

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный
университет имени А.А. Ежевского

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для выполнения контрольной работы по дисциплине «Ветеринарная
радиобиология» для студентов заочного обучения
по специальности 36.05.01 «Ветеринария»

Молодежный, 2019

УДК 619.612.014.482 (072)

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета биотехнологии и ветеринарной медицины Иркутского ГАУ им. А.А. Ежевского

Протокол № 3 от 09 декабря 2019 г

Составители: д.вет.н. Ильина Ольга Петровна

к.б.н. Сайванова Светлана Алексеевна

Рецензенты: д.б.н. Силкин И.И.

к.вет.н Мельцов И.В.

Методическое пособие предназначено для студентов заочной формы обучения специальности 36.05.01 «Ветеринария» факультета биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского для выполнения контрольной работы по дисциплине «Ветеринарная радиобиология».

©Ильина О.П., Сайванова С.А.

©ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Предмет и задачи радиобиологии.....	6
2. Основы радиационной безопасности, организация работ с радиоактивными веществами в условиях радиоактивного загрязнения среды.....	6
3. Физические основы радиобиологии.....	10
4. Дозиметрия и радиометрия ионизирующих излучений.....	19
5. Токсикология радиоактивных веществ.....	21
6. Биологическое действие ионизирующих излучений, лучевые поражения.....	24
7. Основы радиозологии. Прогнозирование и нормирование поступления радионуклидов в организм животных и продукции животноводства.....	80
8. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды.....	83
9. Радиационная экспертиза кормов и продукции животноводства.....	98
10. Использование радионуклидных методов и радиационной биотехнологии в животноводстве и ветеринарии.....	105
11. Перечень вопросов для выполнения контрольной работы.....	108
Приложение.....	114
Список используемой литературы.....	115

Введение

«Ветеринарная радиобиология» является специальной учебной дисциплиной в аграрных вузах, формирующей полноценного специалиста для работы в условиях реальной радиоэкологической ситуации, обусловленной последствиями испытания ядерного оружия и техногенными авариями на предприятиях атомной промышленности.

Основная цель курса «Ветеринарной радиобиологии» состоит в том, чтобы дать студентам теоретические знания и практические навыки, необходимые для организации и ведения животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды; определения степени радиоактивной загрязненности почвы, кормов, организма животных и продукции сельскохозяйственного производства; рационального использования кормовой базы, кормов, продукции растениеводства и животноводства, получаемого в условиях радиоактивного загрязнения среды различной плотности; обучить студентов основным методам радиоизотопного, радиоиммунологического анализа и радиационно-биологической технологии, предназначенных для использования в ветеринарии.

Изучение предмета осуществляется в тесной взаимосвязи со специальными и фундаментальными дисциплинами.

«Ветеринарная радиобиология» имеет социально-экономическое значение, заключающееся в том, что ветеринарный врач, внедряя в условиях радиоактивного загрязнения среды современные научно-практические достижения радиобиологии, обеспечивает получение безопасной продукции. Это имеет важнейшее значение для охраны здоровья людей, а также способствует повышению продуктивности и сохранности животных, укреплению материального положения сельскохозяйственных производителей.

Основными научно-практическими задачами «Ветеринарной радиобиологии» являются: разработка технологий ведения животноводства в

условиях масштабного радиоактивного загрязнения среды, разработка критериев оценки целесообразности и социально-экономической эффективности перепрофилирования деятельности производителей сельскохозяйственной продукции в условиях интенсивного радиоактивного загрязнения среды, разработка средств и способов, снижающих поступление радионуклидов в корма, организм животных и получаемую от них продукцию, разработка методов радиационно-биологической технологии и радиоизотопных исследований, направленных на решение насущных проблем животноводства и аграрной науки.

В соответствии с учебным планом студенты обязаны выполнить по курсу «Ветеринарная радиобиология» одну контрольную работу, сдать экзамен. Контрольная работа включает материал по соответствующим разделам курса и состоит из письменных ответов (с рисунками и схемами) на 5 вопросов.

Номера вопросов устанавливаются по предпоследней и последней цифрами зачетной книжки студента (см. таблицу 1).

В конце работы следует указать список использованной литературы. Контрольная работа должна быть подписана студентом и за 1 месяц до начала сессии отправлена в университет.

