н.Г. Серебряков, А.В. Козлова, Е.В. Дубовый, О. Войнар, В.Р. Файтельберг-Бланк).

После начала массового изготовления радиоактивных изотопов в СССР с 1948г радиоизотопы начали широко использоваться в медицинских и ветеринарных целях (Ф.Н. Серков, А.И. Насис, Г.А. Бабенко, В.А. Киршин, В. Р. Файтельберг-Бланк, Н.А. Крылова и др.). Известный вклад в современную теорию механизма движения ионизирующей радиации на организм внесли Л.Г.Пасынский, Г.М. Франк, Б.Н. Тарусов, Л.А. Блюменфельд, Ю.И. Москалев, М.Н. Майсель.

В нашей стране и за рубежом создаются учреждения для решения общебиологических вопросов, относящихся к действию внешнего облучения и инкорпорированных (поступивших внутрь организма) радиоактивных веществ на биологические объекты. Проводятся широкие исследования на различных представителях флоры и фауны.

В 1950г в Академии наук СССР при отделении биологических наук под руководством А.М. Кузина создана лаборатория изотопов и излучений, реорганизованная в 1952г в институт биофизики.

Ученые в своих исследованиях большое внимание уделяют решению общих вопросов радиобиологии и использованию атомной энергии в сельском хозяйстве.

Проводятся работы по изучению процессов пострадиационного восстановления в облученных семенах и проростках растений. Установлено, что под влиянием облучения в растениях происходит синтез ДНК с иным соотношением оснований, при этом наличие такой видоизмененной ДНК не задерживало развитие растений до

плодоношений.

Результаты изучения действия внешнего и внутреннего облучения растений, поведение изотопов, в биосфере расширяют возможности использования радиации в сельском хозяйстве, а также служат основой для разработки мероприятий ограничения миграции по пищевым цепочкам продуктов деления, которые могут проникать в организм животных и человека.

### **1.3. Основные понятия, определения, термины, задачи ветеринарных специалистов.**

Ветеринарная радиобиология изучает, главным образом роль аутоиммунных реакций при лучевой болезни сельскохозяйственных животных. При лучевой патологии сельскохозяйственных животных необходимо учитывать их видовые особенности, радиочувствительность, возраст, радиорезистентность и уровень обмена веществ.

Течение острой и хронической лучевой болезни у различных животных происходит неодинаково. Отличают фазовые сдвиги в течение лучевых повреждений у сельскохозяйственных животных. Необходимым принципом в изучении радиобиологии является радиационная безопасность, что привело к созданию самостоятельной науки - радиационная гигиена.

Особенное значение в последние годы радиобиология приобрела для животноводства и ветеринарии. Это связано не только с возможным поражением животных излучениями ядерного взрыва, но способом воздействия на организм сельскохозяйственных животных с целью терапии, а также для повышения их продуктивности.

Известно, что небольшие дозировки ионизирующих излучений оказывают стимулирующее влияние на физиологические и биохимические процессы в организме животных, способствующие повышению продуктивности.

Кроме того воздействие ионизирующими излучениями на воспроизводящие клетки, а также на весь организм в целом можно с успехом использовать для улучшения наследственных свойств организма с учетом полезно хозяйственных сдвигов, что должно быть учтено в селекционно-генетической работе с животными. В связи с этим, основной задачей сельскохозяйственной радиобиологии является всестороннее изучение ионизирующего излучения с целью управления организмом сельскохозяйственных животных.

Значительный вклад в развитие радиобиологии в области ветеринарии и животноводства внесли ученые Московской ветеринарной академии им. К.И. Скрябина (Белов, Ильин и др.), Казанского ветеринарного института им. Баумана (Киршин, Бударков и др.), Ленинградского ветеринарного института (Воккен и др.), ВИЭВ (Карташов, Круглов и др.) На основе эффектов биологического действия ионизирующей радиации радиобиология рассматривает и ведет разработку прикладных вопросов радиобиологии в виде рационально-биологической технологии (РБТ) в животноводстве, ветеринарии и других областях сельского хозяйства в направлении стимуляции хозяйственно полезных качеств сельскохозяйственных животных и птиц под действием малых доз внешнего облучения, стерилизации ветеринарных, биологических (вакцины, сыворотки и др.) и лекарственных препаратов (витамины, антибиотики и др.), биологических тканей, полимерных изделий, шовных и перевязочных материалов, консервирования пищевых продуктов и обеззараживания сырья животного происхождения (шерсть, кожа, пушнина и тд.) и отходов

сельскохозяйственного производства (навозные стоки) и тд. Наряду с этим радиобиология ведет разработку и использование методов радиоактивных изотопов в животноводстве и ветеринарии для изучения физиологии и биохимии животных, диагностики болезней и с лечебной целью, в селекционно-генетических исследованиях и т.д.

#### Задачи зооветеринарных специалистов:

1. Уметь оценивать радиационную ситуацию.
2. Диагностировать болезнь лучевых поражений.
3. Организовывать и проводить мероприятия по оказанию лечебно-профилактической помощи животным и ведение хозяйства на территории загрязненной радиоактивными и веществами.

Таким образом правильная своевременная организация по определению радиационной ситуации, обработке и защите животных может предотвратить заражение радиоактивными веществами мяса, молока и другой продукции, позволит использовать эти продукты с наибольшей эффективностью.

Ветеринарная радиобиология имеет тесные связи с рядом теоретических и прикладных областей и знаний - биологией, физиологией, цитологией, генетикой, биохимией, биофизикой и ядерной физикой.

Радиационная обстановка последние годы послужила поводом для создания в ряде ветеринарных лабораторий радиологических отделов, а в некоторых республиках, областях радиологических лабораторий.

Вновь созданная ветеринарная радиологическая служба должна держать под контролем огромные территории различных географических поясов, служащие источником корма и средой обитания для сельскохозяйственных и промысловых животных, не измеримые по своим масштабам и разнообразные по химическому составу водоемы как среду обитания рыбы и других пищевых гидробионтов разнообразные и зонально различные продукты растительного и животного происхождения как источник питания и сырье для промышленности и многое другое.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дать определение, что такое радиобиология, ее связь с другими дисциплинами.
2. Цель и задачи, структура курса.
3. Вклад отечественных ученых в развитие науки.
4. Основоположники развития радиологии и радиобиологии.
5. Задачи зооветеринарных специалистов в случаях загрязнении окружающей среды радионуклидами.

#### Список литературы

##### Основная

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – СПб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2
2. **Лысенко, Н. П.** Радиобиология: учебник/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – СПб.: Лань, 2012 – ISBN 978-5-8114-1330-0

##### Дополнительная

1. **Сахаров, В. К.** Радиоэкология./ Сахаров, В. К.- СПб: Лань.- 2006.- 320 с.

## Лекция 2.

# ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ. СТРОЕНИЕ АТОМА. ИЗОТОПЫ, ИЗОБАРЫ, ИЗОМЕРЫ. ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ И ЕДИНИЦЫ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА.

## 2.1. Строение атома

Окружающий нас мир построен из бесчисленного множества атомов различных элементов. Размеры атомов чрезвычайно малы. Достаточно сказать, что диаметр самого легкого атома водорода составляет всего лишь одну стомиллионную часть сантиметра ( $10^{-9}$  см).

**Атом** (гр. Слово *atomos* - неделимый) представляет собой элементарную частицу, которая сохраняет все физические и химические свойства данного элемента. До конца 19 века считалось, что атом неделим. Однако как показали исследования в области атомной физики, атом — это сложная система, состоящая из более мелких элементарных частиц. Итак,

Мельчайшая частица химического элемента, которая является носителем его химических свойств называется атомом. В природе только инертные газы обнаруживаются в виде атомов, т. к. их внешние оболочки замкнутые, все остальные вещества существуют в виде молекул.

Атом любого элемента можно разделить на субатомные (элементарные) частицы, и в этом случае он утратит свойства, характерные для данного элемента.

К элементарным частицам относят электроны, протоны, нейтроны, мезоны, нейтрино и ряд других. Определение «элементарные»- не означает, что эти частицы простейшие бесструктурные элементы материи. Например, электрон, так же многообразен, как и атом.

Атомы всех элементов, входящих в периодическую систему, состоят из электронов, протонов, и нейтронов. Один элемент отличается от другого только числом и расположением этих частиц.

В начале XX в. было выдвинуто несколько теорий строения атома, которые называли моделями атома.

В 1911 г. Э. Резерфорд предложил планетарную модель атома, которая более глубоко была развита Н. Бором (1913).

Согласно этой модели, в центре атома расположено ядро, имеющее положительный электрический заряд. Вокруг ядра перемещаются по электрическим орбитам электроны, образующие эллиптическую оболочку атома.

**Электронная оболочка** — оболочка атома образованная электронами. Электрон представляет, собой элементарную частицу с поперечным сечением порядка  $10^{-18}$  см. Его масса равна  $9.1 \cdot 10^{-28}$  г, или 0,000548 ат.ед. массы, е энергетический эквивалент электрона составляет  $0,000543 \cdot 931 = 0,511$  МэВ. (энергию частиц выражают в электронвольтах - эВ). эВ - энергия, которую приобретает электрон проходящий в электрическое поле с разностью потенциалов в 1В.

Электрон несет один элементарный отрицательный заряд электричества  $1.602 \cdot 10^{-19}$  кулона и поэтому его обозначают символом  $e$ . Число электронов в нейтральном атоме каждого элемента равно его порядковому номеру в таблице Д.И. Менделеева.

Каждый электрон вращается в определенной зоне вокруг ядра. Если электронов 3 и больше, то вращаются на орбитах разных радиусов или, как говорят, на разных уровнях. Орбиты группируются в определенные электронные слои, окружающие ядро, они создают его оболочку. Таких слоев максимально может быть семь.

Их обозначают буквами латинского алфавита: K,L,M,N,O,P,Q, причем ближайший к ядру является слой - K.

Соответственно числу электронных слоев в периодической системе все элементы размещаются в семи периодах.

Сумма отрицательных зарядов электронов оболочки уравнивается равновеликим, но положительным зарядом ядра. Поэтому в невозбужденном состоянии атом в целом электрически нейтрален. Чем ближе к ядру вращается электрон, тем меньше уровень энергии вращения (кинетическая энергия), но тем больше его энергия связи с ядром (потенциальная энергия).

Например, энергия K - электрона  $Sr^{90}$  (стронций) равно 16,15 кэВ (килоэлектрон вольт), а альфа- электрон только 1.95 кэВ. Энергия связи электрона на внешней орбите часто не превышает 1-2 эВ. И отсюда его сорвать легче. Здесь он легче вступает во взаимодействие с окружающей средой, чем электроны других орбит обуславливают электрические, химические, оптические и др. свойства атома.

Поскольку в каждом слое электроны имеют свой уровень энергии, то перескок отдельного электрона с орбиты на орбиту всегда связан с поглощением или освобождением энергии. Но так как орбиты имеют строго определенные диаметры, то изменения энергии электрона совершаются ступенчато, определенными порциями.

Строение атома. Атом, обладающий избытком энергии называется ВОЗБУЖДЕННЫМ, а переход электронов с одного энергетического уровня на другой, более удаленным, от ядра - процессом ВОЗБУЖДЕНИЯ.

Поскольку в природе всякая система стремится перейти в положение, при котором ее энергия будет наименьшей то и атом из возбужденного состояния переходит первоначальное.

Возвращение атома в обычное состояние сопровождается делением избыточной энергии. Переход электронов из внешних орбит на внутренние сопровождается рентгеновым излучением с длиной волны, характерной для каждого энергетического уровня данного атома (характеристическое рентгеновское излучение).

Переходы электронов в пределах внешних орбит дают оптический спектр, который состоит из ультрафиолетовых, световых и инфракрасных лучей.

При сильных электрических воздействиях электроны вырываются из атома и удаляются за его пределы.

Атом, лишившийся одного или нескольких электронов, превращается в положительный ион, а присоединивший к себе один или несколько электронов - в отрицательный.

Следовательно, на каждый положительный ион образуется один отрицательный ион, т. е. возникает пара ионов.

Процесс образования ионов из нейтральных атомов называется ионизацией.

Атом в состоянии иона существует в обычных условиях чрезвычайно короткий

промежуток времени.

Свободное место на орбите положительного иона заполняется свободным электроном, и атом вновь становится электрически нейтральной системой. Этот процесс носит название рекомбинации ионов (деионизация) и сопровождается выделением избыточной энергии в виде излучения. Энергия, выделяющаяся при рекомбинации ионов, количественно примерно равно затраченной на ионизацию. Таким образом, с положением электронов в электронной оболочке связано ряд свойств атома: возбуждение, ионизация и излучение энергии.

Процесс ионизации атомов имеет важное практическое значение для обнаружения и дозиметрии излучений, а также для понимания биологического действия ионизирующей радиации.

### **Строение ядра.**

Ядро атома имеет главное, определяющее значение для атома и в частности, обуславливает строение его электронных оболочек. Вещество ядра чрезвычайно плотно упаковано.

Ядро обладает зарядом положительного электричества и состоит из протонов и нейтронов. Обе эти частицы рассматриваются как разные состояния одной и той же тяжелой частицы, называемой нуклоном (гр. нуклеус - ядро).

Протон и нейтрон имеют массу, близкую к единице (1 а.е.м.) причем протон имеет единичный элементарный положительный электрический заряд, а нейтрон электрического заряда не имеет.

Число протонов в ядре равно порядковому номеру элемента в периодической системе, иначе называемому атомным номером или зарядовым числом -  $Z$  (зета).

Число нуклонов, т.е. протонов и нейтронов вместе, соответствуют атомному весу элемента, округленному до целых единиц. Это число называется массовым числом и обозначают буквами  $M$  или  $A$ .

Очевидно, число нейтронов в ядре равно разности между массовым числом и атомным номером элемента

$$N = M (A) - Z$$

Диаметр ядра атома равен примерно  $10^{-13} \dots 10^{-12}$  см и составляет 0,0001 диаметра всего атома. Однако практически вся масса атома (99,95 - 99,98%) сосредоточено в ядре, рассчитано, что если бы удалось получить  $1 \text{ см}^3$  чистого ядерного вещества, то оно весило бы 100 - 200 млн. т. Масса электронной оболочки незначительна, поэтому масса ядра почти совпадает с массой атома.

При обозначении атомов обычно пользуются символом элемента, которому принадлежит атом, и указывают сверху массовое число, а внизу — порядковый номер ( $Z$ ) в форме индекса  ${}^Z X$  где  $X$  - символ элемента, например, ядро углерода  ${}^{12}_6\text{C}$  содержит 12 нуклонов, из них 6 протонов, ядро натрия  ${}^{23}_{11}\text{Na}$  имеет 23 нуклона, из них 11 протонов.

Порядковый номер иногда опускают, так как символ элемента вполне определяет его место в периодической системе.

### Энергия связи частиц в атоме.

Внутри ядра между одноименно заряженными протонами существуют силы взаимного отталкивания (кулоновское отталкивание). Но наряду с ними тут действуют гораздо более мощные ядерные силы взаимопритяжения, удерживающие протоны и

нейтроны в ядре.

Считают, что наиболее вероятно ядерные силы возникают в процессе непрерывного обмена между нуклонами и особыми частицами (квантами ядерного поля), которые называют ПИ- мезонами или пионами. Ядерные силы - короткодействующие. Они значительны только на очень малых расстояниях, сравнимых с поперечником самих ядерных частиц ( $10^{-13}$  см). С увеличением расстояния между ядерными частицами ядерные силы очень быстро уменьшаются и становятся практически равными 0.

Ядерные силы обладают свойством насыщения, т.е. каждый нуклон взаимодействует только с ограниченным числом соседних нуклонов. Поэтому при увеличении числа нуклонов в ядре ядерные силы значительно ослабевают. Этим объясняется меньшая устойчивость ядер тяжелых элементов, в которых содержится значительное количество протонов и нейтронов.

Чтобы разделить ядро на составляющие его протоны и нейтроны и удалить их из поля действия ядерных сил надо совершить работу, т.е. затратить энергию.

Эта энергия называется энергией связи ядра. При образовании ядра из нуклонов выделяется энергия связи. Если, например, рассчитать массу ядра атома гелия по формуле:  $m_{\text{я}} = m_p N_p + m_n N_n$  ( $m_{\text{я}}$  - масса ядра,  $m_p$  - масса протона,  $N_p$  — количество протонов,  $m_n$  - масса нейтронов,  $N_n$  - количество нейтронов), то она будет равна:

$$m_{\text{я}} = 1,0076 \cdot 2 + 1,0089 \cdot 2 = 4,033 \text{ а.е.м.}$$

Фактически, масса ядра гелия = 4,003 а.е.м.

Т.к. масса ядра гелия оказывается меньше массы своих составных частей, взятых в отдельности, на величину 0,03 а.е.м. В этом случае говорят, что ядро имеет дефект массы (недостаток массы).

Разница между массой ядра расчетной и массой ядра фактической называется дефектом массы ( $\Delta m$ )  $\Delta m = m_{\text{я}} \text{ расчетная} - m_{\text{я}} \text{ фактическая}$ .

Дефект массы показывает, насколько прочно связаны частицы в ядре, а так же сколько выделилось энергии при образовании ядра из отдельных нуклонов.

Этот расчет можно произвести на основании уравнения взаимосвязи между массой и энергией, разработанного А. Эйнштейном:

$$E = \Delta m c^2, \text{ где}$$

E- энергия в эргах; m - масса в г; c - скорость света, равная  $3 \cdot 10^{10}$  см/с.

В соответствии с этим законом масса и энергия представляет собой разные формы одного и того же явления.

Ни масса, ни энергия не исчезают, а при соответствующих условиях переходят из одного вида в другой, т.е. любому изменению массы  $\Delta m$  системы соответствует эквивалентное изменение ее энергии  $\Delta E$ :

$$\Delta E = \Delta m c^2.$$

Используя это уравнение, подсчитаем энергию, которая выделится при образовании ядра гелия из отдельных нуклонов:

$$\Delta E = 0,03 \cdot 1,6 \cdot 10^{-24} \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ эрг.}$$

За единицу энергии принят электронвольт, поэтому энергию связи ядра можно выразить в электрон-вольтах исходя из того, что энергетический эквивалент 1 а.е.м.

составляет 931 МэВ

$$\Delta E = 0,03 \cdot 931 = 27,93 \text{ МэВ} \approx 28 \text{ МэВ.}$$

Если бы существовал способ разделения ядра атома гелия на 2 протона и 2 нейтрона, то для этого потребовалось бы затратить не меньше 28 МэВ энергии.

Средняя энергия связи, приходящиеся на один нуклон, называется удельной энергией связи (сила атома). Для гелия оно составляет  $28:4 = 7 \text{ МэВ}$ .

Следовательно, зная дефект массы, можно легко вычислить энергию связи ядра. Энергия связи ядер соразмерно возрастает с увеличением числа нуклонов, однако не строго пропорционально их числу. Например, энергия ядре дейтерия составляет 2,2 МэВ, азота - 104,56, а урана - 1800 МэВ. Если не считать самых легких ядер (дейтерий, тритий), это энергия связи на 1 нуклон составляет для всех ядер примерно 8 МэВ.

Для сравнения необходимо напомнить что химическая энергия связи атомов в молекулах в расчете на 1 атом равно нескольким электровольтам (2 - 5 эВ). Именно этим объясняется, что ядерные реакции характеризуются в миллион раз большими энергиями, чем обычные химические реакции. Таким образом закон взаимосвязи массы и энергии показывает, откуда возникает та колоссальная энергия, которая выделяется при синтезе и делении ядер.

## 2.2. Понятие об изотопах, изомерах, изобарах, изотопах.

Большинство элементов в природе представляет собой смесь разновидностей атомов, ядра которых содержат неодинаковое число нейтронов, т.е. различаются по массе.

Атомы одного и того же элемента с одинаковым зарядом ядра (число протонов), но различной по числу нейтронов - называются изотопами. Например, изотопы кислорода  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$ . Большинство (71 из 90) природных элементов - изотопы.

Элементы с одинаковой массой ядра но различным зарядом (число протонов) - называется изобарами.

Например  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  $^{40}_{18}\text{Ar}$ .

Атомы элемента с одинаковым массовым числом, но ядра которых находятся в различном энергетическом состоянии, называются - изомерами.

Они обладают разным периодом полураспада (Т), энергией и видом излучения ( $^{80}_{35}\text{Br}$  с Т= 18мин, и  $^{80}_{35}\text{Br}$  с Т = 4,4 ч;  $^{60}_{27}\text{Co}$  с Т = 5,3 и  $^{60}_{27}\text{Co}$  с Т = 1,07 мин).

Изомер с избытком энергии - метастабильное состояние - обозначается латинской буквой «m», поставленной рядом с массовым числом ( $^{80m}\text{Br}$ ).

Атомные ядра разных элементов с равным числом нейтронов называют изотонами или элементы с равным числом нейтронов в ядре, но различным числом протонов, т.е. с различным зарядом ядра -  $^{13}_6\text{C}$ , и  $^{14}_7\text{N}$  - в ядре первого 6 p и 7 n. в ядре второго 7 p и нейтронов тоже 7.

Изотопы стабильные - изотопы элементов с устойчивым соотношением количества протонов и нейтронов в ядре (1:1) т.е. постоянной массой атома. Известно около 300.

Изотопы нестабильные - радиоактивные изотопы с неустойчивым соотношением

количества протонов и нейтронов в ядре. Начиная с 83-го элемента т. Менделеева - все изотопы элементов радиоактивны. Известно свыше 1200.

### **2.3. Явление радиоактивности и единицы ее измерения.**

Одним из важнейших открытий в конце прошлого столетия было открытие радиоактивности.

Радиоактивность была открыта в 1896 г французским физиком Анри Беккерелем, который установил, что соли урана испускают невидимые лучи, которые, подобно рентгеновским проходят, через непрозрачные вещества (черная бумага) и действуют на фотографическую пленку (их так и назвали лучами Беккереля.)

В дальнейшем Мария Складовская и Пьер Кюри установили, что кроме солей урана, лучи Беккереля испускают соединения тория, а также два открытых ими новых химических элементов - полоний и радий. Все эти вещества Мария и Пьер Кюри назвали радиоактивными, что значит - обладающие свойствами испускать лучи.