При выполнении контрольной работы студенты обязаны использовать как основную, так и дополнительную литературу. Работа должна быть выполнена грамотно, аккуратно, четким почерком. Не допускается сокращение слов. Ответы следует излагать чётко и логично.

Титульный лист оформляется согласно приложению № 1.

1. Предмет и задачи радиобиологии

Радиобиология — наука, изучающая действие всех видов ионизирующих излучений на биологические объекты. Она разрабатывает методы ионизирующих излучений в медицине, сельском хозяйстве, также в пищевой и микробиологической промышленности, разрабатывает способы защиты биологических объектов от действия радиации и восстановления повреждений, возникающих в организме после облучения.

Задачей, составляющей предмет радиобиологии, является вскрытие общих закономерностей биологического ответа на воздействие радиации. Эта особенность определяет радиобиологию как самостоятельную комплексную научную дисциплину, имеющую тесные связи с рядом теоретических и прикладных областей знаний — биологией, физиологией, цитологией, генетикой, биохимией, биологической и ядерной физикой.

Как наука радиобиология возникла после нескольких глобальных открытий: в 1895 г. Вильгельм Конрад Рентген открыл X-лучи, в 1896 г. Анри Беккерель — естественную радиоактивность, а в 1898 г. Мария Склодовская и Пьер Кюри — радиоактивные свойства полония и радия.

Изучение биологического действия ионизирующих излучений началось сразу же вслед за открытием рентгеновских лучей. Среди самых ранних работ известны классические исследования И. Ф. Тарханова (1896), установившего в опытах на лягушках и насекомых ответные реакции на облучение во многих системах организма [3].

2. Основы радиационной безопасности, организация работ с радиоактивными веществами в условиях радиоактивного загрязнения среды

Правила безопасности работы с радиоактивными веществами имеют свою специфику. Они регламентируются Международной Комиссией по радиационной защите (МКРЗ), рекомендации которой корректирует и утвер-

ждает Международный радиологический конгресс. На основании принятых очередным конгрессом предложений МКРЗ в отдельных странах применительно к местным географическим и экологическим условиям издаются соответствующие правила и законы, определяющие нормы безопасной работы с применением радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений.

Исходя из последних рекомендаций МКРЗ принято и опубликовано несколько документов, действующих на правах закона. Работающим с источниками ионизирующих излучений следует руководствоваться, прежде всего, двумя из них:

«Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)»; «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП-72/80)».

В этих документах приведены предельно допустимые дозы внешнего облучения и предельно допустимые нормы поступления радионуклидов в организм человека для трех групп населения:

категория А — профессионалы (рентгенологи, радиологи, дефектоскописты и другие лица, которые непосредственно работают с источниками ионизирующих излучений или по роду своей работы могут подвергаться облучению). Предельно допустимая доза (ПДД) для них в неделю составляет 0,1 бэр, на год — 5 бэр;

категория В — ограниченная часть населения, не связанная в работе с источниками излучения, но имеющая вероятность подвергнуться облучению. Для этой категории предел дозы (ПД) составляет 0,5 бэр/год;

категория В — население области, края, республики в целом. В случае радиационной аварии для них устанавливаются временные допустимые уровни облучения.

При оценке допустимых воздействий внутреннего облучения учитывают содержание изотопа в критическом органе. В порядке убывания радиочувствительности установлено три группы критических органов:

I группа — все тело, гонады и красный костный мозг;

II группа — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, что относятся к I и II группам;

III группа — кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, лодыжки и стопы.

На руководство учреждения возлагается ответственность за выполнение соответствующих правил и норм радиационной безопасности. Лицам, работающим более 50 % рабочего времени в сфере действия ионизирующего излучения, назначают надбавки к зарплате, сокращают продолжительность рабочего времени, дают дополнительный отпуск, питание и другие поощрения.

При работе с радиоактивными веществами в открытом виде воздействие на человека ионизирующей радиации может быть вызвано внешним, внутренним или смешанным (внешним и внутренним) облучением, поэтому в комплексе защитных мероприятий учитываются все виды лучевых воздействий. Первостепенное значение приобретает правильная организация труда, исключающая превышение установленных предельно допустимых уровней облучения и предупреждающая возможность проникновения радиоактивных веществ внутрь организма [3, 4, 5].