Вскоре было и открыто биологические действия радиоактивного излучения. Однажды Беккерель взял у Пьера Кюри ампулу с радием, и положив ее в жилетный карман, проходил с ней несколько часов. Вскоре на коже, под тем самым местом где лежала ампула, появилось покраснение, а еще через несколько дней образовалась язва, которая зарубцевалась только через 2 месяца. Позже было установлено, что лучи радия разрушительно действуют на ткани, причем особенно на быстро размножающиеся клетки.

Появилась идея использовать облучение радием в борьбе со злокачественными опухолями (раком). Так появился новый лечебный метод - радиотерапия.

Впоследствии были установлены свойства этих излучений и определена их природа. Кроме того было обнаружено что радиоактивные вещества непрерывно выделяют энергию в виде тепла. Явление самопроизвольного излучения было названо радиоактивностью, а вещества испускающие излучения - радиоактивными (лат. Radius - луч).

Радиоактивность - это свойство ядер определенным элементов самопроизвольно (т.е. без каких-либо внешних воздействий) превращаться в ядра других элементов с испусканием особого рода излучения, называемого радиоактивным излучением. Само явление называется радиоактивным распадом.

Таким образом, радиоактивность является исключительно свойством атомного ядра и зависит только от его внутреннего состояния.

Радиоактивные явления, происходящие в природе, называют естественной радиоактивностью; аналогичные процессы, происходящие в искусственно полученных веществах (через соответствующие ядерные реакции) – искусственной радиоактивностью. Однако деление это условно, т.к. оба вида радиоактивности подчиняются одним и тем же законам.

В земной коре естественно-радиоактивные элементы имеются преимущественно в урановых рудах и почти все они являются изотопами тяжелых элементов с атомным номером более 83. Ядра тяжелых элементов неустойчивы. Они претерпевают в ряде случаев многократные последовательные ядерные превращения. В результате возникает целая цепочка радиоактивных распадов, в которой изотопы оказываются генетически связанными между собой. Такая цепочка - совокупность всех изотопов

ряда элементов, возникающих в результате последовательных радиоактивных превращений из одного материнского элемента - называется радиоактивным семейством или рядом.

В настоящее время известно 3 естественно- радиоактивных семейства: урана-радия -  $^{238}_{92}\text{U-Ra}$ ), тория ( $^{238}_{90}\text{Th}$ ) и актиния ( $^{235}_{89}\text{Ac}$ ).

#### Типы ядерных превращений

Существуют следующие типы ядерных превращений или виды радиологического распада альфа распад, бета - распад (электронный, позитронный), электронный захват, внутренняя конверсия.

#### **Единицы радиоактивности.**

Радионуклиды трудно получить в абсолютно чистом виде. Обычно они находятся в смеси с нерадиоактивными веществами и, как правило в количестве, зачастую не поддающимся всеобщему определению. Поэтому мерой количества радионуклида служит не вес, выраженный в граммах, а активность.

Активностью радиоактивного препарата называется количество атомов, распадающихся в нем за секунду. Следовательно, активность определяется числом распадов в единицу времени. Активность радионуклида характеризует абсолютную скорость его радиоактивного распада.

Как следует из закона радиоактивного распада, активность радионуклида пропорциональна числу радиоактивных атомов, т.е. возрастает с увеличением количества данного вещества. Поскольку скорость распада разных радионуклидов различна, то одинаковые весовые количества различных радионуклидов имеют разную активность.

Так если взять с одинаковой массой радионуклиды  $^{238}\text{U}$ ,  $^{32}\text{P}$  и  $^8\text{Li}$ , обладающие различными периодами полураспада ( $4,5 \cdot 10^9$  лет), 14,3 дня, и 0,89 с соответственно., то самая высокая активность будет у лития и фосфора и очень малая у урана, т.к. наибольшее количество распадов в 1 с будет у первых двух изотопов.

Единицей активности в абсолютной системе единиц (СИ) служит распад в секунду (расп/с). Этой единице присвоено наименование беккерель (Бк);  $1\text{Бк} = 1\text{с}^{-1}$

Наиболее употребительная является внесистемная международная единица кюри (Ки).

Кюри - это такое количество любого радиоактивного вещества, в котором число радиоактивных распадов в секунду равно  $3,7 \cdot 10^{10}$ . Единица Кюри соответствует радиоактивности 1 г радия. Кюри очень большая величина, поэтому обычно употребляют дробные производные единицы.

Милликюри (мКи) =  $10^{-3}$  Ки =  $3,7 \cdot 10^7$  расп п/с;

Микрокюри (мкКи) =  $10^{-6}$  Ки =  $3,7 \cdot 10^4$  расп/с;

Нанокюри (нКи) =  $10^{-9}$  Ки =  $3,7 \cdot 10^{-1}$  расп/с;

Пикокюри (пКи) =  $10^{-12}$  Ки = 0,037 расп/с.

На практике часто пользуются числом распадов в секунду, тогда единица радиоактивности кюри и дробные от нее принимают следующие значения:

1 Ки =  $2,22 \cdot 10^{12}$  расп/мин;

1 мКи =  $2,22 \cdot 10^9$  расп/мин

1 мКи =  $2,22 \cdot 10^6$  расп/мин

1 иКи =  $2,22 \cdot 10^3$  расп/мин

1 пКи = 2,22 расп/мин.

В 1946 г. Е. Кондон и Л. Куртис предложили новую единицу активности резерфорд (рд =  $10^6$  расп/с) - встречается редко (но удобна). В единицах кюри и резерфорд выражают альфа и бета - активность.

Радиоактивные вещества характеризуются величиной удельной активности или концентрации, т.е. активностью, приходящейся на единицу массы (объема). Единицами удельной активности являются: Ки/мл, К и/л, Ки/г, К и/кг и их производные.

Убыль активности любого радиоактивного препарата определяется по формуле, соотв. Основному закону радиоактивного распада:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-(0,693 \cdot t/T)}$$

$A_t$  - активность препарата через  $t$  времени;  $A_0$  - исходная активность препарата;  $T$  - период полураспада значения  $T$  и  $t$  должны иметь одинаковую размерность (минуты, часы, дни и т.д.)

Пример: Активность ( $A_0$ )  $^{32}\text{P}$  на определенный день равно 5 мКи. Определить активность этого элемента через неделю. Период полураспада элемента  $T^{32}\text{P} = 14,3$  дня. Активность  $^{32}\text{P}$  через 7 дней будет равно.

$$A_t = 5 \cdot 2,72 \cdot (0,693 \cdot 7/14,3) = 5 \cdot 2,72^{-0,24} = 3,55 \text{ мКи.}$$

Миллиграмм - эквивалент радия - это активность. любого радиоактивного препарата, гамма-излучение которого при идентичных условиях измерения создают такую же мощность экспозиционной дозы, как гамма - излучение. Единица (мг-экв. радия) не установлены, существующими стандартами, но широко используются на практике.

### **Ионизирующие излучения и единицы их излучения.**

Важнейшее свойство ядерных излучений — их способность вызывать ионизацию атомов и молекул, в связи с чем ядерные излучения называют также ионизирующими излучениями.

Радиобиологические эффекты, наблюдаемые при воздействии ионизирующих излучений на живые организмы, обусловлены поглощенной энергией излучения, т.е. количеством энергии, поглощенной 1 см<sup>3</sup> ткани. Поглощенную энергию измеряют, определяя ионизацию в воздухе с последующим пересчетом на ткань. В качестве дозы ионизирующего излучения служат специальная единица - рентген.

За единицу дозы излучения в воздухе (1Р) - экспозиционная доза — принимается поглощенная энергия (0,114 эрг/см<sup>3</sup>), которая в 1 см воздуха при 0°C и 760 мм рт. ст. (1013,3 ГПа) приводит к образованию  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов. При дозе ионизирующего излучения в воздухе, равной 1Р, поглощенная энергия в воздухе в расчете в 1 г составляет 88 эрг, а в мягких тканях в расчете на 1 г - 92 - 97 эрг.

Рентген (внесистемная единица) 1 Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг, принятая в 1928 году

### **Доза излучения в ткани (поглощенная доза).**

Доза измеряется в радах, причем 1 рад = 100 эрг/г =  $1 \cdot 10^{-2}$  Дж/кг.

В системе единиц СИ в качестве единицы поглощенной дозы принят грей (Гр),

при этом  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$ . Для измерения дозы излучения применяют и производные единицы:  $1 \cdot 10^{-6}$  (микро-мк): мкР, мкрад, мкГр;  $1 \cdot 10^{-3}$  (мили – м) мР, мГр;  $1 \cdot 10^3$  (кило - к): кР, крад, кГР;  $1 \cdot 10^6$  (мега - М): МР, Мрад, МГр.

Биологические эффекты при облучении живых организмов (систем) зависят не только от дозы излучения, но и на качества ионизирующего излучения.

Накоплен большой экспериментальный материал, свидетельствующий о том, что радиобиологический эффект при идентичных дозах увеличивается по мере роста плотности ионизации.

**Линейная передача энергии (ЛПЭ)**, характеризуемая отношением полной энергии ( $d_e$ ), переданной веществу заряженной частицей вследствие столкновений на пути ( $dl$ ), к длине этого пути, измеряется во внесистемных единицах как килоэлектрон-вольт на микрометр йоды (кэВ/мкм).

В радиобиологии есть понятие коэффициент качества излучения ( $k$ ). Он позволяет учитывать возможные различия биологической эффективности ионизирующих излучений разного качества (по критерию ЛПЭ).

Согласно Нормам радиационной безопасности НРБ- 99/2009 коэффициент качества, учитывающий неблагоприятные биологические последствия облучения человека в малых дозах, составляет: для рентгеновского и гамма излучения - 1, для протонов с энергией меньше 10 МэВ - 10, нейтронов с энергией 0,1 – 10 МэВ - 10, для альфа излучения с энергией меньше 10 МэВ - 20.

Для учета биологической эффективности различных излучений введено понятие эквивалентная доза. Ныне это одно из основных дозиметрических величин в обл. радиобиологии и радиационной безопасности.

**Эквивалентная доза** (сокращенно доза) это произведение поглощенной дозы ( $D$ ) данного вида ионизирующего излучения (гамма, бета, альфа излучения и т.д) на соответствующий коэффициент качества излучения ( $k$ ). За единицу эквивалента дозы принимают бэр биологический эквивалент рентгена  $1 \text{ бэр} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг}$ .

В практике используют дольные единицы: миллибэр ( $1 \text{ мбэр} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ бэр}$ ); микробэр ( $1 \text{ мкбэр} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ бэр}$ ); нанобэр ( $1 \text{ нбэр} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ бэр}$ ), В системе СИ единица эквивалентной дозы – Зиверт (Зв);  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ .

Важной дозиметрической величиной является мощность дозы, которая характеризуется дозой в единицу времени. Единица мощности дозы: Р/с; бэр/с; Зв/с.- Производные: миллибэр в час (мбэр/час); микробэр/час (мкбэр/час); рентген в час (Р/ч); миллирентген (мР/ч), микрорентген в час (мкР/ч).

## 2.4. Закон радиоактивного распада

Количество любого радиоактивного изотопа со временем уменьшается вследствие радиоактивного распада (превращения ядер).

Скорость распада определяется строением ядра, и поэтому нельзя повлиять на этот процесс никакими обычными физическими или химическими способами, не изменив состояние атомного ядра.

Для каждого радиоактивного изотопа средняя скорость распада его атомов постоянна, неизменна и характерно только для данного изотопа.

Постоянная радиоактивного распада ( $\lambda$ -лямбда) для определенного изотопа

показывает, какая доля ядер распадается в единицу времени. Размерность постоянной распада выражают в обратных единицах времени:  $C^{-1}$ ;  $мин^{-1}$ ;  $ч^{-1}$  и т.д., чтобы показать, что количество радиоактивных ядер не растёт, а убывает.

Величина обратная постоянной распада ( $T = 1/\lambda$ ), ( $\tau$ ), называется средней продолжительностью жизни ядра.

**Основной закон радиоактивного распада** устанавливает, что за единицу времени распадается всего одна и та же доля имеющихся в наличии ядер. Математически закон радиоактивного распада выражается уравнением:  $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$

- это количество радиоактивных ядер оставшихся по прошествии времени  $t$ ,  $N_0$ - исходное число радиоактивных ядер в момент времени  $t=0$

$t=0(N_0 > N_t)$ - основание натуральных логарифмов ( $e = 2,73$ );  $\lambda$  - постоянная радиоактивного распада,  $t$  - промежуток времени равный ( $t - t_0$ ).

По этой формуле можно рассчитать количество не распавшихся радиоактивных атомов в данный момент времени.

Для характеристики скорости распада радиоактивности элементов в практике пользуются - периодом полураспада.

**Период полураспада** - это время, в течении которого распадается половина исходного количества радиоактивных ядер.

Он обозначается буквой  $T$  и выражается в единицах времени. Для различных радиоактивных изотопов период полураспада имеет значение от долей секунды до миллиардов лет.

Радиоактивные элементы разделяются на короткоживущие (часы, дни) и долгоживущие (годы).

Связь между периодом полураспада и постоянной распада легко выводится из уравнения Закона радиоактивного распада  $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ , если в это выражение подставить  $t = T$  и  $N_t = N_0/2$ , то получим,  $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T}$

Сократив  $N_0$  и взяв натуральный логарифм, получим:  $\lambda T = \ln 2$ , т.е.  $\lambda T = 0,693$  откуда

$\lambda = 0,693/T$ ;  $T = 0,693/\lambda$ , где  $T$  (период полураспада),  $\lambda$  - постоянная радиоактивного распада.

Это соотношение показывает, что между постоянной распада и периодом полураспада имеется обратная зависимость, т.е. чем больше значение  $\lambda$ , тем меньше значение  $T$  и наоборот. Заменив  $\lambda$  в формуле ее значением, получим:

$$N_t = N_0 (0,5)^{t/T}$$

Таким образом, число ядер радиоактивного изотопа уменьшится со временем по экспоненциальному закону.

С увеличением числа периодов полураспада количество нераспавшихся атомов убывает постепенно приближаясь к 0, т.к. распад ядер происходит неравномерно, то большими, то меньшими порциями, следовательно, одну и ту же пробу необходимо считать не один, а несколько раз (время счета по т. Бэлла).

## Вопросы для самоконтроля

1. Диалектическое представление о строении атома.
2. Какой атом называется возбужденным и что такое процесс возбуждения.
3. Что такое рекомбинация ионов.
4. Дать характеристику строению ядра.
5. Что такое энергия частиц в атоме.
6. Что такое изотопы, изобары, изомеры.
7. Что такое радиоактивность и единица ее измерения.
8. Перечислите типы ядерных превращений.
9. Закон радиоактивного распада и что он показывает.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Лебеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2
2. **Лысенко, Н. П.** Радиобиология: учебник/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – СПб.: Лань, 2012 – ISBN 978-5-8114-1330-0

### Дополнительная

1. **Оробец, В.А.** Радиозэкология : курс лекций/В.А. Оробец, О.А. Рыбальченко : СтГАУ.- Ставрополь: АГРУС, 2007. -204 с.
2. **Ярмоленко, С.П.** Радиобиология человека и животных: учебник для биологических спец. ВУЗов / С.П. Ярмоленко. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.
3. **Кузин, А.М.** Прикладная радиобиология. / А.М. Кузин, Д.А. Каушанский.- М.: Энергоатомиздат, 1991 г., 221 с.

## ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЬФА, БЕТА-ЧАСТИЦ И ГАММА-ЛУЧЕЙ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ.

### 2.5. Характеристика альфа , бета и гамма - лучей.

Радиоактивное излучение невидимо, но обнаруживается рядом объективных явлений. Наиболее характерными из них являются: фотохимические действие, возбуждение, люминесценции и ионизации вещества, в котором излучение поглощается.

Было обнаружено, что радиоактивное излучение в поперечном магнитном поле разделяется обычно на три пучка. Один из них в магнитном поле не отклоняется и, следовательно, не имеет электрического заряда, два других в магнитном поле отклоняются в противоположные стороны, следовательно, они состоят из электрически заряженных частиц различного знака. Лучи, отклоняющиеся к (-) заряженной пластинке, условно были названы альфа — лучами, отклоняющиеся к положительно заряженной пластинке - бета-лучами, а лучи, которые совсем не отклонялись были названы гамма-лучами (истинные).

**Альфа-излучение** - поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия), движущихся со скоростью 20000 км/с. Альфа - частицы имеют большую массу и обладают значительной энергией, но их проникающая способность не велика – их пробег в твердых и жидких средах составляет сотые доли мм. Они вызывают сильно

выраженные эффекты, ионизации и флуоресценции. Потому вся энергия альфа - частиц (на 1 см пути альфа- частицы образуют 100-250 тыс. пар ионов) передаются клеткам организма - нанося вред.

Вследствие малой проникающей способности альфа частицы могут быть полностью задержаны листом плотной бумаги, одеждой, слоем резины и хирургических перчаток, эпидермисом.

Альфа- частицы - ядро состоящее из 2-х протонов и 2-х нейтронов.

Альфа - излучение - поток ядер атомов гелия (альфа-частиц).

**Бета-излучение** - поток отрицательно заряженных частиц (электронов). В электрическом поле они отклоняются к положительному полюсу. Их скорость приближается к скорости, света. Бета- частицы имеют небольшую массу (они в 1840 раз легче протонов), но отличаются большой проникающей способностью — в воздухе они могут пробегать путь длинной, измеряемой десятками сантиметров и даже несколькими метрами. (в мягких тканях максимальный пробег бета—частиц достигает нескольких сантиметров)

Бета— частицы средних энергий задерживаются оконным стеклом, подошвой обувью и т.п., но бета — частицы с энергией 0,07 МэВ (электронвольт) уже могут пробить эпидермис. Поэтому даже при работе с мягкими (бета -излучателями руки должны быть защищены перчатками, а от жестких (бета -частиц с энергией 0,5 МэВ и выше) следует защищаться экраном.

**Гамма-излучение** представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение.

Гамма - лучи не отклоняются ни в электрическом, ни в магнитном поле. По свойствам это излучение близко к рентгеновскому, но обладает значительно большей скоростью и энергией. Оно распространяется со скоростью света. Характерная особенность гамма-излучения - исключительно высокая проникающая способность .

Пробег гамма - квантов в воздухе может достигать 100 м, в мягки тканях — десятки сантиметров.

Гамма - излучение в поглотителе тем сильнее, чем меньше энергия квантов и больше масса т.е. объем, плотность и порядковый номер поглотителя. По воздуху  $\gamma$ -кванты свободно пролетают 100 м. При этом слой полуослабления (  $1/2$ ) для квантов с энергией 2,5 МэВ составляет в воздухе 200 м, в свинце только — 1,8 см, в бетоне-10 см, а в дереве - 25 см.

Слой свинца толщиной 40 см ослабляет энергию таких  $\gamma$  -квантов в  $10^7$  раз.

С целью противорадиационной защиты должны проводиться мероприятия по предупреждению попадания и резобции радионуклеидов и ускорение их выведения из организма. С этой целью используется большое количество химических веществ, сорбирующих радионуклиды или переводящие их в прочные комплексы.

Гамма-кванты — высвечиваемое излучение, испускаемое при радиоактивном распаде ядрами с избытком энергией, не захваченной альфа и бета -частицами.

## **2.6. Взаимодействие радиоактивных излучений с веществом.**

Обнаружение и регистрация всех видов ядерных излучений ( $\alpha$  и бета-частицы,  $\gamma$ -кванты, нейтроны и т.д.) выбор материала для защиты, оценка биологического действия излучения основаны на эффектах, которые возникают при взаимодействии излучений с веществом.. Для понимания принципов этих явлений необходимо знать, каким образом различные по природе излучения взаимодействуют с веществом.

### **Взаимодействие альфа и бета - частиц**

Заряженные частицы, проходя через вещество постепенно теряют энергию в основном в результате взаимодействия с электронами атомов, а также с электрическим полем ядра.

В процессе взаимодействия с электронами атомов кинетическая энергия альфа и бета — частиц растрачивается на ионизацию, т.е. на отрыв электронов от атомов и на возбуждение атомов и молекул (ионизационные потери энергии). Взаимодействуя с электрическим полем ядра, заряженная частица тормозится и меняет направление своего движения, при этом происходит испускание излучения, которая по своей характеристике близко к рентгеновскому и называется тормозным рентгеновым излучением.

Уменьшение кинетической энергии заряженных частиц в электрическом поле ядра составляет радиационные потери, которые будут тем значительнее чем больше порядковый номер атомов среды (плотность вещества) и энергия частиц. Следует отметить, что радиационные потери и тормозное излучение характерно для бета-частиц.

Исходя из этого в практической работе для защиты от бета-излучения целесообразно использовать материалы малой плотности (плексиглас, стекло, полимеры и т.п.).

Величиной, определяющей энергетическую сторону процесса ионизации служит так называемая работа ионизации - средняя работа, затрачиваемая на образование одной пары ионов. Для воздуха этот показатель составляет в среднем 35 эВ для альфа и 34 эВ для бета - частиц. Если известна энергия заряженной частицы, легко можно подсчитать полную ионизацию, т.е. количество пар ионов, образованных на всем пути частицы:  $J = E/W$ , где  $E$  - энергия частицы,  $W$  - средняя энергия затраченная на образование одной пары ионов.

Заряженные частицы различные по природе, но с одинаковой энергией образуют практически одинаковое число пар ионов (одинаковая полярная ионизация.). Однако плотность ионизации или удельная ионизация, т.е. число пар ионов на единицу пути частицы в веществе, будет различная. Плотность ионизации возрастает с увеличением заряда частицы и с уменьшением ее скорости. Это обусловлено тем, что частицы с большим зарядом сильнее взаимодействуют с электронами, а частицы, обладающие меньшей скоростью, большее время находятся вблизи электронов, и их взаимодействие с ними также оказывается более сильным. Удельная ионизация у альфа-частиц самая большая из всех ядерных излучений. В воздухе на 1см пути альфа - частица образует несколько десятков тысяч пар ионов, в то время как бета-частицы- 50-100 пар ионов. Проходя через вещество заряженные частицы постепенно теряют энергию и скорость, поэтому плотность ионизации вдоль пути частицы возрастает и достигает наибольшей величины в конце пути.

Процесс ионизации будет происходить до тех пор пока энергия альфа и бета-частиц будет способна производить ионизацию. В конце пробега альфа-частица присоединяет к себе 2 электрона и превращается в атом гелия, а бета-частица (электрон) может включиться в один из атомов среды или на какое-то время остается свободным электроном.

Путь проходимый альфа или бета- частицей в веществе, на протяжении которого она производит ионизацию, называется пробегом частицы.

Пробег альфа-частиц в воздухе может достигать 10 см, а в мягкой

биологической ткани — несколько 10 микрон.

Пробег бета-частиц в воздухе достигает 25 см, а в биологической ткани до 1 см.

Распространяются альфа-частицы в веществе прямолинейно и изменяют направления движения только при соударениях с ядрами встречных атомов.

Бета-частицы, имея малую массу (в 7000 раз легче альфа - частицы), большую скорость и отрицательный заряд, значительно отклоняются от первоначального направления в результате соударения с орбитальными электронами и ядрами встречных атомов (эффект рассеяния).

Претерпевая многократное рассеяние бета-частицы могут даже двигаться в обратном направлении - обратное рассеяние. Эффект обратного рассеяния наблюдается при радиометрии исследуемых препаратов, если пробу наносить на подложку из материала большей плотности. Скорость счета в таких случаях иногда возрастает до 50% от активности измеряемого препарата.

В следствии значительного рассеяния бета-частиц в веществе истинная длина пути в 1,5-4 раза больше их пробега.

Таким образом, путь и пробег при характеристике бета-излучения имеет разное понятие, путь бета-частиц всегда больше чем, пробег. Пробег выражается в единицах длины (мк, мм, см и т.п.) или поверхности плотности ( $\text{г/см}^2$ ,  $\text{мг/см}^2$ ). Следует отметить еще одно различие прохождения альфа и бета-частиц через вещество.

1. Поскольку все альфа-частицы испускаемые данным радиоактивным изотопом, обладают относительно равной энергией и движутся в веществе прямолинейно, то число альфа-частиц в параллельном пучке, проходящем через единицу поверхности поглотителя, резко падает до нуля лишь в конце пробега.

2. Спектр бета- частиц непрерывен, поэтому с увеличением толщины поглотителя число бета- частиц в параллельном пучке, проходящем через единицу поверхности уменьшается постепенно, так как бета-частицы различной энергии будут поглощаться различными слоями поглотителя.

Ослабление интенсивности потока бета- частиц в веществе приблизительно подчиняется экспоненциальной зависимости.

$$N = N_0 e^{-\mu d},$$

$N$  - число бета- частиц прошедших через слой поглотителя  $d$  см;  $N_0$  -число бета- частиц, поступивших за 1 с на площадку поглотителя равную  $1 \text{ см}^2$ ;  $e$  - основание натуральных логарифмов (2,72);  $\mu$  (ми, мю) - линейный коэффициент ослабления излучения, характеризующий относительное ослабление интенсивности потока бета- частиц после прохождения поглотителя толщиной 1 см.

Обычно толщину поглотителя выражают не в единицах длины (см, мм), а в  $\text{г/см}^2$   $\text{мг/см}^2$ , т.е. указывают массу поглотителя, приходящуюся на  $1 \text{ см}^2$  его поверхности.

### **Взаимодействие гамма-частиц.**

При радиоактивном распаде ядра испускают гамма-кванты с энергией в пределах от нескольких КэВ (килоэлектронвольт) до нескольких МэВ (мега).

Гамма-кванты при прохождении через вещество теряют энергию в результате проявления практически трех эффектов:

1. Фотоэлектрического поглощения (фотоэффект),
2. Комптоновского рассеяния (комптоноэффект)
3. Образование электронно-позитронных пар (образование пар).

Относительная величина каждого из этих электронов зависит от атомного номера, поглощающего материала и энергии фотона.

Фотоэффект. При фотоэлектрическом поглощении  $\gamma$ -квант, сталкиваясь с прочно связанным электроном (чаще с электронами К-слоя) в атомах излучаемого вещества, полностью передает ему свою энергию сам исчезает, а электрон приобретает кинетическую энергию, равную энергии  $\gamma$ -кванта минус энергия связи электрона в атоме. Таким образом при фотоэффекте вся энергия первичного  $\gamma$ -кванта преобразуется в кинетическую энергию фотоэлектронов, которые ионизируют атомы и молекулы. На освободившееся место в орбите К-слоя перескакивает электрон I-слоя, на I-слой- электрон M-слоя и т.д. с высвечиванием квантом характеристического рентгенового излучения.

Фотоэлектрическое поглощение преобладает тогда, когда энергия  $\gamma$ -кванта не превышает 0,05 МэВ, а поглотитель представляет собой вещество с большим атомным номером (например свинец).

Процесс фотоэффекта не возможен на слабосвязанных и свободных электронах (не связанных с атомом), так как они не могут поглощать  $\gamma$ -кванты.

В воздухе, воде и биологических тканях фотоэлектрическое поглощение составляет 50% при энергии  $\gamma$ -квантов порядка 60 кэВ.

При  $E_\gamma$  (энергия) – 120кэВ для фотоэлектрического поглощения составляет около 10%, а начиная с 200кэВ, этим процессом можно пренебречь. В этом случае  $\gamma$ -излучение ослабляется за счет комптоновского рассеяния.

Комптонэффект. При комптоновском эффекте  $\gamma$ -кванты сталкиваясь с электронами, передают им не всю свою энергию, а только часть ее и после соударения изменяют направление своего движения, т.е. рассеиваются. Образовавшиеся в следствии соударения с  $\gamma$ -квантами электроны (электроны отдачи) приобретают значительную кинетическую энергию и растрачивают ее на ионизацию вещества (вторичная ионизация).

В отличие от процессов фотоэлектрического поглощения при комптонэффекте  $\gamma$ -кванты взаимодействуют с внешними, валентными электронами, энергия связи которых минимальная. Комптоновское рассеивание возможно на свободных электронах.

Таким образом в результате комптонэффекта интенсивность  $\gamma$ -излучение ослабляется за счет того что  $\gamma$ -кванты, взаимодействуя с электронами среды рассеиваются в различных направлениях, и выходят за пределы первичного пучка, а также за счет передачи электронам части своей энергии.

#### Образование электронно-позитронных пар.

Некоторые  $\gamma$ -кванты с энергией не ниже 1,02 МэВ, проходя через вещество, превращаются под давлением сильного электрического поля вблизи ядра атома в пару «электрон-позитрон» (позитрон- элементарная частица подобная электрону но с положительным зарядом).

В данном случае происходит преобразование одной формы материи  $\gamma$ -излучения в другую - в частицы вещества.

Образование такой пары возможна только при энергиях,  $\gamma$ -квантов, не меньших чем энергия, эквивалентная массе обеих частиц — электрона и позитрона. Поскольку масса электрона и позитрона одинаковы, то для образования их без сообщения им дополнительной кинетической энергии, энергия  $\gamma$ -кванта должна удовлетворять

отношению взаимосвязи массы и энергии:

$$E_{\gamma} = h\nu \geq 2m_e c^2 = 1,02 \text{ МэВ}$$

$h$  — универсальная постоянная планка или энергетический эквивалент ( $6,62 \cdot 10^{-27}$  эрг/с или  $4,13 \cdot 10^{-21}$  МэВ/с),  $\nu$  - частота колебаний в сек (ни, ню).

Если энергия  $\gamma$  -квантов больше 1,022 МэВ то избыток ее передается частицам. Тогда кинетическая энергия образующихся частиц  $E_k$  равна разности между энергией фотона  $E_{\nu}$  и удвоенной энергией покоя электрона

$$E_k = E_{\nu} - 2m_e c^2 = h\nu - 1,02 \text{ МэВ}.$$

Образовавшаяся электронно-протонная пара в дальнейшем исчезает превращаясь в два вторичных гамма -кванта с энергией, равному энергетическому эквиваленту массы покоя частиц ( - 0,511 МэВ позитронный распад).

Вторичные  $\gamma$  -кванты способны вызвать лишь комптонэффект и в конечном счете фотоэффект, т.е. терять энергию только при соударениях с электронами. Вероятность процесса образования пар увеличивается с увеличением энергии гамма-квантов и плотности поглотителя.  $\gamma$  - лучи высоких энергий (более 8 МэВ) могут взаимодействовать с ядрами атомов (ядерный эффект). Вероятность такого эффекта весьма мала, и этот вид взаимодействия практически не ослабляет излучений в веществе

Закон ослабления гамма-излучений веществом - существенно отличается от закона ослабления альфа и бета-частиц. Пучок  $\gamma$  -лучей поглощается непрерывно с увеличением толщины слоя поглотителя его интенсивность не обращается в ноль ни при каких толщинах слоя поглотителях.

Это значит что какой бы ни была толщина слоя вещества, нельзя полностью поглотить поток гамма-лучей, а можно только ослабить его интенсивность на любое заданное число раз. В это существенное различие характера ослабления гамма-лучей от ослабления альфа и бета-частиц, для которых всегда можно подобрать такой слой вещества в котором полностью поглощается поток  $\alpha$  и бета-частиц.

**Закон ослабления пучка  $\gamma$  - лучей имеет следующий вид:**

$$J = J_0 e^{-\mu d} / J(\text{иота}), \mu (\text{мю}).$$

Где  $J$  - интенсивность пучка  $\gamma$  -лучей, прошедших слой поглотителя  $d$ .  $J_0$  — интенсивность падающего пучка гамма-лучей,  $\mu$  — линейный коэффициент ослабления равный отношению уменьшению интенсивности пучка гамма-лучей прохождения слоя поглотителя толщиной 1 см.

Линейный коэффициент ослабления является суммарным коэффициентом который учитывает ослабление пучка гамма-лучей за счет всех трех процессов: фотоэффекта, комптонэффекта и образования пар.  $\tau$  —  $\tau$ (тау) - коэффициент поглощения энергии. Таким образом

$$\mu = \tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{к}} + \tau_{\text{п}}$$

Поскольку величина  $\mu$  зависит от энергии поступающих гамма-квантов и от материала поглотителя, то ее можно выразить через отношение  $\mu/\rho$ , где  $\rho$  — плотность вещества. В этом случае коэффициент  $\mu$  будет носить название массового коэффициента ослабления.

Закон ослабления может быть выражает также через слой половинного ослабления ( $\Delta 1/2$ ).

Толщина поглотителя после прохождения которого интенсивность излучения

ослабляется в двое, - называется слоем половинного ослабления;  $\Delta 1/2$  - измеряется в единицах поверхностной плотности ( $\text{мг/см}^2$ ) и зависит от энергии излучения и плотности поглотителя. Между линейным коэффициентом ослабления и слоем половинного ослабления существует следующая взаимосвязь:

$$\Delta 1/2 = 0,693/\mu \text{ или } \mu = 0,693/ \Delta 1/2.$$

Зная слой половинного ослабления можно довольно легко определить какой нужно взять слой поглотителя, чтобы ослабить излучение в данное число раз.

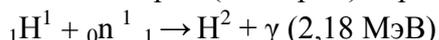
### **Основные эффекты взаимодействия нейтронов с веществом.**

Быстрые с энергией порядка мэВ, электроны попадая в ткань замедляются за счет передачи энергии ядрам вещества при непосредственном столкновении с последним, чем больше передача энергии при таком столкновении тем быстрее замедляются нейтроны.

Ткани организма животных практически полностью замедляют нейтроны так как они много содержат водородных атомов и в среднем одно столкновение приходится на 1 см пробега нейтрона в ткани.

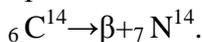
Приведем некоторые примеры наиболее частой наведенной активностью в тканях.

1. При захвате теплового нейтрона ядром водорода последний превращается в тяжелый водород (дейтерий). При этом выделяется гамма-фотон с энергией 2,18 МэВ.

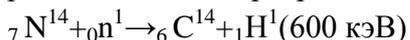


(фотоны — поток незаряженных частиц, которые обладают определенной массой и энергией фотона.  $E = h \nu$  —  $h$  —  $h$  —  $h$  —  $h$ . Планка  $6,623 \cdot 10^{-27}$  эрг/с;  $\nu$  — частота излучения).

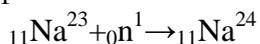
Затем радиоактивный углерод, испытывая бета-электронное превращение опять превращается в стабильный азот.



2. Если захват нейтрона осуществляет ядро азота, оно выбрасывает протон с энергией 600 кэВ и превращается в радиоактивное ядро углерода



3. Весьма эффективен захват нейтрона ядром натрия, которое становится радиоактивным, и превращаясь в ядро магния, не пускает одновременно бета-частицу и  $\gamma$ -фотон.



Так как Na в организме много и он выделяется с мочой, по выведенному радиоактивному натрию ( $\text{Na-24}$ ) можно косвенно судить о дозе облучения нейтронами.

Таким образом: первично ионизирующие частицы, большая часть энергии которых непосредственно расходуется на процессы ионизации и возбуждения — это все заряженные частицы, ( $e^-$ ,  $e^+$ ,  $p^+$  и др.).

Вторично ионизирующие частицы, энергия которых расходуется на выбивание элементарных или сложных компонентов атома и его ядра при непосредственном столкновении с ними и передается в виде кинетической энергии отрывающейся частицы. Отрывающиеся частицы, как правило являются заряженными и расходуют свою энергию на процессы ионизации и возбуждения. К вторичным ионизирующим частицам следует отнести незаряженные частицы - фотон и нейтрон. Фотон выбивает электроны с

оболочки атома, а нейтрон - протон из ядра. Нейтрон- элементарная частица не имеющая электрического заряда, обладающая массой покоя  $1,67495 \cdot 10^{-27}$  кг и средним времени жизни около 1000сек.

В зависимости от энергии различают нейтроны: ультрахолодные, холодные, надтепловые, промежуточные, быстрые и сверхбыстрые. В практике — тепловые (находятся в термодинамическом равновесии с рассеивающими атомами окружающей среды). Промежуточные - нейтроны с энергией в интервале от энергетической границы над тепловых нейтронов до 200 кэВ (ув. с пов. t°).

Быстрые нейтроны - нейтроны с энергией от 200 кэВ до 20 МэВ.

### Вопросы для самоконтроля

1. Дайте характеристику  $\alpha$ -частицы и возможная защита от них.
2. Дайте характеристику бета -частицы и возможная защита от них.
3. Дайте характеристику  $\gamma$ -лучей и возможная защита от них.
4. Что понимается под воздействием ядерных излучений с веществом.
5. Перечислите основные эффекты взаимодействия нейтронов с веществом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2
2. **Лысенко, Н. П.** Радиобиология: учебник/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – Спб.: Лань, 2012 – ISBN 978-5-8114-1330-0

#### Дополнительная

1. **Сахаров, В. К.** Радиоэкология./ Сахаров, В. К.- Спб: Лань.- 2006.- 320 с.

### Лекция 3

## Токсичность радионуклидов. Закономерность их метаболизма в организме животных.

### 3.1. Токсикология радиоактивных элементов. Факторы влияния на токсичность радионуклидов.

Токсикология радиоактивных элементов (радиотоксикология) составляет специальную отрасль знаний, предметом которой является:

-изучение путей поступления в организм, закономерностей распределения в нем и включение в молекулярные структуры тканей( инкорпорирование), особенностей накопления (депонирование ) радиоактивных изотопов в различных органах и выведение их из организма.

-исследование биологического действия инкорпорированных радиоактивных изотопов.

-разработка методов и средств предотвращения резорбции радиоактивных изотопов и ускоряющих их выведение из организма.

Токсичность радионуклидов зависит от:

- 1)Вида и энергии излучения, периода полураспада;

2)Физико-химических свойств веществ, в составе которого радионуклид попадает в организм;

3)Типа распределения по тканям и органам;

4)Скорости выведения из организма.

Вид и энергия излучения. Энергия излучения имеет прямую связь с поражающим действием радиоактивного изотопа: чем она больше, тем сильнее поражение.

Вид излучения является одной из главных характеристик, определяющих токсичность радиоизотопа.

Степень биологического действия различных видов излучений зависит от их линейной передачи энергии (ЛПЭ). Величина ЛПЭ частицей или квантом веществу обуславливает их линейную плотность ионизации (удельную ионизацию). У тяжелых частиц (альфа -частицы, протоны) плотность ионизации очень высокая, у легких (бета -частицы, гамма-лучи) - низкая, т. е. тем выше энергия и короче пробег, тем больше у нее ЛПЭ.

Как правило, излучения, имеющие высокую ЛПЭ, обладают большей биологической эффективностью, Данный феномен свидетельствует о том, что степень действия различных видов излучения зависит не только от общего количества поглощающей энергии, но и от геометрии распределения ее в органах, тканях и клетках.

Для выражения различий биологического действия излучений с неодинаковыми значениями ЛПЭ принят коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ). Значения его взяты относительно рентгеновых лучей и зависят от излучаемого объекта и признака, Например, при общем облучении организма для быстрых нейтронов коэффициент ОБЭ равен 10, а при местном облучении половых желез- 35.

Период полураспада радионуклида является важной характеристикой его биологической активности. Наибольшую опасность для млекопитающих и птиц представляют изотопы с периодом полураспада от нескольких дней до нескольких десятков лет.

Это объясняется тем, что при коротком периоде полураспада, измеряемом секундами-минутами, основная масса радионуклида распадается, не достигнув тканей организма, и следовательно, не создает опасную концентрацию, например  $^{210}\text{Po}$  (полоний) или  $^{220}\text{Ra}$  (протактиний); период полураспада их составляет  $3 \cdot 10^7$ с. Это же можно сказать о изотопах йода-134,136,140, являющихся продуктами деления тяжелых ядер; период полураспада их равен нескольким секундам- минутам.

Радионуклиды с большим периодом полураспада (десятки тысяч лет и более) в естественных условиях, также не смогут создать эффект дозы, которая привела бы к развитию лучевого заболевания. Например,  $^{233}\text{U}$  имеет период полураспада  $4,5 \cdot 10^9$  лет. К тому же если учесть, что в земной коре его находится 0,0001%, а в организме еще меньше, то получается, что в естественных условиях он не вызовет у животных лучевой болезни.

Однако в некоторых случаях токсичность коротко или долгоживущих радионуклидов может усиливаться дочерними радионуклидами.

**Физико-химические вещества в составе которых радионуклид попадает в организм.** При внутреннем поступлении радионуклидов в организм их биологическое действие во многом будет определяться агрегатным состоянием вещества. Наибольшее

действие оказывают те радионуклиды, которые легко образуют газ и водорастворимые соединения. Они интенсивно и в большом количестве всасываются в кровь, быстро распространяются по всему организму или концентрируются в соответствующих органах.

Биологическое действие малорастворимых или нерастворимых радионуклидов определяется степенью дисперсности аэрозоля или порошка, в форме которого вещество поступает в организм. Нерастворимые радиоактивные частицы, попадая в легкие, на слизистые оболочки, в желудочно-кишечный тракт с кормом или водой могут адсорбироваться эпителиальными клетками или клетками ретикулоэндотелиальной системы или задерживаться в желудке, кишечнике или длительное время облучать ткани, вызывая выраженное местное радиационное поражение.

На степень биологического действия радионуклидов при внутреннем поступлении, большое влияние оказывает наличие нерадиоактивных изотопов этого элемента или химического элемента аналога в данном веществе. Например, элементы-аналоги кальция и стронция принадлежат ко второй группе элементов.

В радиохимии для предотвращения потерь радиоактивного изотопа в химических реакциях специально добавляют весовые количества нерадиоактивных соединений этого элемента или его химического аналога. Эти добавки принято называть носителями; в первом случае они называются изотопными, во втором - неизотопными. При одновременном поступлении в организм радионуклида и его носителя всасывание и отложение их в тканях идет в прямо пропорциональном отношении к поступившему количеству.

На основании указанной закономерности предложены методы защиты отдельных органов от лучевого поражения радионуклидами. Например, полноценные по кальцию рационы (кальций неизотопный носитель стронция) значительно уменьшают инкорпорацию радиоизотопов стронция в костной ткани.

### **3.2. Классификация радиоактивных изотопов по их радиотоксичности.**

Группы радиотоксичности.

По степени биологического действия радионуклиды как потенциальные источники внутреннего облучения разделены на 5 групп.

1) Группа А - радионуклиды особо высокой радиотоксичности. К данной группе относятся радиоактивные изотопы : свинец-210, полоний-210, радий-226, торий-230, уран-232, плутоний-238 и др.

Среднегодовая допустимая концентрация (Ки/л) для них в воде установлена в пределах  $\times (10^{-10} - 10^{-80} \text{ Ки/л})$

2) Группа Б - радионуклиды с высокой радиотоксичностью, для которых среднегодовая допустимая концентрация в воде равна  $\times (10^{-6} - 10^{-7}) \text{ Ки/л}$ .

Сюда относятся изотопы : рутений-106, йод-131, церий-144, висмут- 210, торий-234, уран-235, плутоний-241 и др. К этой же группе отнесен стронций-90, для которого указанная концентрация равна  $4 \times 10^{-10} \text{ Ки/л}$ .

3) Группа В - радионуклиды со средней радиотоксичностью.

Для данной группы среднегодовая допустимая концентрация в воде установлена  $(10^{-8} - 10^{-7} \text{ Ки/л})$  В группу включены изотопы : натрий-22,

фосфор-32, сера-35, хлор-36, кальций-45, железо-59, кобальт-60, стронций-89, молибден-99, сурьма-125, цезий-137, барий-140, золото- 96 и др.

4)Группа Г - радионуклиды с наименьшей радиотоксичностью.

Среднегодовая допустимая концентрация их в воде равна  $x (10^{-8}-10^{-7})$  Ки/л.В группу входят следующие изотопы : бериллий-7, углерод-14, фтор-18, хром-51, железо-55, медь-64, теллур-129, платина-197, ртуть- 197, таллий-200 и др.

5)Группа Д. Эту группу составляет тритий и его химические соединения (окись трития и сверхтяжелая вода). Допустимая концентрация трития в воде установлена  $3,2 \cdot 10^{-6}$  Ки/л.

На основе степени радиотоксичности предъявляются надлежащие санитарные требования при работе соответственно радиоактивному изотопу.

**Факторы, определяющие степень биологического действия радиоактивных изотопов.** Биологическая эффективность радиоактивных элементов определяется физическими (доза, период полураспада, виды и энергия излучения) и биологическими (тип распределения, пути и скорость выведения) свойствами радиоактивных изотопов, видовой и индивидуальной радиочувствительностью животных.

Животные в пищевой цепочке человека служат звеном, уменьшающим радиоактивную опасность, так как они обладают способностью к фильтрации и "захвату в ловушку" радиоактивных нуклидов и таким образом, несколько снижают поступление последних в организм человека с пищей.

Из изотопов, являющихся продуктами деления тяжелых ядер, наиболее важное значение для с/х животных и человека имеют 3 радиоактивных изотопа: йод-131, стронций-90, цезий-137.

### **3.3. Радиотоксикологическая характеристика наиболее опасных радионуклидов.**

#### **3.3.1. Токсикология молодых продуктов деления.**

Молодые продукты деления- это смесь короткоживущих радионуклидов. Спад их активности происходит очень быстро.

Наибольшее биологическое значение в составе смеси имеют радиоактивные изотопы йода(йод -131,132,133,135), а также короткоживущие изотопы стронция-89, 91, молибдена-99, теллура-132, бария-140, церия-143- они быстро выделяется из организма, несмотря на то, что эффективный их период короткий.

Биологическое действие короткоживущих радионуклидов происходит в основном за счет бета-излучения, доза которого значительно превышает дозу от гамма-излучения.

Токсикологическое действие смеси короткоживущих радионуклидов у сельскохозяйственных животных животных еще изучено мало.

#### **3.3.2. Метаболизм, токсикология радиоактивного стронция.**

**Стронций** - щелочноземельный элемент второй аналитической группы периодической системы элементов таблицы Д. И. Менделеева. Поэтому по химическим свойствам сходен с другими представителями этой группы- кальцием, барием. Он имеет более 10 радиоактивных изотопа- от стронция-81 до стронция-97, наиболее важными из которых являются стронций-89 (период полураспада 51 сутки) Максимальная энергия бета- излучения 1,46 МэВ, стронций-90 ( период полураспада 28 лет, максимальная энергия бета-излучения 0,54 МэВ) Образуются они при делении

урана в реакторах, а так же при взрывах атомных бомб, как продукты ядерного деления.

Стронций-90 претерпевает бета-распад и превращается в дочерний радиоактивный элемент иттрий-90. Который находится с ним в равновесном состоянии по радиоактивности. Период полураспада иттрия составляет 64,2 ч, максимальная энергия бета-частиц 2,18 МэВ.

Как и другие радионуклиды, стронций-90 выпадает на поверхность земли в виде твердых частиц или с дождем в растворимом или нерастворимом коллоидном состоянии и попадает на растительный покров или непосредственно на поверхность почвы.

Основной источник поступления радионуклида в организм сельскохозяйственных животных - корм, в меньшей степени - вода (2%) и воздух. Поступление в организм через органы дыхания с воздухом может иметь практическое значение.

Поступивший в организм с кормом и водой стронций-90 (как и Са) хорошо всасывается в желудочно-кишечный тракт, уровень всасывания зависит от многих факторов (состава рациона, физико-химических свойств соединения, возраста животных, функционального состояния организма) и колеблется от 5 до 100%.

Большинство стронция всасывается у молодых животных - это связано с большой высокой потребностью их организма в щелочноземельных элементах, необходимых для построения скелета.

Добавки Са к рациону с целью уменьшить усвоения стронция-90 эффективна только для молодых животных, а для взрослых и старых существенного влияния не имеет.

У изотопов стронция скелетный тип распределения. При любом поступлении в организм они более чем на 90% избирательно откладываются в костях. Содержание его в мышцах обычно не превышает 10% суточного поступления.

Отмечена высокая скорость обмена радиоизотопа в звене **кровь - органы - ткани**. Быстрое снижение концентрации его в крови после поступления в нее объясняется интенсивным включением радиоизотопа в органы и ткани и выведением через экскреторные органы и молочную железу (у лактирующих животных).

Стронций-90 накапливается в участках костей, обладающих наибольшей зоной роста (в диафизе больше, чем в эпифизе). В компактном веществе кости имеется всегда большая его концентрация, чем в губчатом. С возрастом животных эта разница сглаживается. Накопление стронция-90 в костях приводит к радиоактивному облучению не только костей и костного мозга, но и окружающих тканей.

При пероральном поступлении стронция-90 в организм главным каналом выведения является желудочно-кишечный тракт, а при ингаляционном-мочевыделительная система. Стронций-90 выделяется и с молоком, но в меньшем количестве. При увеличении содержания кальция в рационе переход стронция в молоко снижается. После прекращения поступления в организм, концентрация его в молоке также быстро снижается.

Период полувыведения стронция-90 из мягких тканей составляет 2,5-8,5 сут, а из костей. 90-154 сут.

Реальные возможности снижения перехода радиоизотопов в животную продукцию проявляется в организации рационов кормления и содержания животных.

Например, содержание животных на естественных пастбищах способствует повышению перехода радиоизотопов в продукты животноводства. А при переводе их на культурные пастбища или на стойловое содержание в 10-15 раз снижается поступление радиоизотопов в организм животных, следовательно, и в продукты животноводства. Поступивший в организм стронций-90 действует неблагоприятно.

Наиболее выраженные патологические изменения возникают в костях и в костном мозге в связи с преимущественной концентрацией его в костной ткани.

В разные сроки после поражения, как при однократном, так и при длительном поступлении стронция-90 у животных развиваются лейкозы, остеосаркомы, новообразования желез внутренней секреции и молочных, гипофиза, яичников и др.

Существенно изменяются спермо и овогенез, функции печени и почек, иммунологическая реактивность организма.

### ***3.3.3. Токсикология радиоактивного цезия.***

**Цезий** - элемент первой аналитической группы в периодической системе элементов.

Многие химические соединения его (нитраты, хлориды, карбонаты) растворимы в воде, поэтому хорошо всасываются в желудочно-кишечный тракт, разносятся по всему организму и выводятся из него.

Из радиоактивных изотопов цезия наиболее биологически опасны цезий-134 и цезий-137. При распаде ядер атома цезия-137 излучаются бета- частицы с максимальной энергией - 1,46 МэВ и гамма-кванты. Период полураспада равен 30 годам (долгоживущий).

Период полураспада дочернего радиоактивного изотопа бария-137 равен 2,57 мин.

Радиоактивный цезий- продукт деления ядер тяжелых элементов (урана, плутония) по степени радиотоксичности относится к группе В.

Продукты ядерного деления, в том числе и цезий-137, от места образования распространяются в виде радиоактивного облака, состоящего из летучих веществ и частиц разного размера (от нескольких микрон до видимых глазом). Выпадающих вместе с осадками (дождь, снег, сухие осадки) в течении многих лет после ядерного взрыва, загрязняющих воздух, почву, растительность.

Один из основных источников попадания цезия-137 в растения - почва.

Переработка и подготовка кормов к скармливанию могут значительно изменить в них концентрацию радионуклидов.

В естественных условиях цезий-137, как и другие радионуклиды, в организм животных, в том числе птиц, поступает через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания, поврежденные и неповрежденные кожные покровы. Оральный путь- основной. Поступление радионуклида через органы дыхания имеет намного меньшее значение, поскольку не все радиоактивные частицы задерживаются в дыхательных путях, часть их удаляется при выдохе, часть-со слизью, при кашле, которая животным заглатывается.

Усвоение цезия-137 осуществляется в основном в тонком кишечнике. Степень всасывания его в желудочно-кишечный тракт достигает 100%, так как он образует

хорошо растворимые соединения. У молодых животных цезий усваивается больше, чем у старых. У животных с однокамерным желудком он всасывается быстрее, чем у животных с многокамерным. Это, очевидно, обусловлено более быстрой эвакуацией химуса из однокамерного желудка в кишечник. Отмечена исключительно высокая скорость обмена радиоизотопа в звене **кровь - органы- ткани**.

Характер метаболизма цезия-137 своеобразен, сходен обменом калия и определяется физико-химическими свойствами.

Накапливается цезий-137 в основном в мышцах и паренхиматозных органах, меньше - в крови, жировой ткани и коже. В условиях длительного непрерывного поступления с кормами и водой накопление его в организме происходит постепенно, а затем наступает состояние равновесия, (поступление = выведение).

В мышцах овец накопление цезия-137 продолжается более 105 дней, а во внутренних органах - 8-18. Величина перехода его в мясо у травоядных выше, чем у всеядных. Концентрация цезия-137 в белке яйца в 2-3 раза выше, чем в желтке, а в скорлупе - лишь 1-2% от общего содержания в яйце.

Цезий-137, как и другие радиоизотопы, выводится из организма с калом, мочой, а у продуктивных животных - с молоком, яйцами и другими путями.

Скорость выведения зависит от уровня продуктивности животных. У высокопродуктивных изотоп выводится быстрее. Так, при суточном удое 20 л выводится до 13% суточного поступления радиоцезия, а при 14 л - 8,8%.

Чем больше в рационе грубых кормов, тем меньше выводится с 1 л молока цезия-137.

Эффективный период полувыведения (Т эфф) по цезию-137 лактирующих коров составляет от 20 до 50 дней.

Важный объект исследования при радиохимическом анализе на содержания цезия-137 - мясо разных животных, в том числе птиц. При исследовании трех видов мяса (говядины, баранины и свинины) наибольшая концентрация этого радиоизотопа установлена в баранине; в говядине в 2 раза, а в свинине в 3 раза его меньше, в оленине в 10 раз выше, чем в мясе других животных. Зависит это от поедаемой животными растительности.

Оленина - олени в зимний период питаются мхами и лишайниками, в которых большая концентрация радиоцезия. В летний период концентрация цезия-137 в оленине снижается, т. к. животные едят в основном траву, активность которой по данному радиоизотопу меньше, чем у лишайников.

Кроме того при пастбищном содержании увеличивается содержание цезия-137 в молоке.

Радиационно-гигиенические нормативы, которыми руководствуются радиологи, исходят из предельно допустимых суточных доз (ПДС) поступлений радионуклидов в пищевом рационе людей. Отсюда можно определить допустимое суточное попадание радионуклидов с кормами сельскохозяйственных животных.

Такие нормы окончательно не установлены, но приблизительно в суточном рационе молочного скота цезия-137 не должно быть более 1,3 мкКи, для мясного скота - 0,33, а для овец - 0,175. Как исключение, можно допустить трехкратное превышение этих норм. Разумеется, что любые изменения норм ПДС для человека должны повлечь за собой изменения ПДС для животных.

#### ***3.3.4. Токсикология радиоактивного йода.***

ЙОД- элемент седьмой группы периодической системы элементов, относится к подгруппе галогенов. В химических соединениях проявляет переменную валентность : -1 (йодиды), +5 (йодаты), +7 (перйодаты) В объектах внешней среды йод находится в виде этих анионов в элементарном состоянии. Для выделения йода используют труднорастворимый йодид серебра.

Известны 24 радиоактивных изотопа йода с массовыми числами в интервалах 117-126 и 128-139. Все они искусственные и являются продуктами ядерных реакций. Образуются при делении тяжелых ядер (урана, плутония). Наиболее важные: йод-125(период полураспада 60 сут., максимальная энергия бета-излучения 0,61 МэВ), йод-129( $1,7 \cdot 10^7$  лет, 0,12 МэВ), йод-131 (8,06 сут., 0,26-0,81 МэВ), йод-133 (21ч, 0,4-1,2 МэВ)

В „свежих,, выпадениях радиоактивных осадков, после проведенных атомных испытаний или в результате аварий на атомных предприятиях вначале биологически опасны йод-131, -132, -133 и 135, через неделю - йод-131 и 132, через две недели- только йод-131.

ЙОД-131 является смешанным бета и гамма-излучателем, высокотоксичным радиоизотопом (группа Б), среднегодовая допустимая концентрация его в воде равна ( $x \cdot 10^{-7}$ - $10^{-9}$  Ки/л).

**Источники загрязнения внешней среды, кормов и продуктов животноводства:** испытательные ядерные взрывы в атмосфере и воде, радиоактивные отходы промышленных предприятий, лабораторий и научно-исследовательских институтов, работающих с РВ высокой активности при нарушении ими правил захоронения отходов и при авариях на этих предприятиях. Нормальная работа реакторов на атомной электростанции не приводит к облучению населения, превышающему принятые предельно допустимые уровни.

При аварийном радиоактивном выбросе из ядерного реактора в атмосферу радионуклида йода(особенно йод-131) является критическим компонентом загрязнения внешней среды и по сравнению с другими радионуклидами представляют наибольшую опасность инкорпорированного облучения населения в первые месяцы после аварии.

Изотопы йода в смеси короткоживущих продуктов ядерного деления составляют около 20%.

Радиоактивный йод-131 обладает высокой летучестью химически активный элемент, имеет большую способность миграции по звеньям биологической цепи и высокий коэффициент концентрации. Он включается в компоненты биосферы **почва-вода-флора-фауна** и участвует в биологическом цикле обмена веществ. Хорошо растворимые в воде соединения йода усваиваются растениями и животными. В растениях йод-131 прочно задерживается и практически не удаляется с их поверхности при промывании водой. Корневое усвоение йода-131 при произрастании растений на гумусной почве превосходит усвоение стронция-90 в 14раз, а на песчаной почве- в 2 раза.

Радиоактивные изотопы йода в организм животных поступают преимущественно через пищеварительный тракт с кормом и водой и могут попадать и через органы дыхания, кожу, конъюнктиву, раны и другими путями. Йод- активный биогенный элемент и, попадая в организм, в результате хорошей растворимости на 100% всасываются в кровь.

Через 13-14 часов концентрация его в крови уменьшается в 2 раза, т. к. он быстро перераспределяется по органам и тканям.

От 20 до 60% изотопов йода откладывается в щитовидной железе, которая является критическим органом для йода.

Концентрация йода-131 в тканях животных по отношению к концентрации его в крови (условно взята за единицу) и распределяется в следующем порядке: кровь-1, почки, печень, яичники-2-3, слюнная железа, моча-5-15, щитовидная железа-10000

Радиотоксикологическое действие радиоактивного йода проявляется, прежде всего, в поражении щитовидной железы. Малые дозы не вызывают заметных нарушений в тиреоидной ткани. Большие дозы йода- 131 у всех животных приводят к разрушению щитовидной железы и замещению паренхимы соединительной ткани. Существенные изменения возникают в нервной и эндокринной системах. Атрофия щитовидной железы сопровождается слизистым перерождением мышцы сердца, подкожной клетчатки, ожирением печени. Отмечаются глубокие изменения в кроветворных органах, которые приводят к анемии, лимфопении, нейтропении и тромбоцитопении.

Из организма животных и птиц радиоактивный йод, как и стабильный, выводится преимущественно почками с мочой, через желудочно-кишечный тракт с калом, а у продуктивных животных- с молоком, у птиц- с яйцами.

При длительном поступлении йода-131 курам-несушкам с кормом в желток переходит до 16%, а в белок- около 1% от суточного количества.

В местностях с недостаточным содержанием йода у коров, потребляющих загрязненные корма и воду, выделение йода-131 с молоком больше, чем в местностях с нормальным содержанием йода. Выведение йода-131 с молоком в определенной мере уменьшает накопление его в щитовидной железе, так как установлено, что у лактирующих коров концентрация йода- 131 в щитовидной железе ниже, чем у сухостойных.

На уровень усвоения животным йода-131 влияет содержание в кормах изотопных (стабильный йод) и неизотопных(хлор) носителей.

Например, введение в организм стабильного йодида калия на 50% снижает включение радиоактивного йода в щитовидную железу овец и телят. Дача йодида калия курам (80 мг на курицу) снижает включение йода-131 в яйцо на 70%, а неизотопного носителя йода в виде хлористого калия- даже на 90%. Таким образом, эти препараты могут использоваться в качестве профилактики накопления радионуклидов йода в организме.

Для снижения поступления радиоактивных элементов животным в период йодной опасности переводят на стойловое содержание. Для кормления используют запасы кормов, не загрязненных радионуклидами, а при их отсутствии скармливают скошенную зеленую массу, используют пастбища рационально.

При выпасе коров на удобренных пастбищах с хорошим травостоем содержание йода-131 в молоке снижается до 50%. Это связано с понижением концентрации радионуклидов в растениях на единицу массы вследствие увеличения урожайности на удобренных почвах. Чем интенсивнее прирастает биомасса растений, тем сильнее идет разбавление РВ.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите основные факторы, обуславливающие токсичность радионуклидов.
2. Дайте характеристику молодым продуктам деления.

3. Назовите группы радиотоксичности радионуклидов.
4. Метаболизм и токсикология йода 131
5. Токсикология стронция 90
6. Токсикология цезия 137

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

3. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2

4. **Лысенко, Н. П.** Радиобиология: учебник/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – СПб.: Лань, 2012 – ISBN 978-5-8114-1330-0

5. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978–5–8114–1123–8

### Дополнительная

1. **Ярмоленко, С.П.** Радиобиология человека и животных: учебник для биологических спец. ВУЗов / С.П. Ярмоленко. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.

2. **Постник, М.И.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учебник / М.И. Постник. – Минск: Высшая школа, 2003. – 398 с.

3. **Анненков, Б.Н.** Основы сельскохозяйственной радиологии : учебник / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. - М.: Агропромиздат, 1991. – 287с.

4. **Кузин, А.М.** Прикладная радиобиология. / А.М. Кузин, Д.А. Каушанский.- М.: Энергоатомиздат, 1991 г., 221 с.

### Лекция 4.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И НОРМИРОВАНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ И ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА.

### 4.1. Источники загрязнения внешней среды радиоактивными веществами и прогнозирование поступления радионуклидов в организм животных и продукцию животноводства.

До середины XX в. природные источники ионизирующих излучений были единственными в облучении человека, создавая естественный радиационный фон (ЕРФ). В среднем доза облучения от всех естественных источников ионизирующего излучения составляет в год около 200 мР, хотя это значение может колебаться в разных регионах земного шара от 50 до 1000 мР/год и более (табл. 1).

Таблица 1. Природные источники ионизирующего излучения.

Источники	Средняя годовая доза	Вклад в дозу,
-----------	----------------------	---------------

	мбэр	мЗв	%
Космос (излучение на уровне моря)	30	0,30	15,1
Земля (грунт, вода, строительные материалы)	50...130	0,5...1,3	68,8
Радиоактивные элементы, содержащиеся в тканях тела человека ( $^{40}\text{K}$ , $^{14}\text{C}$ и др.)	30	0,30	15,1
Другие источники	2	0,02	1,0
Средняя суммарная годовая доза	200,0	2,0	-

Основным дозообразующим компонентом ЕРФ является земное излучение от естественных радионуклидов, существующих на протяжении всей истории Земли. От этих источников человек подвергается воздействию как внешнего (в результате излучения радионуклидов, находящихся в окружающей среде), так и внутреннего облучения (за счет радионуклидов, попадающих внутрь организма с воздухом, водой и продуктами питания). Большинство исследователей считают, что наибольшее значение имеют источники внутреннего облучения, которые обуславливают, по данным разных авторов, примерно от 50 до 68% естественного радиационного фона.

Основное значение во внутреннем облучении имеют поступающие с воздухом, водой и продуктами питания радионуклиды семейств урана-238 и тория-232, их многочисленные дочерние продукты, а также изотоп калия - калий-40. Средняя величина эффективной эквивалентной дозы внутреннего облучения при неизменном фоне составляет 0,72 мЗв/год, из которых основная часть приходится на долю семейства урана (56%), калия-40 (25%) и семейства тория (16%). Основным источником природных радиоактивных элементов, поступающих в организм человека, являются пищевые продукты (таблица 2).

Таблица 2. Удельная радиоактивность Бк/кг отдельных пищевых продуктов и воды по калию- 40 и радию -226

Продукты	Удельная радиоактивность Бк/кг	
	По калию -40	По радию - 226
Пшеница	148,0	0,074-0,096
Картофель	129,5	0,022-0,044
Горох	273,8	0,090-0,870

Говядина	85,1	0,029-0,074
Рыба	77,7	0,015-0,027
Молоко	44,4	0,001- 0,009
Свинина	33,3	-
Масло сливочное	3,7	0,037- 0,0011
Вода речная	0,037-0,592	0,009-0,080

Удельная активность изотопов свинца  $^{210}\text{Pb}$  и полония  $^{210}\text{Po}$  в растительной пище составляет от 0,02 до 0,37 Бк/кг.

Особенно высокая активность  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  обнаружена в чае (до 30,5 Бк/кг). В продуктах животного происхождения (молоке) удельная активность  $^{210}\text{Pb}$  колеблется в пределах от 0,013 до 0,18 Бк/кг, а  $^{210}\text{Po}$  - от 0,13 до 3,3 Бк/кг.

Таким образом, суммарная радиоактивность растений в 10 раз выше, чем тканей животных.

Следует отметить, что поверхностные водоисточники могут содержать повышенное количество радионуклидов. Так, в водах курортов Цхалтубо активность радия  $^{226}\text{Ra}$  составляет до 3,7 Бк/л, а в водах курортов Белокурихи, Железноводска активность радона  $^{222}\text{Rn}$  достигает до 48 Бк/л.

В настоящее время естественный радиоактивный фон (ЕРФ) в результате деятельности человека качественно и количественно изменился. Повышение ЕРФ под влиянием новых видов технологической деятельности человека получило название «техногенного усиленного фона». Примерами такой деятельности являются широкое применение минеральных удобрений, содержащих примеси урана (например, фосфатных); увеличение добычи урановых руд; массовое увеличение числа авиационных перевозок, при которых космическое облучение растет (табл. 3).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в результате сочетания перечисленных факторов произошло повышение дозы облучения, которая способствует увеличению естественного фона.

Таблица 3. Искусственные источники излучения

Источники	Годовая доза		Доля от природного фона, % (до 20 мбэр)
	Мбэр	мЗв	
Медицинские приборы (флюорография 370 мбэр, рентгенография зуба 3 мбэра, рентгеноскопия легких 2...8 мбэр)	100...150	1,0...1,5	50...75
Полеты в самолете (расстояние 2000 км, высота 12 км) - 5 раз в год	2,0...2,5	0,02...0,05	1,0...2,5

Телевизор (просмотр программ по 4 ч в день)	1,0	0,01	0,5
АЭС (при стабильной работе)	0,1	0,001	0,05
ТЭЦ (на угле) на расстоянии 20 км	0,6..6,0	0,006...0,06	0,3..3,0
Глобальные осадки от испытаний ядерного оружия в окружающей среде	2,5	0,02	1,0
Другие источники (добыча нефти, руды, строительных и дорожных материалов)	40	-	-
<u>ИТОГО</u>	150...200		

Среднегодовая эквивалентная доза облучения всего тела человека естественными источниками ионизирующих излучений примерно была равна 1 мЗв (100 мбэр). Однако с учетом техногенно усиленного фона, по данным ООН, значение эффективной эквивалентной дозы облучения увеличилось в 2 раза - до 2 мЗв (200 мбэр) в год (1982 г.).

Следует отметить, что в наиболее развитых странах уровень фоновой радиации достигает 3...4 мЗв в год. Кроме того, за 15 лет (с 1971 по 1986 г.) в 14 странах мира на предприятиях атомной промышленности произошло 152 аварии разной степени сложности, с разными последствиями для населения и окружающей среды. Крупные аварии произошли в Великобритании, США и бывшего СССР, где самой крупной по масштабам загрязнения окружающей среды явилась авария, которая произошла в 1986 г. на Чернобыльской АЭС. Выбросы в атмосферу при аварии на ЧАЭС имели специфический состав - в первые недели после взрыва основным был радиоактивный йод, затем - радиоизотопы цезия-137, цезия-134, стронция-90.

Для случаев возникновения радиационных аварий были разработаны **временно допустимые уровни (ВДУ) и допустимые уровни (ДУ)** поступления радионуклидов внутрь организма с учетом интегральных поглощенных доз за ряд последующих лет (табл. 4,5).

Таблица 4. ВДУ активности йода-131 в пищевых продуктах и питьевой воде.

Продукт. Питьевая вода	ВДУ активности йода-131 Бк/кг	Масса среднемаксимального потребления продукта в сутки
Молоко	3700	1л
Творог	37000	100г
Сметана	18500	200г
Сыр	74000	50г
Масло сливочное	74000	50г
Рыба	37000	100г
Зелень столовая	37000	100г

Вода питьевая	3700	1л
---------------	------	----

Таблица 5. ВДУ суммарной активности цезия-134, цезия-137, стронция-90 в продуктах питания и питьевой воде.

Продукты, питьевая вода	Активность $^{137}\text{Cs}$ и $^{134}\text{Cs}$ , Бк/л, (Бк/кг)	Активность $^{90}\text{Sr}$ , Бк/л, (Бк/кг)
Хлеб и хлебобулочные изделия, крупы, мука и сахар	370	37
Молоко и кисломолочные продукты, сметана, творог, сыр	370	37
Молоко сгущенное и концентрированное	1110	111
Молоко сухое	1850	185
Мясо говяжье, свиное, баранье, птицы, рыба, яйца (меланж)	740	-
Картофель, корнеплоды, овощи, столовая зелень, фрукты, ягоды	592	37
Сухофрукты	2960	-
Детское питание всех видов	185	37
Грибы свежие, дикорастущие ягоды, чай	1480	-
Грибы сушеные	7400	-
Лекарственные растения	7400	-
Вода питьевая	18,5	3,7

Величину ВДУ активности радиоактивных веществ в продуктах питания в этих условиях рассчитывают, исходя из того, чтобы интегральные дозы облучения тела человека не превысили 0,1 Зв/год, а дозы облучения щитовидной железы - 0,3 Зв/год.

Следует отметить, что допустимый уровень (ДУ) активности радиоактивного цезия в молочных продуктах, принятый в странах Европы, колеблется в пределах от 370 Бк/кг (ФРГ) до 4000 Бк/кг (Великобритания, Франция, Испания). В Японии величина принятого ДУ активности радиоактивного цезия в молочных продуктах наименьшая - 37 Бк/кг.

- Комиссия Codex Alimentarius ФАО/ВОЗ приняла, что допустимые уровни радиоактивных веществ в загрязненных пищевых продуктах, реализуемых на международном рынке и предназначенных для всеобщего потребления,

составляют: для цезия и йода - 1000 Бк/кг, для стронция - 100 Бк/кг, для плутония и америция — 1 Бк/кг.

- Для молока и продуктов детского питания допустимые уровни активности составляют: для цезия - 1000 Бк/ кг, для стронция и йода - 100 Бк/кг, для плутония и америция - 1 Бк/ кг. По мнению ВОЗ, предлагаемые уровни основаны на критериях, обеспечивающих охрану здоровья и безопасность населения.

- Следует, однако, подчеркнуть, что, поскольку у человека в процессе эволюции не выработались специальные защитные механизмы от ионизирующих излучений, с целью предотвращения неблагоприятных последствий для населения, по рекомендации Международной комиссии по радиационной защите ожидаемая эффективная эквивалентная доза не должна превышать 5 мЗв за любой год радиоактивного воздействия.

## 4.2. Пути поступления радионуклидов в организм

Пути поступления радионуклидов в организм человека с пищей достаточно сложны и разнообразны. Можно выделить следующие из них: растение — человек; растение — животное - молоко — человек; растение - животное - мясо - человек; атмосфера — осадки - водоемы — рыба — человек; вода — человек; вода — гидробионты — рыба — человек.

Различают **поверхностное** (воздушное) и **структурное** загрязнение пищевых продуктов радионуклидами.

**При поверхностном загрязнении** радиоактивные вещества, переносимые воздушной средой, оседают на поверхности продуктов, частично проникая внутрь растительной ткани. Более эффективно радиоактивные вещества удерживаются на растениях с ворсистым покровом и с разветвленной наземной частью, в складках листьев и соцветиях. При этом задерживаются не только растворимые формы радиоактивных соединений, но и нерастворимые. Однако поверхностное загрязнение относительно легко удаляется даже через несколько недель.

**Структурное загрязнение радионуклидами** обусловлено физико-химическими свойствами радиоактивных веществ, составом почвы, физиологическими особенностями растений. Радионуклиды, выпавшие на поверхности почвы на протяжении многих лет остаются в ее верхнем слое, постоянно мигрируя на несколько сантиметров в год в более глубокие слои. Это в дальнейшем приводит к их накоплению в большинстве растений с хорошо развитой и глубокой корневой системой.

Большой интерес, на наш взгляд, представляют данные о степени накопления радионуклидов в тканях растений, используемых человеком и животными в пищу.

- Растения по степени накопления радиоактивных веществ располагаются в следующем порядке: табак (листья) > свекла (корнеплоды) > картофель (клубнеплоды) > пшеница (зерно) > естественная травяная растительность (листья и стебли). Быстрее всего из почвы в растения поступает стронций-90, стронций-89, йод-131, барий-140 и цезий-137.

Кроме пищевого имеются многие другие пути поступления радионуклидов в организм. К основным путям относят воздушный и кожный. Однако наибольшее значение имеет пищевой (алиментарный) путь. Лишь в период рассеивания

радионуклидов после аварии или выброса в атмосферу наиболее опасен воздушный путь из-за большого объема легочной вентиляции и высокого коэффициента захвата и усвоения организмом изотопов из воздуха. В зависимости от природы радионуклида и химических его соединений процент всасывания его в пищеварительном тракте колеблется от нескольких сотых (цирконий, ниобий, редкоземельные элементы, включая лантаниды) до нескольких единиц (висмут, барий, полоний), десятков (железо, кобальт, стронций, радий) и до сотен (третий, натрий, калий) процентов. Всасывание через неповрежденную кожу, как правило, незначительно. Только тритий легко всасывается в кровь через кожу. Затем радионуклиды распределяются в организме человека в соответствии с их химическими свойствами.

### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите природные источники ионизирующего излучения.
2. Назовите искусственные источники излучения.
3. Что понимается под временно допустимыми уровнями (ВДУ) и допустимыми уровнями (ДУ)?
4. Назовите ВДУ суммарной активности цезия-134, 137, стронция -90 в продуктах питания и воде.
5. Что понимается под поверхностным загрязнением?
6. Что такое структурное загрязнение?
7. Назовите пути поступления радионуклидов в организм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2
2. **Лысенко, Н. П.** Радиобиология: учебник/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – СПб.: Лань, 2012 – ISBN 978-5-8114-1330-0
3. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978–5–8114–1123–8

#### Дополнительная

1. **Постник, М.И.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учебник / М.И. Постник. – Минск: Высшая школа, 2003. – 398 с.

### Лекция 5

## **ОБЪЕКТЫ ВЕТЕРИНАРНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЭТАПОВ ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ. ЗАДАЧИ РАДИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ПОРЯДОК ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ**

### **5.1. Радиоактивная загрязненность окружающей среды**

В связи с развитием атомной индустрии широким использованием атомной энергии в народном хозяйстве появились потенциальные источники загрязнения искусственными радионуклидами окружающей среды, особенно за счет выбросов радиоактивных продуктов, перерабатывающими атомными электростанциями и аварийными ситуациями на них.

Считается, что при безаварийной работе ядерных энергетических установок проектной мощностью к 2000 г.  $2 \times 10^6$  мегаватт, в результате поступления искусственных радионуклидов в биосферу радиационный фон, обусловленный природными источниками радиации, увеличится приблизительно на 4 % - несколько выше вблизи реакторов и АЭС.

По некоторым данным, только на атомных электростанциях за время их эксплуатации произошло свыше 300 аварий и большое число утечек радионуклидов в атмосферу (аварии в Уиндскейле Англия и Чернобыле, 8-12 октября 1957, 26 апреля 1986 гг.)

В Уиндскейле - в атмосферу выпало в общей сложности (Ки):  $^{131}\text{I}$  -20000,  $^{132}\text{Te}$  -12000,  $^{137}\text{Cs}$  -600,  $^{89}\text{Sr}$  -80 и  $^{90}\text{Sr}$  -9.

Чернобыльская АЭС - 27 апреля радиационный фон составлял - 1000 мР/ч, 28 апреля - 500 мР/ч - на удалении 5-10 км от места аварии.

Суммарная величина выпадений - 31 000 000 Ки (5 мая) или приблизительно - 3.5% радиоактивных продуктов деления находящиеся в реакторе. На расстоянии 40 км, количество выпавших радионуклидов составляло 11 000 000 Ки.

В течении 100 лет будет непригодной для поселения людей территория, размером 500 км<sup>2</sup>.

## 5.2. Системы и методы радиационного контроля.

Принятая система радиационного контроля включает ряд последовательно выполняемых этапов:

1. Измерение уровня радиации на местности (полевая радиометрия и дозиметрия).
2. Отбор проб и подготовка проб к исследованию.
3. Прямое определение радиоактивности экспрессными методами.
4. Радиохимическое разделение радионуклидов.
5. Радиометрия выделенных радионуклидов.
6. Расчет активности и составление заключения.

Методы радиационного контроля можно разделить на радиометрические, радиохимические и спектрометрические.

**Радиометрические методы** включают полевую радиометрию и дозиметрию, экспрессное определение радиоактивности, радиометрических зольных остатков и радиохимических препаратов.

**Радиохимический метод** состоит из нескольких неразрывно связанных стадий:

1. Отбор и подготовка проб исследуемых объектов.
2. Внесение носителей и минерализации проб.
3. Выделение радионуклидов из проб.
4. Очистка выделенных радионуклидов от посторонних нуклидов и сопутствующих микроэлементов.
5. Идентификация и проверка радиохимической чистоты, радиометрия выделенных радионуклидов.
6. Расчет активности и составление заключения.

**Спектрометрический метод** радиоактивной экспертизы применяют для анализа сложных смесей без предварительного выделения радионуклидов.

Наиболее широко распространены гамма-спектрометрические методы с использованием сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов.

Спектрометрия актуальна при «свежих» выпадениях смеси радионуклидов, а когда известен изотопный состав, то нет необходимости проводить спектрометрию.

### **5.3. Объекты ветеринарной экспертизы, последовательность этапов ее выполнения.**

В целях профилактики превышения естественных фоновых величин радиоактивности, систематически проводится радиометрический и радиохимический контроль уровней радиации окружающей внешней среды.

Объекты ветеринарного надзора:( фураж, водоемы, рыба, мясо, молоко, яйца и т.д.) эту работу выполняет ветеринарная радиологическая служба.

#### **Задачей радиометрической и радиохимической экспертизы являются:**

1. Контроль радиационного состояния внешней среды, как за счет естественных, так и искусственных радионуклидов.

2. Определение уровней радиационного фона в различных районах территории и выяснение их влияния на биологические объекты и биоценозы.

3. Предупреждение пищевого и технического использования продуктов животноводства, содержащих радионуклиды в недопустимых концентрациях.

Определение радиоактивности в объектах ветеринарного надзора включает отбор и подготовку проб к радиометрии и радиохимическому анализу.

Как в обычных условиях, так и при аварийных ситуациях для отбора проб определяют контрольные пункты (хозяйства, фермы, поля и т.п.) более полно отражающие характеристику данного района (хозяйства) с тем, чтобы взятие пробы были наиболее типичными для исследуемого объекта.

При аварийных ситуациях, создающих загрязнение сельскохозяйственных угодий «свежими» продуктами ядерного деления (ПЯД), в летний период отбор проб молока из каждого контрольного пункта производят 2-3 раза с одновременным отбором используемых кормов .

Траву отбирают непосредственно, как на ферме (при стойловом содержании животных), так и на пастбищах; пробы мяса, костей, органов животных, непосредственно в хозяйствах или на мясокомбинатах (птицефабриках) от партий животных, поступающих из контролируемых районов.

При исследовании яиц с птицефабрик контролю подвергают и такие компоненты рациона птиц как зеленую подкормку (основной источник радиоактивности)

На исследования во всех случаях рекомендуется брать среднюю пробу. Для этого каждый объект берут в нескольких равных повторениях (не менее 3) с разных участков поля, скирды, бурта и т.д., затем их объединяют в одну.

Перед отбором кормов, мяса, молока, яиц измеряют гамма-фон прибором СРП-68-01 соответственно от почвы, скирды, ' бурта, туш животных, цистерн молока, партии яиц. Данные гамма- фона записывают в сопроводительном документе.

Контрольные пункты отбора травы устанавливают как в низинных, так и в горных пастбищах и сенокосах, удаленных от дорог не менее 200м.

Траву срезают на трех участках , расположенных по треугольнику и отстоящих друг от друга примерно на 100 м.. Пробу взвешивают, записывают сырую массу и

помещают в целлофановый пакет. В целях предупреждения порчи траву подсушивают.

Пробы сена, соломы, мякины, силоса, корнеклубнеплодов и концентратов берут при их закладке на зиму. Берут среднюю пробу и помещают в мешок, целлофан, восковую бумагу или бумажные пакеты.

Воду берут из рек, прудов и озер у берегов в местах водопоя животных или забора ее для этих целей.

Если водоем глубокий, то берут 2 пробы: с поверхности и на глубине примерно 0,5 м. от дна (чтобы не захватить отложения). Воду помещают в чистые стеклянные емкости, предварительно ополоснув их исследуемой водой, чтобы понизить адсорбцию радиоизотопов на стекле, воду подкисляют азотной кислотой до слабой реакции.

Мясо берут из нежирной части туши, а кости - лучше последние ребра. Мясо и кости от туш разного вида и возраста животных исследуют раздельно.

Рыбу берут целыми экземплярами (при массе до 0,5 кг) или отдельными частями (голова с частью тушки, часть тушки с позвоночником). При отправке скоропортящихся проб (мясо, рыба) их завертывают в чистую марлю (мешковину), обильно смоченную 5-10 %-ным раствором формалина, или инъецируют его в толщу продукта.

Молоко перед взятием пробы тщательно перемешивают. Из большой тары пробы берут с поверхности и из глубины (стеклянной трубкой) можно надоить молоко от разных коров (выборочно) в чистые стеклянные емкости (бутылки). Для радиометрического и радиохимического анализа можно использовать как цельное, так и сепарированное молоко.

Пробы нумеруют и составляют опись, которую прикладывают к сопроводительной в лабораторию. На взятые пробы составляют акт в двух экземплярах, в котором указывают кем взяты пробы (учреждение, должность, фамилия); место и дату отбора проб; название продукта, куда направляют пробы; цель исследования. Акт подписывает отборщик проб и представитель хозяйства. Один экземпляр акта оставляют в хозяйстве для списания взятия проб.

Прием и предварительную обработку доставленных в лабораторию проб проводят в специальном помещении, оборудованном вытяжными и сушильными шкафами, муфельными печами, приспособленными для мытья тары, посуды, и при необходимости проб.

Присланный материал перед взятием средней пробы тщательно размешивают. Корнеклубнеплоды (отмытые от земли), сено, солому, траву, мясо предварительно измельчают. Величина средней пробы должна быть достаточной для надежного определения того или иного радионуклида. В целях концентрации пробы проводят минерализацию. Используемые при этом методы могут быть различными в зависимости от вида исследуемого материала, химической природы определяемых радионуклидов, схемы радиохимического анализа.

В начале определяют суммарную бета-активность, которая отражает удельную радиоактивность (Ки/кг, Ки/л) объекта ветнадзора. Это позволяет оперативно получить ориентировочные сведения о радиоактивности исследуемой пробы. Для выяснения изотопного состава радионуклидов в кормах и других объектах осуществляют радиохимический анализ, который включает следующие операции:

1. Выделение радиоизотопа
2. Его очистка

3. Проверка радиохимической чистоты
- 4- Измерение активности (радиометрия)

Наиболее трудоемкими являются первые две операции: выделение и очистка радиоизотопа.

Необходимость проведения радиохимического анализа состоит в том, чтобы определить радиоизотопный состав, так как радиотоксичность не одинакова. Установленные ПДК в объектах внешней среды различаются между собой в 100-1000 раз и более.

В практике ветеринарно-радиологических исследований в первую очередь проводят радиохимический анализ главных РПД -стронция- 90, цезия- 137, свинца- 210 и в особых случаях йода-131, стронция-89, иттрия-91, бария-140, церия- 141 и 144.

#### **5.4. Оценка уровня радиоактивной загрязненности объектов ветеринарного надзора и пути снижения загрязнения сельскохозяйственных объектов.**

Оценка уровня радиоактивной загрязненности кормов для животных и концентрации радионуклидов в продуктах животного происхождения исходит от ПДС радионуклидов в рационе человека.

В связи с этим разработаны и экспериментально проверены коэффициенты ряда радиоактивных изотопов из почвы в растения, из растения в животное, от животного к человеку. В условиях чрезвычайных обстоятельств ветеринарно-санитарный и радиологический контроль объектов ветеринарного надзора приобретает особо важное значение. Возникает необходимость оперативного контроля за радиоактивным загрязнением объектов внешней среды, фуража, воды с целью быстрого определения возможности их дальнейшего использования. Фураж и воду можно допускать в корм и для водопоя животных только при условии, если их загрязненность радиоактивными веществами не превышает допустимых норм. В остальных случаях фураж дезактивируют или оставляют на длительный срок хранения самодезактивации в результате радиоактивного распада.

#### **Дезактивация**

Дезактивацию осуществляют в зависимости от вида фуража (зернофураж, сено, комбикорм), способа его хранения и упаковки, характера и степени радиоактивного загрязнения. Она может быть проведена разными способами: удалением загрязненного наружного слоя фуража, заменой загрязненной тары чистой.

Дезактивация воды может быть достигнута путем отстаивания ее с последующим сливом верхних слоев воды в чистую емкость; коагулированием с последующим отстаиванием, фильтрованием через сорбенты и иониты, перегонкой.

Разработаны химические и агротехнические методы, ограничивающие поступления стронция-90 из почвы в растения.

Химический метод основан на использовании конкурентных отношений кальция и стронция -90. Так при внесении кальция в кислые почвы, которые бедны этими элементами, снижается поступление стронция-90 в растения на 20-60 %. Одновременное внесение кальция и навоза увеличивает данный эффект.

На почвах, богатых кальцием подобные добавки неэффективны.

Агротехнический прием, снижающий поступление стронция в растения с короткими корнями при поверхностном загрязнении им почвы, предусматривает разовую глубокую перепахку с оборотом пласта; метод можно рекомендовать для

обработки лугов и пастбищ.

### **Животные**

Пребывание животных в зоне радиоактивного загрязнения приводит к их радиационному поражению, степень которого может быть различной. Для определения степени тяжести поражения и возможного хозяйственного использования, животных очень важно провести ветеринарно-санитарное обследование (диспансеризацию) их. Хозяйственное использование пораженных радиацией животных может быть:

- 1) оставление на воспроизводство,
- 2) откорм;
- 3) убой на мясо, или с целью
- 4) получения технических продуктов (мясо- костная мука, технический жир и др.)

Внутри организма животных радиоактивные вещества могут поступать через органы пищеварения и дыхания. Внутреннее поражение животных радиоактивными веществами значительно отягощает развитие лучевой болезни, обусловленной общим внешним гамма- облучением. Обследование пораженных животных начинают с анализа радиационной обстановки на территории их пребывания: уровень радиации и степень радиоактивного загрязнения кормов и воды, место размещения животных (на пастбище, в деревянных или кирпичных помещениях, прогон по загрязненной территории).

При возможности рассчитывают дозу облучения, полученную животными за время нахождения на загрязненной радиоактивными веществами местности, а также содержание радиоактивных веществ в суточном рационе , пользуясь методами, изложенных в соответствующих инструкциях и рекомендациях.

Из клинических данных определяют общее состояние животных: угнетение, возбуждение, нарушение координации движения, степень выраженности рефлексов, состояние слизистых оболочек и конъюнктивы ( анемия, кровоизлияние), частота пульса, дыхания, температура тела, упитанность, акт дефекации (понос, кровь или примесь крови в фекалиях).

Выборочно у 5-10 животных из группы находившихся в одинаковых условиях, определяют показатели крови( количество лейкоцитов, тромбоцитов, нейтрофилов, лимфоцитов, лейкоформулу). Рассчитывают абсолютные количества лимфоцитов, индекс сдвига ядра; обращают внимание на дегенеративные изменения ядра и цитоплазмы, определяют индекс ретракции кровяного сгустка.

При затруднении прогнозирования исхода лучевой болезни используют коэффициент прогноза (КП). Определяют активность сукцинатдегидрогеназы в лимфоцитах крови. Данные диспансеризации заносят в диспансерную карту.

В целях определения наличия радиоактивных веществ на поверхности тела и в организме проводят радиометрическое исследование приборами ДП-5 или СРП- 68-01.

Перед началом измерений определяют внешний гамма-фон местности на расстоянии 1см от земли. В случаях если он превышает допустимую величину уровня радиоактивной загрязненности животных более, чем в 3 раза, измерение загрязненности животных проводят различного рода укрытиях, снижающих гамма-фон.

При измерении общей радиоактивной загрязненности животных экран датчика радиометрических приборов располагают на расстоянии 1,5- 2см от поверхности кожного покрова. Измерение в начале проводят со стороны спины и крупа, затем определяют мощность излучения правой и левой сторон тела животного, область левой

голодной ямки, мечевидного хряща животного, конечностей, головы.

Прибором ДП-5 определяют, помимо общей радиоактивной загрязненности животных, локализацию радиоактивных веществ (на поверхности кожи, внутри организма).

С этой целью проводят два измерения уровня радиации у поверхности тела животного: при закрытом окне датчика (экран в положении «Г») и открытом окне (экран в положении «Б»).

Если при открытом окне датчика показания прибора существенно выше, чем при закрытом, то радиоактивные вещества находятся на поверхности кожи; если же оба показания одинаковы, то это указывает на наличие их внутри организма.

Кроме того определяют наличие радиоактивности в моче, фекалиях, молоке.

С диагностической целью при необходимости из числа обследованных животных каждой контрольной группы проводят убой. При этом обращают внимание на наличие кровоизлияний в слизистых, серозных оболочках и внутренних органах, отека в области гортани, трахеи, печени, почек, состояния щитовидной железы, селезенки, лимфоузлов, костного мозга (консистенция, цвет)

Пробы мяса и внутренних органов подвергают радиометрии и радиохимическим исследованиям. На основании комплекса исследований проводят сортировку животных по тяжести радиационного поражения. Сортировку осуществляют как можно раньше, чтобы снизить расход кормов и сил на содержание животных. При прогнозировании тяжелой степени и крайне тяжелой острой лучевой болезни и тяжелой степени хронической- животных убивают на мясо.

При средней степени лучевой болезни целесообразно животных свести в одну группу и организовать лечение. При этом животных старых, истощенных, малопродуктивных, пораженных другими болезнями убивают на мясо или уничтожают (при некоторых инфекционных болезнях). В отношении животных после выздоровления определяют дальнейшее их хозяйственное использование (откорм или воспроизводство).

Перед убоем животных в зависимости от степени радиоактивной загрязненности моют 0,3- 0,5% раствором моющих или ПАВ, или водой под давлением (до трех атмосфер), добиваясь снижения уровня внешнего гамма-излучения ниже 50 мкР/ч. Если же не удастся обработкой снизить радиоактивную загрязненность до допустимых норм, таких животных выделяют в обособленную группу и выдерживают под наблюдением до спада радиоактивности.

Емкость биосферы- величина постоянная. Даже если сброс радиоактивных отходов атомного производства не превышает допустимых пределов, может произойти локальное и глобальное накопление радиоактивных загрязнений в биосфере, главным образом за счет долгоживущих радионуклидов.

Таким образом радиоактивное загрязнение окружающей среды, как и загрязнение ее отходами современной промышленности и цивилизации- неизбежный фактор атомного века. Единственно, что необходимо делать, это контролировать уровень радиоактивного загрязнения внешней среды и принимать меры к его ограничению, а также предотвращать попадания радиоактивных веществ в продукты питания.

Все это вызвало необходимость создания во многих странах службы радиоактивной безопасности. В разных странах она организована по-разному, но везде

подразделяется на ряд сфер (геофизическую, медицинскую, сельскохозяйственную и т.д.)

В нашей стране для осуществления радиоактивного контроля объектов ветеринарного надзора создали радиологические отделы в республиканских, краевых и областных ветеринарных лабораториях, а радиологические группы- районных (межрайонных) ветеринарных лабораториях, лабораториях ветеринарно-санитарной экспертизы на рынках, в производственных лабораториях, предприятиях мясной и молочной промышленности.

Радиологическое разделение в вопросах санитарной безопасности руководствуется действием ОСП работы, с радиоактивными веществами и другими источниками излучения

#### ***Контрольные пункты Саратовской области:***

1. Балашовский район- ТОО Ильмень «Смычка», Балашовская птицефабрика.
2. Краснокутский район - АФХ «Сельская Новь», рыбхоз «Ерусланский».
3. Пугачевский район- ОПХ «Соляное».
4. Ртищевский район- ТОО «Путь Ленина».
5. Саратовский район- АО «Багаевское».
6. Балаковский район - ОПХ «Новониколаевское», пруд охладитель Балаковской АЭС.
7. Вольский район- ТОО «Ключевское».
8. Хвалынский район- ТОО «Красное знамя».

#### **Сроки отбора проб**

Трава - весной и летом; грубые корма- осень( в период уборки);

Силос, сенаж - в период скармливания животным;

Корнеклубнеплоды- 2 раза лето, осень (в период роста и уборки урожая);  
концентрированные корма-осень (в период уборки урожая), а привозные- по мере поступления;

Молоко - ежеквартально; мясо- зима, осень (в середине стойлового периода и период постановка на стойловое содержание)

Рыба - по мере поступления; вода- весна, осень (после стаивания льда и перед ледоставом).

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Опишите радиоактивную загрязненность окружающей среды, из чего она складывается.
2. Назовите методы радиоактивного контроля.
3. Что относится к объектам ветеринарного надзора.
4. Правила отбора проб и подготовка их к анализу.
5. На какие главные радионуклиды проводится радиохимический анализ.
6. Что такое дезактивация?
7. Коэффициент пересчета радиоактивных изотопов (из почвы в растение, из растения в животное, от животного к человеку).

8. Какими приборами проводят определение наличие радиоактивных веществ на поверхности тела и в организме.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2

2. **Лысенко, Н. П.** Практикум по радиобиологии: Учеб. пособие/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. - М.: КолосС, 2008 ISBN 978-5-9532-0434-7

3. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978–5–8114–1123–8

### Дополнительная

1. **Дорожко, С.В.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учебное пособие. Часть 3. Радиационная безопасность / С.В. Дорожко, В.П. Бубнов, В.Т. Пустовит. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 209 с.

## Лекция 6

### БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

#### 6.1. Теории и механизм действия ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение – одно из уникальных явлений окружающей среды, последствия от воздействия которого на организм на первый взгляд совершенно неадекватны величине поглощаемой энергии.

Реакции организма на действие ионизирующих излучений многообразны. Характер проявления послелучевых изменений в организме зависит от многих причин:

1) Физических параметров излучения (вид, энергия, мощность и доза облучения и т.д.);

2) Биологических особенностей животного (состояния животного, возраста, массы, условия содержания и кормления и т.д.).

Различные органы животных имеют неодинаковую радиочувствительность. По морфологическим признакам, выявляемым гистологическими методами. Органы можно расположить по убывающей степени радиочувствительности в следующем порядке: лимфатические узлы и фолликулы, красный костный мозг, вилочковая железа, селезёнка, половые железы, кожа, глаза, печень, легкие, почки, головной мозг, сердце, кости, сухожилия, нервные стволы и др. В связи с этим для исхода лучевого воздействия на организм большое значение имеет какая часть тела животного облучена. Общее равномерное облучение вызывает наибольший радиобиологический эффект. Степень послелучевых реакций организма определяется дозой лучевого воздействия: малые дозы оказывают стимулирующее действие на биологические реакции (обмен веществ, секреторную, выделительную и другие функции), средние дозы затормаживают физиологические процессы, большие – вызывают глубокие

патологические нарушения, сверхвысокие дозы полностью прекращают жизненные процессы.

В зависимости от проникающей способности излучений ионизирующая радиация вызывает различные поражения. Так, внешнее облучение альфа- и бета-частицами, слабо проникающими в ткани, вызывает главным образом изменения в коже, а рентгеновыми и гамма-лучами или нейтронами, обладающими большой проникающей способностью, чаще приводит к общему поражению в виде лучевой болезни.

Для объяснения механизма первичного действия ионизирующих излучений на живые клетки предложено большое число гипотез и теорий.

Известны теории прямого и непрямого действия ионизирующих излучений. При прямом действии предполагается, что в основе повреждения клеток тканей лежит процесс ионизации. Когда в результате прямого попадания ионизирующей частицы в биомолекулы могут наступить различные денатурационные изменения в них, например: разрыв наименее прочных связей, отрыв радикалов, расщепление молекул, подавление действия ферментов, изменений проницаемости клеточных оболочек, кислородное голодание тканей, нарушение нервной трофики и др.

Непрямым или косвенным действием ионизирующего излучения называют радиационно-химические изменения структур (молекул, клеток и т.д.), обусловленные продуктами радиолиза воды или растворенных в ней веществ (свободные радикалы, перекись водорода, гидропероксид, органические перекиси).

О различии прямого и косвенного действия радиации на биологические объекты и величину их влияния на развитие лучевого поражения можно судить по двум феноменам – эффекту разведения и кислородному эффекту.

Эффект разведения – это состояние, при котором абсолютное число поврежденных молекул веществ в слабом растворе не зависит от его концентрации и остается для данной экспозиционной дозы постоянным, так как в этих конкретных условиях в растворе образуется постоянное количество активированных радикалов.

Кислородный эффект предполагает, что развитие первичных реакций при облучении биообъектов большое значение имеет концентрация кислорода в среде. С повышением его концентрации в окружающей среде и объекте облучения усиливается эффект лучевого поражения и, наоборот, при понижении концентрации кислорода наблюдается уменьшение степени лучевого поражения.

Дальнейшим развитием теории прямого действия излучений является теория «мишени». Эта теория подразумевает, что в животной или растительной клетках имеются чувствительные к излучению участки – «мишени» и что только при попадании ионизирующей частицы в эти участки происходят в клетке изменения, которые можно оценить количественно; в этом заключается преимущество данной теории.

Предложена гипотеза, объясняющая лучевую болезнь как следствие изменения иммунной системы.

Общим недостатком выдвинутых теорий и гипотез первичных механизмов лучевого поражения является то, что выдвигаемые положения не удается подтвердить в экспериментальных условиях на теплокровных животных.

В механизме биологического действия ионизирующего излучения на живые объекты можно выделить следующие этапы: первичный физический, радиационно-химический и биологический (морфологический).

На первичном физическом этапе взаимодействия излучения биологическая ткань поглощает энергию, образуются ионы, а также возбужденные атомы и молекулы.

В простых веществах, молекулы которых состоят из атомов одного и того же элемента (газы, металлы и т.д.), процессу ионизации сопутствует процесс рекомбинации. Ионизированный атом присоединяет к себе один из свободных электронов, которые всегда имеются в среде, в результате вновь образуется нейтральный атом. Возбужденный атом возвращается в нормальное состояние путем перехода электрона с внешних оболочек на более близко расположенные к атомному ядру. При этом происходит испускание одного или нескольких фотонов характеристического излучения. Таким образом, ионизация и возбуждение атомов простых веществ не приводят к каким-либо изменениям физико-химической природы облучаемой среды.

Иначе дело обстоит при ионизации и возбуждении сложных молекул, в данном случае происходит их диссоциация в результате разрыва химических связей. Это так называемое прямое действие излучения. Под косвенным действием излучения понимают радиационно-химические изменения в данном растворенном веществе, обусловленные продуктами радиолиза воды.

Ионизированные и возбужденные атомы и молекулы обладают большой биохимической активностью. Появление новых активных ионов может индуцировать новые радиохимические реакции, несвойственные организму, а также изменять скорость естественно протекающих реакций в различных звеньях промежуточного обмена. Накопление этих активных агентов приводит к резким нарушениям жизнедеятельности облученных клеток, тканей и организма в целом.

Вследствие ионизации в биологических средах образуются свободные радикалы, которые обладают очень высокими химическими (окислительными и восстановительными) способностями, за счет наличия неспаренного электрона в одном из атомов ионизированной молекулы.

Взаимодействие свободных радикалов с органическими и неорганическими веществами идет по типу окислительно-восстановительных реакций и составляет эффект косвенного действия. При облучении примерно половина поглощенной энергии влияет на организм по типу прямого (45%), а остальная (55%) – косвенного действия. Так, в чистых сухих веществах будет преобладать прямое действие, в слабых растворах – косвенное.

Итак, получающиеся в процессе радиолиза воды свободные радикалы и окислители, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментами и других структурными элементами биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются:

- 1) Обменные процессы;
- 2) Подавляется активность ферментных систем;
- 3) Замедляется и прекращается рост тканей;
- 4) Возникают новые химические соединения, не свойственные организму, – токсины (радиотоксины). Об их наличии в облученных организмах свидетельствует тот факт, что при введении крови от облученных животных, у необлученных реципиентов в ряде органов и систем возникают изменения, свойственные лучевому поражению.

Индукцированные свободными радикалами химические реакции развиваются с

большим выходом и вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением.

## **6.2. Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы организма животных.**

**Действие излучений на клетку.** Наиболее чувствительными к облучению органеллами клеток организма являются ядро и митохондрии. Повреждения этих структур происходят при малых дозах и проявляются в самые короткие сроки. Под действием излучений в клетке и тканях нарушается структурно-метаболический процесс. Это происходит в три этапа. Первый - образование активных неорганических и органических радикалов. На втором этапе – нарушаются структуры биологических мембран, что приводит к высвобождению ряда ферментов. В результате повреждения лизосомных мембран наблюдается увеличение активности ДНКазы (дезоксинуклеаза), рнказы (рибонуклеаза), катепсинов, фосфотазы и ряда других ферментов. На третьем этапе происходит нарушение процессов обмена, обуславливающее морфологические изменения, приводящие к нарушению дифференцированию клеток, их деления, изменению наследственных свойств.

Наиболее уязвимыми являются клетки органов кроветворения (красный костный мозг, селезенка, лимфатические узлы), половых желез, эпителий кишечника и желудка, т.е. в основном клетки тех тканей, которые обладают высокой митотической активностью. Измененные свойства облученной клетки передаются по наследству. Если радиационные мутации развиваются в половых клетках (гаметические мутации), то результаты сказываются в последующих поколениях.

**Действие излучений на обмен веществ.** Нарушение обмена веществ, отмечающиеся в результате действия на организм ионизирующих излучений, в значительной степени связано с изменением активности ферментов.

При тяжелом радиационном поражении быстро развивается нарушение белково-азотистого обмена. В тканях возрастает содержание свободных аминокислот, а в крови увеличивается количество остаточного азота и повышается содержание тирозина. Возрастает содержание азотистых веществ (мочевины, аминокислот и даже белков) в моче. В плазме крови отмечается нарушение соотношений между альбуминовой и глобулиновой фракциями, изменяется содержание общего белка и небелкового азота, ослабляется образование антител, изменяются антигенные свойства белков. Указанные нарушения азотистого обмена обуславливают снижение веса, отравление организма продуктами неполного белкового распада и изменение барьерных функций.

Изменение углеводного обмена ведет к уменьшению содержания гликогена в печени, скелетных мышцах, миокарде, повышению содержания сахара в крови. Тормозится процесс образования лимонной кислоты, что задерживает распад глюкозы. Снижение гликогена объясняется голоданием животного вследствие плохого аппетита, а также замедлением всасывания глюкозы в результате поражения стенок тонкого кишечника.

Изменения в жировом обмене приводят к снижению содержания холестерина в крови и тканях, отмечается жировое перерождение паренхиматозных органов, изменяется синтез триглицеридов и фосфатидов органов и тканей.

Нарушение витаминного обмена проявляется уменьшением содержания витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> в печени, селезенке, головном мозге, тканях тонкого кишечника и крови.

После облучения отмечается общая тенденция обезвоживания организма. Уже в первые часы после облучения уменьшается поступление воды через кишечник, что в свою очередь оказывает влияние на минеральный обмен белков, жиров, углеводов, а также синтез витаминов и гормонов. Под действием излучения происходит перераспределение микроэлементов.

В период разгара лучевых поражений развивается гипохлоремия. Уменьшается содержание в тканях фосфорных соединений и железа.

**Действие радиации на кожу и ее производные.** Максимально переносимая кожей доза жесткого рентгеновского излучения при однократном внешнем воздействии составляет около 1000 рад (10Гр). При больших дозах возникают дерматиты, гиперкератоз в виде плоских или бородавчатых разрастаний, а затем язвенные поражения.

На основании клинических признаков принято различать эпиляционную, эритемную, эритемно-буллезную, язвеннонекротическую степени тяжести поражения.

**Действие радиации на соединительную ткань.** После воздействия радиации изменяется клеточный состав соединительной ткани, структура эластических и коллагеновых волокон. Изменения свойств соединительно-тканых волокон сохраняются длительное время в течение 20-30 суток, при больших дозах могут наблюдаться годами.

**Действие радиации на нервную систему.** Ткани центральной нервной системы по морфологическим изменениям являются малочувствительными к действию радиации, но функциональные изменения в ней отмечаются уже во время облучения. При этом нарушается условно-рефлекторная деятельность, отмечаются рефлекторные сдвиги, изменяются энцефалограмма, биохимические и обменные процессы на молекулярном и клеточном уровнях. Наибольшей чувствительностью обладают ткани больших полушарий и ствола головного мозга.

Нервно-рефлекторный аппарат реагирует на различные изменения, происходящие в тканях организма под действием радиации, что ведет к возникновению ответных реакций (порой неадекватных) со стороны нервной системы.

Функциональные нарушения коры и подкорковых областей характеризуются изменениями величины безусловных и условных рефлексов вплоть до полного их угнетения, ослаблением внутреннего торможения, нарушением уравновешенности процессов возбуждения и торможения.

Реакция спинного мозга на облучение выражается нарушением рефлекторной деятельности, а также появлением судорог и параличей.

Функциональные изменения центральной нервной системы возникают раньше, чем структурные.

**Действие радиации на кровь и кроветворные органы.** Кроветворные органы (лимфатические узлы, селезенка, красный костный мозг, различные лимфоидные образования) очень чувствительны к действию ионизирующих излучений. Эти органы реагируют на небольшие дозы радиации (10-25 Р).

Лимфоидная ткань является более радиопоражаемой, чем красный костный мозг. В лимфатических узлах происходят деструктивные изменения за счет гибели лимфоцитов, в них сохраняется лишь опустошенная ретикулярная сетка. В селезенке разрушаются фолликулы, их клетки погибают, а обломки фагоцитируются. Лимфоидные органы, стенки пищеварительного тракта, миндалины, а также пейеровы бляшки и солитарные фолликулы кишечника некротизируются, покрывающая их

слизистая изъязвляется.

Очень резким изменениям подвергается костный мозг. Особенно чувствительны молодые клеточные формы: миелобласты, миелоциты лимфоциты. Под действием больших доз облучения в костном мозге исчезают не только молодые формы, но и зрелые лимфоциты, нейтрофилы и эритроциты. В костном мозге наблюдаются кровоизлияния и замещение клеток костного мозга жировой тканью.

В результате уменьшения количества белых кровяных телец снижаются защитные силы организма в борьбе с инфекцией, из-за недостатка эритроцитов страдает снабжение тканей кислородом. Вследствие уменьшения количества тромбоцитов уменьшается процесс свертывания крови. Происходит снижение резистентности эритроцитов, приводящее к гемолизу. Все эти процессы в конечном итоге вызывают развитие анемии и снижение сопротивляемости организма.

**Действие радиации на сердечно-сосудистую систему.** Следствием облучения является нарушение нервно-рефлекторной гемодинамики, проявляющееся понижением артериального и венозного давления, уменьшением скорости кровотока и объема циркулирующей крови, изменением частоты и ритма сердечных сокращений. Наряду с этим снижается проницаемость и прочность капиллярных стенок и изменяется их эндотелий. Эти изменения ведут к повышению ломкости капилляров. А так как кровь одновременно изменяется морфологически (тромбоцитопения) и биохимически (снижается свертываемость), то развивается геморрагический синдром (кровоточивость) в различных органах, появляются сначала петихиальные экстрavasаты, переходящие потом в сливные, т.е. геморрагии.

Наиболее чувствительной тканью сердца является эндокард.

**Действие радиации на эндокринные железы.** При радиационном поражении функция органов эндокринной системы нарушается в результате патологической регуляции измененной нервной системы и действия образующихся в организме различных продуктов нарушенного обмена веществ.

В первые часы после облучения обнаруживают:

- в щитовидной железе – уменьшение размеров фолликулов и содержание коллоида, гиперемия и отёк стромы;
- в гипофизе – набухание и дегрануляцию хромаминых клеток и некоторое увеличение их количества;
- в надпочечниках – перераспределения и увеличение содержания жира в клетках коры, уменьшение количества хромафинных включений в клетках мозгового слоя. Функция всех указанных желез при этом усиливается.

В период острого лучевого поражения отмечают:

- в щитовидной железе – уменьшение ее размеров, спадение фолликулов, набухание и дистрофические изменения фолликулярных клеток с последующим сдуванием их в просвет фолликулов;
- в гипофизе – дистрофические изменения в виде дегрануляции клеток и их распада, выраженные сосудистые изменения;
- в надпочечниках – дистрофические изменения, в результате которых происходит обеднение клеток коры липидами, множественные мелкоочаговые кровоизлияния, полнокровие, отёк стромы и мелкоочаговые некрозы. Функция этих желез резко угнетена.

**Действие радиации на вилочковую железу.** Вилочковая железа очень

чувствительна к действию радиации. Спустя одни сутки после облучения в минимальной смертельной дозе масса ее снижается на 80% за счет гибели малых лимфоцитов. Этому предшествует быстрое прекращение деления лимфоидных и ретикулярных клеток.

**Действие радиации на иммунологическую реактивность животных.** В результате облучения у животных наблюдается изменение иммунологических реакций. Это изменение связано прежде всего в подавлением образования антител и подавление иммунных свойств. С развитием поражений степень «беззащитности» увеличивается, поэтому органы и ткани облученного организма обсеменяются микробами аутофлоры. Интенсивное расселение бактерий аутофлоры часто служит причиной развития эндогенной инфекции, к которой очень чувствительны облученные животные. Изменения, вызванные патогенной микрофлорой, наступают в облученном организме неодновременно и степень их выраженности зависит от объекта, условий и дозы воздействия.

**Действие радиации на мышцы.** Мышечную ткань относят к наиболее резистентным тканям организма. Лишь при дозах в 10 Гр отмечают нерезкую деструкцию клеток, набухание митохондрий, вакуолизацию саркоплазмы, а при дозах выше 50 Гр возможен коагуляционный некроз. При этом отмечают и функциональные расстройства, прогрессирующие снижение тонуса, работоспособности мышц, увеличение времени релаксации.

**Действие радиации на органы пищеварения.** По степени радиочувствительности к ионизирующим излучениям органы пищеварения распределяются следующим образом: тонкий кишечник, слюнные железы, желудок, прямая и ободочная кишка, поджелудочная железа и печень. При действии ионизирующего излучения на весь организм в больших дозах наступает желудочно-кишечный синдром.

**Действие радиации на органы выделения.** Почки являются довольно резистентным органом, однако при облучении дозами 3-5 кР (высокие дозы) в них развиваются явления нефрита или некротического нефроза, что приводит к урелическому состоянию.

**Действие радиации на органы дыхания.** Степень поражения органов дыхания зависит от дозы облучения. После малых и сублетальных доз радиации визуально не регистрируются какие-либо изменения со стороны органов дыхания, но при воздействии больших доз четко появляются нарушения внешнего дыхания: изменяются частота и глубина дыхательных движений. В легких возникают застойные явления, появляется эмфизема; эти нарушения обнаруживаются при легкой и кратковременной физической нагрузке.

**Действие радиации на органы чувств.** Реакции на облучение слухового, вкусового, обонятельного, вестибулярного и других анализаторов в принципе проявляют общую закономерность и в начале процесса зависят от исходного состояния чувствительности. При малых дозах они повышаются, при больших – понижаются.

**Действие радиации на органы зрения.** При остром лучевом поражении развиваются сосудистые расстройства в любом из отделов глазного яблока как следствие общих изменений организма. Появляются сосудистые реакции, конъюнктивиты, катаракта и другие симптомы.

**Действие радиации на кости и хрящи.** Радиочувствительность костной и хрящевой тканей существенно зависит от возраста животного. У молодых растущих

индивидов указанные ткани очень чувствительны, а у половозрелых, с законченным ростом, - относительно радиорезистентны. Хрящевые клетки более чувствительны, чем остеокласты.

**Действие радиации на органы размножения.** Чувствительность организма и его органов к радиации во многом определяется периодом его развития. Она изменяется в течение всей жизни животного. Общая тенденция такова, что начиная от зародыша и кончая половозрелым состоянием, радиочувствительность организма и его органов постепенно понижается, в среднем возрасте стабилизируется и к старости вновь повышается.

**Действие радиации на семенники.** Половые железы очень чувствительны к радиации. Наиболее радиопоражаемым является зародышевый эпителий семенных канальцев, в ядерном аппарате которого возникают мутации. Замороженная сперма не чувствительна к действию радиации.

**Действие радиации на яичники.** Яйцеклетка более чувствительна к радиации, чем сперма. Общее облучение большой дозой в зависимости от ее величины и мощности временно или навсегда прекращает овуляцию.

У животных раннего возраста и в период полового созревания яичники более радиочувствительны, чем у половозрелых.

**Действие радиации на зародыш, эмбриональный плод и течение беременности.** Зародыш в большей степени подвержен ионизирующим воздействиям, чем материнский организм, но степень этого влияния зависит от стадий эмбриогенеза. Облучение животных в первые дни беременности приводит к гибели 70-80%. Если зародыши выживают, то в дальнейшем они могут развиваться нормально.

Особь, развивающаяся из нормальной яйцеклетки, но оплодотворенной спермием, подвергшимся облучению, тоже могут гибнуть в эмбриональном периоде. Если же они рождаются и достигают стадии половой зрелости, то нередко оказываются частично или полностью стерильными, в основном из-за недоразвития половых желез.

Плоды менее чувствительны к облучению, чем зародыши, поэтому внутриутробная смерть и аборт наступают реже. Однако увеличивается процент смертности после рождения или наблюдается плохое, медленное развитие молодняка. У многих регистрируют анемию, лейкопению, кровоизлияния в различных частях тела и другие признаки. Одной из главных причин гибели облученных плодов в последний период беременности и новорожденных в первое время жизни является нарушение функций органов кроветворения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Объясните механизм действия ионизирующего излучения.
2. Характеристика действия облучения на нервную систему.
3. Характеристика действия облучения на сердечно-сосудистую систему.
4. Характеристика действия облучения на лимфоидную и костную ткани.
5. Характеристика действия облучения на органы репродукции.
6. Действие радиации на обменные процессы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

Основная

4. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – СПб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2

5. **Лысенко, Н. П.** Практикум по радиобиологии: Учеб. пособие/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. - М.: КолосС, 2008 ISBN 978-5-9532-0434-7

6. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978–5–8114–1123–8

#### Дополнительная

1. **Ярмоленко, С.П.** Радиобиология человека и животных: учебник для биологических спец. ВУЗов / С.П. Ярмоленко. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.

2. **Ильин, Л.А.** Радиационная гигиена: учебник / Л.А. Ильин, В.Ф. Кириллов, И.П. Коренков. – М.: Медицина, 1999. – 384 с.

3. **Бударков, В.А.** Краткий радиобиологический словарь./ В.А Бударков, А.С. Зенкин, В.А. Кишин. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2000 г., 256 с

## Лекция 7

### ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕДЕНИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

#### 7.1. Исходные положения после выпадения радиоактивных осадков

1. Исходные положения после выпадения радиоактивных осадков. В условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственное производство должно осуществляться при условии полной радиационной безопасности для работающих на этой территории людей.

2. Основной вклад в радиоактивные продукты ядерного деления вносят короткоживущие радионуклиды -изотопы йода. В первые дни, недели, вероятность серьезного радиационного поражения людей и животных наибольшая, что предопределяет необходимость осуществления жесткого контроля за соблюдением мер безопасности в этот период.

3. Радиоактивное загрязнение местности обычно носит неравномерный характер, это имеет важное значение с хозяйственной точки зрения (некоторый маневр - пастбища животных, сбор кормов).

4. В следующий сельскохозяйственный год - необходимо следить за содержанием радиологически допустимых радионуклидов стронция и цезия- (Чернобыле). В принципе любая сельскохозяйственная продукция, полученная на загрязненной территории, может быть использована для тех, или иных хозяйственных целей: непосредственно (без предварительной переработки) для питания людей, и для переработки в пищевой промышленности (получение крахмала, спирта, масла и т.д.)

5. Вопрос о перепрофилировании хозяйства (в зоне радиационного загрязнения)- решается после всестороннего экономического обоснования.

6) Систему ведения сельского хозяйства на загрязненной территории следует разрабатывать по зональному типу:

а) Учитывать плотность загрязнения  $^{90}\text{Sr}$ ,  $\text{Cs}^{137}$

- b) Почвенно- климатические условия
- c) Материально технические возможности хозяйства

Конечная цель- получение нужной сельскохозяйственной продукции с допустимыми уровнями загрязнения радионуклидами

7) Сельскохозяйственное производство должно вестись так, чтобы исключить возможность увеличения загрязнения относительно «чистых» угодий радионуклидами, обеспечить максимальное снижение миграции радионуклидов во всех звеньях пищевой цепи (почва-растение- сельскохозяйственные животные - продукты животноводства).

8) Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных позволяет при прочих равных условиях снизить концентрацию радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

## **7.2. Ведение сельского хозяйства в ближайший период после выпадения радиоактивных осадков.**

**Йодная опасность.** Прежде всего необходимо помнить, что в чрезвычайных ситуациях, к которым, несомненно, относится и выпадение осадков, вся производственная деятельность и жизнь населения регламентируется соответствующими указаниями службы ГО.

До выяснения радиоактивной обстановки или получения инструкций и специальных указаний, необходимо прежде всего снизить опасность радиационного поражения в результате внешнего  $\gamma$ - облучения. Для этого нужно укрыться в убежищах, подвалах, подпольях, в крайнем случае - в жилых помещениях (лучше каменных). Весь скот необходимо загнать в помещение, принять меры по предотвращению выпаса скота на загрязненных пастбищах. Длительность непрерывного пребывания людей в укрытиях - не менее 4-6 дней (особо опасные первые 2 дня), если нет информации об уровнях радиации.

При радиоактивных выпадениях в зимне - стойловый период проблем с кормлением животных , не должно быть (в ближайшие недели-месяцы), так как возможность загрязнения радионуклидами ранее заготовленных грубых и сочных кормов, концентратов маловероятна, так как они обычно надежно укрыты. Однако, даже если какие-то корма и окажутся вне хранилищ под открытым небом загрязнению подвергается лишь верхний слой (5-10 см.) который легко удалить до начала использования корма. Ясно, что при скармливании ранее заготовленных кормов не будет и проблем радиоактивного загрязнения продукции животноводства, так как с вдыхаемым воздухом и питьевой водой поступает ничтожное количество радионуклидов.

Более сложные вопросы в животноводстве возникают, когда радиоактивные выпадения происходят в летне-пастбищный период. Прежде всего необходимо решить трудную задачу по обеспечению производства доброкачественного молока, пригодного в цельном виде для питания людей (особенно детей). Для получения молока с низким содержанием РВ можно рекомендовать сформировать группу высокоудойных коров и скармливать им, в условиях стойлового содержания, заведомо чистые корма (силос,

концентраты и т.п.), а при отсутствии таковых в хозяйстве организовать для этой группы коров зеленый конвейер из посевов озимых, многолетних и однолетних трав с угодий и полей, отличающихся самым низким уровнем загрязнения радионуклидами.

Следует иметь в виду, что на естественных пастбищах больше радионуклидов, чем при выпасе на сеяных пастбищах (принять в расчет при организации летне-пастбищного содержания).

В первые 3-4 недели после разового выпадения радиоактивных осадков особую опасность могут представлять радиоактивные изотопы йода (йодная опасность). В это время могут наблюдаться высокие концентрации радионуклидов в молоке обусловленные главным образом радиойодом.

Для снижения поступления радионуклида в молоко, следует коровам (козам) скармливать с кормом ежедневно йодид калия (10 и 1 г. соответственно)- это обеспечило бы десятикратное снижение радионуклида в щитовидной железе животных. Рационально вводить КJ в рацион племенным животным, маточного поголовья и ремонтного молодняка. Для остальной части поголовья, в районах где разрешено проживание населения, допускается выпас скота на любых пастбищах и скармливание любых кормов. - при оговорке - на заключительной стадии откорма (от 1 до 3-4 мес.) скот и птица перед убоем должны получать рационы, составленные из чистых кормов с очень невысокими загрязнениями радионуклидами.

Исследования радионуклидов в мясе и субпродуктах позволяет в условиях хозяйства достаточно точно прогнозировать длительность заключительного откорма и сроки урожая.

Большое внимание должно быть уделено гигиене животных, так как это имеет важное значение для работников животноводства (напр. навоз). При несвоевременной уборке навоза, нарушение правил гигиены сельскохозяйственных животных отмечается резкое увеличение радиоактивного фона, повышается фон и в местах складирования грубых кормов. Это обстоятельство следует учитывать при организации работы животноводов, занятых подвозкой кормов и кормлением животных.

Вопросы радиоактивной безопасности работников хозяйства и проживающего на загрязненной территории населения должно быть в центре внимания специалистов сельского хозяйства и органов здравоохранения. Для решения этой задачи необходимо:

- При проведении полевых работ, а также работ по уходу за животными использовать индивидуальные средства противопылевой защиты (повязки из 4х слоев марли или респиратор «Лепесток») в конце рабочего дня повязки вытряхивают, стирают, их можно использовать повторно.
- Полевые работы и работы по уходу за животными проводить в спецодежде (хлопчатобумажные комбинезоны, куртки, брюки), закрывать голову головным убором (кепки, колпаки, а также повязки и т.п.)
- Организовать работу в поле таким образом, чтобы избежать запыления.
- Все свежие овощи и фрукты перед употреблением в пищу тщательно промывать водой, а корнеклубнеплоды промывать до и после очистки от кожуры. У капусты перед использованием в пищу снимать 3-4 верхних кроющих листа.
- Принимать пищу в специально отведенных местах (под навесом, в закрытом вагончике и т.п.), перед приемом пищи снимать и тщательно

отряхивать спецодежду, строго соблюдать правила личной гигиены (вода в закрытых емкостях)

Главная задача при проведении сельскохозяйственных работ - не допускать дополнительного поверхностного загрязнения урожая (закрывать брезентом, пленкой, корма складировать на очищенную поверхность и т.д.)

Характер работ в сельском хозяйстве в ближайшие месяцы после выпадения радиоактивных продуктов определяется тем, в какой сезон они выпали.

В зимний период радиационный фактор меньше опасен для животноводства (скот как правило укрыт в помещениях, обеспечивающих многократное снижение дозы внешнего  $\gamma$ -излучения - но тем не менее нужно быть готовым к тому, что часть поголовья придется сократить из-за сокращения поставок комбикормов, поставок электроэнергии.

В весенне-летний период значительная часть скота находится вне помещений (на пастбищах, в загонах, на откормочных площадках и т.п.) поэтому возможность облучения животных летальными и сублетальными дозами достаточно высока. Не исключено, что в каких-то хозяйствах возникает необходимость провести убой смертельно пораженных радиацией животных, консервацию полученных от их мяса и субпродуктов. Животные могут погибнуть, их трупы нужно захоронить или утилизировать. Молоко коров, находящихся на загрязненных пастбищах, может оказаться загрязненным радионуклидами сверх допустимого уровня, что повлечет за собой необходимость его переработки. Существенно усложнится проблема производственного обеспечения населения.

### **7.3. Ведение личного подсобного хозяйства**

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, полученной на приусадебных участках, было чаще всего более высоким, чем загрязнение аналогичной продукции, полученной в колхозе (совхозе, товариществе и т.д.). Для снижения содержания радионуклидов в урожае было рекомендовано провести известкование почвы (внести по 5-6 кг на сотку двойного суперфосфата и хлористого (сернокислого) калия, глубоко (на 25-30 см.)), перепахать или перекапать землю. В качестве органических удобрений можно использовать только заведомо «чистые» навоз, компост, торф.

Руководители хозяйства должны выделить для скота личных подсобных хозяйств достаточно «чистые» пастбища, обеспечить их грубыми кормами с допустимыми уровнями радиоактивного загрязнения, а для заключительного откорма свиней и птицы - «чистые» комбикорма.

### **7.4. Зоотехнические мероприятия по снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства.**

✓ В летне - пастбищный период хороший эффект дают перевод скота на стойловое содержание и организация зеленого конвейера. В этом случае исключается возможность поступления РВ с дерниной, на которой находится большая часть

радионуклидов. Контролируемое поступление радионуклидов с зеленым кормом позволяет получать продукцию с заведомо известным уровнем радиоактивного загрязнения.

✓ Хорошие результаты дает целенаправленное кормопроизводство при использовании всех эффективных агрохимических и агротехнических способов снижения миграции радионуклидов из почвы в растения. Подбирая соответствующие корма, можно снизить поступление радионуклидов в организм животных и переход их в мясо и молоко.

✓ Очень важно обеспечивать животных полноценным фосфорно-кальциевым питанием. Рационы, составленные из кормов с низким содержанием радиостронция обычно дефицитны по кальцию и нередко по фосфору. Это позволяет снизить содержание радиоактивного стронция в молоке и мясе приблизительно в 2-4 раза, такой эффект наблюдается при обогащении рационов с недостаточным содержанием кальция и фосфора ; минеральные добавки в рационы с низким уровнем этих элементов в лучшем случае дают снижение загрязнения животной продукции на 20- 30 %.

✓ При выращивании и откорме мясных животных на кормах, загрязненных радионуклидами, большое внимание нужно уделять заключительному предубойному периоду. Поступившие в мягкие органы и ткани радионуклиды отличаются сравнительно высокой скоростью обмена. Это обстоятельство нужно использовать для прижизненного «очищения» мяса и субпродуктов от радионуклидов путем организации кормления животных «чистыми» кормами в последние 1-3 месяца предубойного периода.

### **7.5. Снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственных продуктах при ее переработке.**

Переработка загрязненной сельскохозяйственной продукции дает возможность существенно снизить содержание радионуклидов в конечном продукте. Даже такие простейшие операции, как отмывание в проточной воде, позволяет снизить загрязнение зерна в 1.5 -3 раза. Снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства способствуют традиционные методы технологической и кулинарной обработки. Например, при переработки молока в молочные продукты значительная часть радионуклидов переходит в обрат, пахту, сыворотку и т.д. Обращают на себя внимание очень низкое содержание радионуклидов в масле ,особенно в топленом, что объясняется отделением при перетопке сливочного масла лецитино- белковых оболочек жировых шариков, с которыми связаны  $^{90}\text{Sr}$ , и

$\text{Cs}^{137}$  (часть радиойода связана с молочным жиром и переходит в топленое масло)

При приготовлении из цельного молока, творога или сыра много радионуклидов удаляется с сывороткой. Так, при изготовлении творога с использованием молочной закваски ( кислотный способ свертывания) в сыворотку переходит (% от содержания в молоке)

$^{90}\text{Sr}$ -97,8 ,  $^{137}\text{Cs}$ - 87,6 ,  $^{131}\text{I}$ - 73.

Установлено, что при увеличении кислотности среды (что достигается при более длительном периоде свертывания молока путем снижения дозы сычужного фермента и увеличение количества используемой молочнокислой закваски) удается существенно

снизить переход радионуклидов в творог. Следует иметь в виду, что хотя с отходами переработки молока (сыворожка, пахта и т.д.) удаляется большое количество радионуклидов, их концентрация в расчете на единицу массы продукта может быть такой же, как в молоке (или даже больше). Это объясняется тем, что для производства в молочных продуктах используется сравнительно большое количество молока. Например, для приготовления 1 кг сливочного масла требуется 20-25 кг молока, на 1 кг творога или сыра расходуется 10 кг. молока и т.д.

Переработка мясопродуктов также сопровождается снижением содержания радионуклидов в исходном продукте. При варке костей переход радионуклидов в бульон составляет для  $^{90}\text{Sr}$ -0.04% ,  $^{131}\text{I}$ - 2.5% ,  $^{137}\text{Cs}$ - 67.0%; выварка радионуклидов из мяса была значительно выше она варьировала от 50 до 90 %. Даже при приготовлении жаркого отмечают снижение содержания радионуклидов примерно на 25% .Предварительное вымачивание мелко нарезанного мяса в воде или 0.85%-ном растворе NaCl обеспечивает удаление из мяса 30-60 % находящегося в нем  $^{137}\text{Cs}$  .Наконец, заметим ,что при перетопке сала из него в шкарку переходит до 95% радиоцезия.

#### **7.6. Организация сельскохозяйственного производства в отдаленный период после радиоактивного загрязнения территории**

Вопрос об изменении характера ведения сельского хозяйства в отдаленный период (на следующий год) после радиоактивного выпадения должен решаться в каждом конкретном случае с учетом всех обстоятельств. Изменять способы ведения сельского хозяйства или его отдельных отраслей нужно только в тех случаях, когда плотность загрязнения территории радионуклидами столь велика, что вызывает озабоченность в связи с возможными отрицательными последствиями для здоровья людей, проживающих на этой территории.

Если радионуклиды находятся в биологически- доступной форме, то приоритетное значение имеют мероприятия по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную. продукцию.

При загрязнении сельскохозяйственных угодий радиоактивными продуктами ядерного деления нельзя не учитывать одной важной особенности - долговременного характера радиоактивного загрязнения. Это обусловлено, с одной стороны длительным физическим распадом  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , с другой - невысокой скоростью горизонтальной и вертикальной миграции радионуклидов. Поэтому при организации сельскохозяйственного производства загрязненной территории необходимо планировать и осуществлять долго действующие мероприятия. Особое внимание должно быть уделено не только производству сельскохозяйственной продукции, но и целесообразному ее использованию.

Для составления долгосрочных планов ведения сельского хозяйства на загрязненной территории необходимо:

- определить плотность загрязнения сельскохозяйственных угодий  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (Ки/км<sup>2</sup>), биологическую доступность радионуклидов
- получить полную агрохимическую характеристику почв хозяйства (района)
- определить на основе полученных данных возможное содержание радионуклидов в урожае основных сельскохозяйственных культур и продукции животноводства

- подготовить информацию о возможном содержании радионуклидов в сельскохозяйственной продукции после осуществления всех защитных мероприятий.

В зависимости от уровня загрязнения сельскохозяйственных угодий, территорию можно разделить на три зоны (условно).

К первой зоне можно отнести ту часть сельскохозяйственных угодий, которая наименее загрязнена и на которой можно получать продукцию с допустимым уровнем содержания радионуклидов без проведения каких-либо дополнительных мероприятий и без изменения технологий. В этой зоне все виды работ в сельском хозяйстве ведутся без ограничения по обычным технологиям, получаемая продукция используется по прямому назначению, без каких-либо ограничений.

Ко второй зоне можно отнести сельскохозяйственные угодья, расположенные на территории со средним уровнем загрязнения (ориентировочно плотность загрязнения радионуклидами в 3-4 раза больше, чем в первой зоне). Во второй зоне необходимо проводить мероприятия по снижению содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции (весь комплекс агрохимических, агротехнических, ветеринарных и зоотехнических мероприятий).

Для снижения содержания радионуклидов в продуктах питания рекомендуется широко использовать различные способы обработки и переработки сельскохозяйственной продукции.

Учитывая вероятность появления в сфере потребления продукции с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения, в этой зоне ветеринарные лаборатории и станции химизации (радиологические отделы) осуществляют радиационный контроль сельскохозяйственной продукции, поступающей от предприятий и населения на хранение, переработку или реализацию через рыночную торговлю.

К третьей зоне относятся сельскохозяйственные угодья с относительно высокими уровнями радиоактивного загрязнения (ориентировочно плотность загрязнения радионуклидами 8-10 раз выше, чем в первой зоне). На такой территории ведение сельского хозяйства разрешается только при строгом контроле. В третьей зоне совершенно необходимо применение всего комплекса агрохимических, агротехнических, ветеринарных и зоотехнических мероприятий. Здесь рекомендуется проводить репрофилирование хозяйств. Для использования загрязненной продукции растениеводства рекомендуется развивать мясное скотоводство и производство молока для переработки на масло. Вся продукция подлежит радиационному контролю.

Из многих проблем, возникающих при интенсивном загрязнении территории радионуклидами, наиболее сложна проблема ведения личного подсобного хозяйства. В этом секторе сельского хозяйства, производящим до трети всей продукции животноводства гораздо труднее осуществить комплекс защитных мероприятий, решать вопросы радиационного контроля, обеспечивать рациональное использование загрязненной продукции, так молоко, производимое в личном подсобном хозяйстве, чаще всего оказывается более «грязным», чем получаемое в общественном секторе. То же самое можно сказать и о мясной продукции, и о продукции птицеводства. Этот факт можно объяснить тем, что в личном подсобном хозяйстве кормление животных осуществляется практически бесконтрольно (в радиологическом плане). Поэтому одна из важнейших задач обеспечения дойных коров населения «чистыми» пастбищами (или «чистыми» кормами), а так же поставка «чистых» концентрированных кормов для

заключительной стадии откорма скота и птиц. Для практики важен вопрос о приоритетности осуществления защитных мероприятий, направленных на снижение миграции радионуклидов по пищевой цепи почва- растения- сельскохозяйственные животные- продукты животноводства.

Прежде всего, учитывая, что радионуклиды поступают в организм человека главным образом с молоком и мясом, необходимо сделать все возможное, чтобы максимально снизить размеры радиоактивного загрязнения этих продуктов питания. Очевидно речь должна идти о том, чтобы обеспечить «чистыми» кормами ту часть поголовья скота, от которой получают молоко, используя в цельном виде для питания людей, и которая находится на заключительном, предубойном периоде откорма на мясо.

Для решения этой задачи необходимо выделить наименее загрязненные поля и угодья, обеспечить на них проведение всех агрохимических и агротехнических мероприятий по снижению поступления радионуклидов в корма.

### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите исходные положения после выпадения радиоактивных осадков.
2. Особенности ведения сельскохозяйственного производства в ближайший период после выпадения радиоактивных осадков.
3. Чем отличается характер работ в зимний период от весенне-летнего периода.
4. Какие проблемы возникают в летних подсобных хозяйствах после выпадения радиоактивных осадков.
5. Перечислите ветеринарные мероприятия по снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства.
6. Как можно снизить содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.
7. Особенности организации сельскохозяйственного производства в отдаленный период после радиоактивного загрязнения территории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2
2. **Лысенко, Н. П.** Практикум по радиобиологии: Учеб. пособие/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. - М.: КолосС, 2008 ISBN 978-5-9532-0434-7
3. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978-5-8114-1123-8

#### Дополнительная

1. **Дорожко, С.В.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учебное пособие. Часть 3. Радиационная безопасность / С.В. Дорожко, В.П. Бубнов, В.Т. Пустовит. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 209 с.
2. **Постник, М.И.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учебник / М.И. Постник. – Минск: Высшая школа, 2003. – 398 с.

**ОСТРАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ****8.1. Общая характеристика острой лучевой болезни**

Острая лучевая болезнь легкой степени развивается при дозах облучения 150-200 Р, средней степени тяжести - 200-400 Р, острая лучевая болезнь тяжелой степени наблюдается при облучении организма в дозах 400-600 Р, крайней тяжелой степень - при воздействии на животных излучения в дозах свыше 600 Р.

Таблица 1. Полулетальные и летальные дозы внешнего облучения для различных видов животных, приматов и человека (Р)

Вид животного	ЛД 50/30	ЛД 100/30
Морская свинка	150-300	400-600
Крупный рогатый скот	160-550	650
Телята по 5 месяцев	150-250	300
Коза	200-500	400-750
Козлята до 4 месяцев	150-250	350
Овца	200-500	550-750
Ягнята до 3 месяцев	150-300	600
Свинья	250-600	800
Поросята до 2 месяцев	200-300	450
Лошадь	250-600	700
Собака	350-400	500-650
Мышь	450-650	700-950
Крыса	450-750	800-1050
Кошка	500-700	800-950
Кролик	800-950	1000-1200
Курица	850-1000	1100-1300
Монгольская песчанка	1000-1300	1500-1800
Обезьяна	250-550	400-600
Человек	250-400	600

В развитии острого течения лучевой болезни выделяют 4 периода: первый - период первичной реакции на облучение; второй - латентный, или скрытый, период кажущегося благополучия; третий - период выраженных клинических признаков или разгара болезни; четвертый - период восстановления с полным или частичным выздоровлением (период исхода болезни).

Степень клинического проявления заболевания и патологических изменений, наблюдаемых в каждый период болезни, определяется тяжестью поражения, а также индивидуальными и видовыми особенностями организма.

Очень четко все периоды острой лучевой болезни прослеживаются при средней и тяжелой степени поражения, затухают или не успевают развиваться при крайне тяжелой и слабо проявляются при легкой степени.

Последовательность развития признаков может значительно варьировать. При характеристике изменений морфологического состава периферической крови в лучевой болезни принято различать слабую, умеренную, сильную и очень сильно выраженную

лейко-лимфопению. В первом случае общее количество клеток белой крови снижается на 25% от исходного уровня; во втором на 25-50%; в третьем на 50-70% и в четвертом более чем на 75%.

### **8.2. Легкая степень лучевой болезни**

Легкая степень лучевой болезни протекает часто без видимых клинических симптомов. Лишь у отдельных животных наблюдается незначительное, скоро проходящее общее угнетение, частичный отказ от корма и периодические кратковременные усиления перистальтики желудочно-кишечного тракта, которые проявляются в виде рвоты и поносов. При исследовании периферической крови обнаруживают слабую или умеренную лимфопению и лейкопению. Однако у животных даже при легком поражении иммунные реакции угнетены и сопротивляемость организма понижена. Возможна гибель 5% животных.

### **8.3. Средняя степень лучевой болезни**

Средняя степень лучевой болезни характеризуется скоропроходящей первичной общей реакцией организма на облучение, наличием скрытого периода продолжительностью 10 суток и более. Начиная со 2 - 5-го дня регистрируются умеренная или сильная лимфопения и лейкопения. Разгар лучевой болезни наступает постепенно. Животные частично или полностью отказываются от корма. Видимые слизистые оболочки становятся бледными, и в них иногда обнаруживаются кровоизлияния. Наблюдаются кратковременные поносы с незначительными примесями крови и слизи в кале. У отдельных животных отмечается незначительная эпилепсия и кратковременное повышение температуры тела. Лейкопения развивается постепенно и бывает неглубокой. Период разгара болезни длится до 20 суток и более, после чего постепенно начинается ее разрешение. Период разрешения может затягиваться до 1 - 2 месяцев. Большинство животных выздоравливает, хотя отдельные иммунобиологические функции остаются нарушенными долгое время.

При средней степени лучевого поражения большинство животных выздоравливает, но возможна гибель 10 - 30% животных вследствие , возникающих осложнений чаще всего со стороны органов дыхания и желудочно-кишечного тракта.

### **8.4. Тяжелая степень лучевой болезни.**

Первичная реакция проявляется непосредственно после облучения и продолжается от нескольких часов до 2-3 дней. При поражении большими дозами и особенно при воздействии ионизирующих излучений большой мощности первичная реакция у животных может появиться уже непосредственно в период облучения и проявляется в виде шокоподобного состояния. В основе клинической картины, наблюдаемой в этот период, лежат перевозбуждение центральной нервной системы и явления интоксикации.

Обычно после кратковременного возбуждения у животных развивается общее угнетение. В первые часы у них могут наблюдаться судорожные подергивания конечностей, общий тремор, маневные и часто неkoordinированные движения, сужение зрачков. С развитием угнетения регистрируется общая адинамия, связанная и шаткая походка, гиперемия видимых слизистых оболочек, неустойчивый пульс, тахикардия и расстройство сердечной деятельности. У некоторых животных повышается температура тела, возникают функциональные расстройства желудочно-кишечного тракта, понижается поедаемость корма.

Уже в *первом периоде* болезни наблюдаются изменения клеточного состава периферической крови. Отмечается кратковременный лейкоцитоз со сдвигом

лейкоцитарного профиля влево. В тяжелых случаях обнаруживаются гиперсегментированные формы нейтрофилов и явления вакуолизации. Отмечается ускоренное созревание всех клеточных элементов костного мозга и увеличенное выхождение их в кровеносное русло. Очень рано угнетается функция лимфоидной ткани, что ведет уже в первые часы после облучения к быстро прогрессирующей абсолютной лимфопении. В периферической крови увеличивается количество ретикулоцитов, наблюдается макроцитоз эритроцитов и снижение их резистентности.

По мере ослабления первичной реакции состояние животного улучшается, это улучшение предшествует второму периоду болезни.

*Второй период* - латентный, или период мнимого благополучия. Длительность его, как правило, обратно пропорционально дозе облучения и колеблется от 3 до 7 дней и иногда более. Чем сильнее облучение, тем короче этот период, а при очень тяжелых поражениях может отсутствовать.

В этом случае за первичной реакцией сразу же развивается типичная картина лучевой болезни.

В период мнимого благополучия животные мало отличаются от здоровых, температура тела у них становится нормальной, они поедают корм, у них стабилизируется масса тела. Однако через некоторое время отмечаются похудение животных и признаки эпилепсии. Более четкие и характерные изменения, свидетельствующие о прогрессировании болезни, обнаруживают в крови. В периферической крови резко уменьшается количество лимфоцитов (на 75-80% и более) и лейкоцитов (на 75%). Иногда в 1 мкл крови насчитывается до 150-300 лимфоцитов. Наблюдаются токсическая зернистость нейтрофилов, фрагментоз, гиперсегментоз, пикноз ядер. Снижается содержание тромбоцитов и количества эритроцитов с уменьшением их резистентности. Снижается количество остаточного азота и хлоридов крови.

При исследовании костного мозга в этот период обнаруживается начальная гипоплазия всех ростков кроветворения.

*Третий период* - период выраженного клинического проявления лучевой болезни, обычно продолжается 2-4 недели, а при очень тяжелых поражениях - 5-10 дней. Пораженные животные чаще погибают. Этот период может постепенно переходить в период разрешения, который затягивается до трех месяцев и более.

У животных резко снижается работоспособность и продуктивность, развивается общее угнетение. Они становятся адинамичными, вяло реагируют на внешние раздражители и отказываются от корма, но проявляют признаки жажды. Повышается температура тела, кожа становится неэластичной, сухой и шелушится. Бактерицидность ее резко понижена. Вначале шерсть очень легко выдергивается, а в последующем выпадает клочьями, оголяя участки кожи.

Работа сердечно-сосудистой системы нарушается: понижается артериальное давление, возникает тахикардия, тоны сердца становятся глухими, у верхушки сердца прослушиваются систолические шумы. Электрокардиографией устанавливают признаки дистрофических изменений в миокарде.

Для этого периода болезни наиболее характерно развитие геморрагического синдрома. Различного характера кровоизлияния появляются на слизистых оболочках и на отдельных участках кожи. Особенно обширны они на местах, подверженных механическим травмам: даже любое самое незначительное воздействие в виде ушиба или давления на слизистые оболочки или кожу сопровождается образованием больших

гематом. В этот период заболевания нередки случаи внезапной гибели животных вследствие кровоизлияния в мозг или миокард.

Наблюдаются носовые кровотечения, кровоточивость десен, отек морды, носоглотки и гортани. Часто развиваются конъюнктивит, язвенный стоматит и серозно-катаральный ринит с появлением тягучего истечения.

Появляется профузный понос. Кал вначале водянистый, затем с примесью крови или дегтеобразный. Снижается секреторная функция желез желудка и нарушается всасывающая способность слизистой оболочки желудка и кишечника, что ведет к резкому нарушению всех обменных процессов. К этому же времени развивается и гематурия.

При тяжелой степени поражения офтальмоскопическими исследованиями обнаруживают застойные явления и мелкие кровоизлияния на дне глаза, помутнение хрусталика, экссудат и кровоизлияния в сетчатке.

В этот период резко изменяется морфология крови: развивается выраженная лейкопения. Количество лимфоцитов снижается до 100 клеток в 1 мкл крови, а лейкоцитов - до 1000 клеток и меньше. При очень тяжелом течении болезни лимфоцитов в крови можно и совсем не обнаружить, а лейкоциты сильно изменены (цитоллиз, пикноз и распад ядер). Число тромбоцитов понижено, а в тяжелых случаях их совершенно нет. Чем тяжелее поражение, тем быстрее и глубже угнетается кроветворение. Уменьшение числа эритроцитов наблюдается позже и оно менее выражено, чем других клеток крови. Причем вначале появляется большое количество молодых форм эритроцитов (эритробластов), а в дальнейшем они почти исчезают. Отмечаются пойкилоцитоз, базофильная зернистость и анизоцитоз эритроцитов.

За несколько дней или часов до гибели животного значительно снижается количество эритроцитов и гемоглобина. Общее истощение, глубокое угнетение кроветворения и иммунозащитных механизмов вызывают резкое снижение сопротивляемости организма животного к различным инфекциям. Резкое нарушение проницаемости всех тканей ведет к поступлению микрофлоры из дыхательных путей и кишечника в ткани и кровь, что вызывает сепсис. Все это может привести к летальному исходу. В тех случаях, когда животные не погибают в разгар лучевой болезни, наступает период выздоровления.

*Четвертый период* протекает очень медленно. Полного восстановления функций и структур органов не происходит, они лишь компенсируются за счет других, менее пораженных органов и систем. Постепенно у животного улучшается общее состояние, увеличивается поедаемость корма и снижается температура тела. Оно начинает реагировать на внешние раздражители и становится подвижным. Через 8-12 недель после облучения частично восстанавливается шерстный покров, который часто теряет пигментацию - седеет. Постепенно восстанавливается функция органов кроветворения. В крови появляется большое количество ретикулоцитов (прогностически благоприятный фактор); увеличивается количество эритроцитов и лейкоцитов с нейтрофильным сдвигом в лейкограмме влево. Появляется большое количество юных форм клеток. Однако работоспособность и продуктивность животных еще долго остаются пониженными, а количество лейкоцитов и ретикулоцитов продолжает колебаться, и животные еще долго после исчезновения клинических признаков болезни реагируют неадекватно на различные раздражители (лекарственные вещества, прививки, вакцинации и т.д.). Плохие условия содержания, неполноценное кормление, сквозняки, переохлаждение, перегревание и т.п., как правило, ведут к рецидиву лучевой

болезни. Особенно опасны инфекционные болезни.

Длительность течения тяжелой степени лучевой болезни составляет 7-15 суток и большинство животных (50-80%) погибает.

### **8.5. Крайне тяжелая степень лучевой болезни.**

Заболевание протекает бурно и характеризуется признаками поражения центральной нервной системы. Все симптомы заболевания возникают сразу после облучения и быстро прогрессируют. Скрытый период заболевания клинически проследить не удастся. После короткого возбуждения быстро развиваются глубокое общее угнетение и общая адинамия. Походка становится шаткой, появляются общий тремор, а иногда судороги. Животные отказываются от корма, но проявляют признаки жажды. Нарушается деятельность желудочно-кишечного тракта, возникает профузный понос, у свиней и собак - неукротимая рвота. Быстро развивается глубокая лимфопения и лейкопения, резко снижается численность тромбоцитов и эритроцитов. Отмечается выраженное ослабление сердечной деятельности и сосудистого тонуса. У крупных животных заболевание обычно длится 5-7, реже 10-15 суток и заканчивается гибелью.

Смертельный исход наступает главным образом в двух периодах острого течения болезни - в первый и третий. Ранний смертельный исход наблюдается в момент облучения организма большими дозами - "смерть под лучом", или в ближайшие 2-3 суток после него. Причиной гибели животных в ранний период является гипоксия, возникающая вследствие нарушения ферментативной деятельности и развития токсемии, отек легких. Геморрагические явления при молниеносной форме не успевают развиваться. В более поздний период заболевания животные погибают при явлениях сердечно-сосудистой недостаточности. При этой степени острой лучевой болезни погибает 90-100% животных.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Охарактеризуйте легкую степень острой лучевой болезни.
2. Клинические признаки острой лучевой болезни средней степени тяжести.
3. Симптомы и видимые клинические признаки острой лучевой болезни тяжелой степени.
4. Лечение и профилактика лучевых поражений у сельскохозяйственных животных.
5. Охарактеризуйте крайне тяжелую степень лучевой болезни.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### **Основная**

1. **Гребенюк, А. Н.**, Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012 - ISBN 5-93929-223-2
2. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978–5–8114–1123–8

#### **Дополнительная**

1. **Ярмоленко, С.П.** Радиобиология человека и животных: учебник для биологических спец. ВУЗов / С.П. Ярмоленко. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.
2. **Постник, М.И.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учебник / М.И. Постник. – Минск: Высшая школа, 2003. – 398 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алексахин, Р.М.** . Сельскохозяйственная радиоэкология. / Р.М. Алексахин, А.В. Васильев, В.Г. Дикарев.- М.: Экология, 1991 г., 400 с.
2. **Анненков, Б.Н.** Основы сельскохозяйственной радиологии : учебник / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. - М.: Агропромиздат, 1991. – 287с.
3. **Белов, А. Д.** Радиобиология : учебник / А. Д., Белов В. А. Киршин Н. П Лысенко. - М.: Колос, 1999.
4. **Белов, А. Д.** Радиационная экспертиза объектов ветеринарного надзора: уч пос. / А. Д. Белов, А. С., Косенко. - М.: Колос, 1996. – 187 с.
5. **Бударков, В.А.** Краткий радиобиологический словарь./ В.А Бударков, А.С. Зенкин, В.А. Киршин. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2000 г., 256 с.
6. **Гребенюк, А. Н.,** Основы радиобиологии и радиационной медицины: учебник/ А.Н. Гребенюк, О. Ю. Стрелова, В. И. Легеза. – Спб.: Фолиант, 2012- ISBN 5-93929-223-2
7. **Дорожко, С.В.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учебное пособие. Часть 3. Радиационная безопасность / С.В. Дорожко, В.П. Бубнов, В.Т. Пустовит. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 209 с.
8. **Ильин, Л.А.** Радиационная гигиена: учебник / Л.А. Ильин, В.Ф. Кириллов, И.П. Коренков. – М.: Медицина,1999. – 384 с.
9. **Кузин, А.М.** Прикладная радиобиология. / А.М. Кузин, Д.А. Каушанский.- М.: Энергоатомиздат, 1991 г., 221 с.
10. **Лысенко, Н. П.** Радиобиология: учебник/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. – СПб.: Лань, 2012 – ISBN 978-5-8114-1330-0
11. **Лысенко, Н. П.** Практикум по радиобиологии: Учеб. пособие/ Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина. - М.: КолосС, 2008 ISBN 978-5-9532-0434-7
12. **Орбец, В.А.** Радиоэкология : курс лекций/В.А. Орбец, О.А. Рыбальченко : СтГАУ.- Ставрополь: АГРУС, 2007. -204 с.
13. **Постник, М.И.** Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учебник / М.И. Постник. – Минск: Высшая школа, 2003. – 398 с.
14. **Сахаров, В. К.** Радиоэкология./ Сахаров, В. К.- СПб: Лань.- 2006.- 320 с
15. **Фокин, А. Д.** Сельскохозяйственная радиобиология: учебник/ А. А. Лурье, С. П. Торшин. - СПб: Лань, 2011- ISBN: 978–5–8114–1123–8
16. **Ярмоленко, С.П.** Радиобиология человека и животных: учебник для биологических спец. ВУЗов / С.П. Ярмоленко. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<b>Лекция 1. Краткая история развития радиобиологии, цель, задачи, структура курса. Основные понятия, определения, термины.....</b>	<b>4</b>
1.1. Цели изучения дисциплины.....	4
1.2. Краткая история развития радиологии. Вклад отечественных ученых в развитие науки.....	5
Вопросы для самоконтроля.....	9
Список литературы .....	9
<b>Лекция 2.. Элементы ядерной физики. Строение атома. Изотопы, изобары, изомеры. Явление радиоактивности и единицы ее измерения. Закон радиоактивного распада.....</b>	<b>10</b>
2.1. Строение атома.....	10
2.2 Понятие об изотопах, изомерах, изобарах, изотопах.....	14
2.3 Явление радиоактивности и единицы ее измерения.....	15
2.4 Закон радиоактивного распада .....	18
Вопросы для самоконтроля.....	10
Список литературы .....	20
<b>Характеристика альфа, бета-частиц и гамма-лучей. Взаимодействие излучений с веществом.....</b>	<b>21</b>
2.5. Характеристика $\alpha$ -, бета-частиц и $\gamma$ -лучей.....	20
2.6. Взаимодействие радиоактивных излучений с веществом.....	21
Вопросы для самоконтроля.....	27
Список литературы .....	27
<b>Лекция 3. Токсичность радионуклидов. Закономерность их метаболизма в организме животных.....</b>	<b>27</b>
3.1. Токсикология радиоактивных элементов. Факторы влияния на токсичность радионуклидов.....	27
3.2. Классификация радиоактивных изотопов по их радиотоксичности .....	29
3.3. Радиотоксикологическая характеристика наиболее опасных радионуклидов ...	30
Вопросы для самоконтроля.....	35
Список литературы .....	36
<b>Лекция 4. Прогнозирование и нормирование поступления радионуклидов в организм животных и продукции животноводства. ....</b>	<b>36</b>
4.1. Источники загрязнения внешней среды радиоактивными веществами.....	36
4.2. Пути поступления радионуклидов в организм.....	41
Вопросы для самоконтроля.....	42
Список литературы .....	42
<b>Лекция 5. Объекты ветеринарной экспертизы, последовательность этапов ее выполнения. Задачи радиохимического анализа и порядок его выполнения. ....</b>	<b>42</b>
5.1. Радиоактивная загрязненность окружающей среды.....	42

5.2. Системы и методы радиационного контроля.....	43
5.3. Объекты ветеринарной экспертизы, последовательность этапов ее выполнения .....	44
5.4. Оценка уровня радиоактивной загрязненности объектов ветеринарного надзора и пути снижения загрязнения сельскохозяйственных объектов.....	46
Вопросы для самоконтроля.....	49
Список литературы .....	50
<b>Лекция 6. Биологическое действие ионизирующих излучений.....</b>	<b>50</b>
6.1. Теории и механизм действия ионизирующего излучения.....	50
6.2. Действие ионизирующего излучения на ткани, органы и системы организма животных .....	53
Вопросы для самоконтроля.....	57
Список литературы.....	57
<b>Лекция 7. Организация ведения животноводства на территории, загрязненной радиоактивными веществами.....</b>	<b>58</b>
7.1. Исходные положения после выпадения радиоактивных осадков.....	58
7.2. Ведение сельского хозяйства в ближайший период после выпадения радиоактивных осадков.....	59
7.3. Ведение личного подсобного хозяйства .....	61
7.4. Зоотехнические мероприятия по снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства.....	62
7.5. Снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственных. продукции при ее переработке.....	63
7.6. Организация сельскохозяйственного производства в отдаленный период после радиоактивного загрязнения территории.....	63
Вопросы для самоконтроля.....	65
Список литературы .....	65
<b>Лекция 8. Острая лучевая болезнь.....</b>	<b>66</b>
8.1. Общая характеристика острой лучевой болезни.....	66
8.2. Легкая степень лучевой болезни.....	67
8.3. Средняя степень лучевой болезни.....	67
8.4. Тяжелая степень лучевой болезни .....	67
8.5. Крайне тяжелая степень лучевой болезни.....	70
Вопросы для самоконтроля.....	70
Список литературы.....	70
Библиографический список.....	71
Содержание.....	72