Защита от внешнего облучения частицами α -излучения и мягкого β -излучения не требуется, так как пробеги их в воздухе очень малы. Достаточно находиться на расстоянии 9—10 см от радиоактивного препарата и ни одна α -частица не попадает на тело работающего. Одежда, резиновые перчатки полностью защищают от внешнего облучения α -частицами.

β -частицы обладают относительно большими, чем α -частицы, пробегами в воздухе и в ткани; уже при энергии свыше 70 кэВ они проходят роговой слой кожи и достигают чувствительных клеток. Потoki β -частиц в основном воздействуют на покровные ткани и глаза, вызывая сухость и ожоги кожи, хрупкость, ломкость ногтей и т.д. Особенно опасно β -излучение при

контактном взаимодействии с тканью. При работе с β -излучениями обязательно пользуются защитными очками и перчатками.

Защита от внешнего γ -излучения и жесткого β -излучения может быть достигнута сокращением времени непосредственной работы с источником излучения, увеличением расстояния и использованием для работы источников с минимально возможным выходом ионизирующих излучений, также применением защитных экранов, поглощающих излучение. Перечисленные способы защиты можно применять отдельно или в различных комбинациях между собой.

Защита сокращением времени непосредственной работы с источником излучения может достигаться быстрой манипуляцией с препаратом в результате высокой тренированности персонала. Сокращением рабочего дня или недели, периодическим переводом на работы, несвязанные с облучением, а также удлинением отпуска.

Наиболее эффективная защита достигается применением поглощающих экранов. Для защиты от β -излучения изготавливают экраны из материалов с малой атомной массой (стекло, оргстекло, алюминий) или двухслойные экраны — первый слой из материала с малой атомной массой, который будет поглощать β -частицы, второй — из тяжелых материалов (свинец, и др.) для поглощения образовавшегося тормозного рентгеновского излучения.

Для защиты от γ -излучения следует использовать экраны из материала с большой атомной массой (свинец, чугун и др.) [2, 5, 7].

Защита от внутреннего облучения. Работа в радиологической ветеринарной лаборатории, как правило, не связана с загрязнением тела работающих и опасностью проникновения радиоактивных веществ внутрь организма в количествах, опасных для здоровья. Однако при нарушении дисциплины труда или в случае аварийной ситуации внутреннее облучение персонала возможно. Радиоактивные изотопы могут попасть внутрь организма через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, а также через поврежденную кожу или ее дефекты. Поэтому персоналу, работающему с

источниками ионизирующих излучений, необходимо соблюдать правила индивидуальной защиты и гигиены, обеспечивающие безопасность работы, предусмотренные ОСП-72/80 и НРБ-99.

Выполнение работ с применением источников ионизирующих излучений допускается только в помещениях, принятых специальной комиссией с участием представителей СЭС. Проведение работ, не связанных с источниками излучений, в этих помещениях запрещается. Передача этих помещений для эксплуатации, не связанной с ионизирующими излучениями, допускается только с разрешения санитарной службы.

Лица, работающие с открытыми радиоактивными источниками (исследуемыми образцами), обеспечиваются средствами индивидуальной защиты: халатами, шапочками, перчатками, пластиковыми нарукавниками, фартуками, полухалатами, полукombineзонами, пневмокостюмами (в случаях ликвидации аварий, при уборке вивария и др.), дополнительной спецобувью (резиновые сапоги, пластиковые следы, бахилы, чехлы, чулки); при работе с радиоактивными газами, аэрозолями, порошками — фильтрующими средствами защиты органов дыхания (противогаз, пневмошлем ЛИЗ-4, респираторы «Снежок-К-М», «Снежок-КУ-М», «Лепесток»), для защиты глаз — щитками из оргстекла [3, 4, 5].

3. Физические основы радиобиологии

Строение вещества. В процессе познания природы человек всегда стремился как-то классифицировать изучаемые вещества, выделить сходные по свойствам, разделить на составные (элементарные) частицы.

Еще в V в. до нашей эры греческие философы Демокрит Абдерский и Левкипп высказывали догадку, что все вещи в мире состоят из ничтожно мелких, невидимых глазу частиц, которые не могут быть разделены на дальнейшие части (*atomos* — в переводе с греческого означает неделимый).

Открытие в конце XIX в. Анри Беккерелем невидимого излучения, исходящего от урана и его соединений, а также классические опыты,

проводимые Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри, установивших природу этих невидимых лучей, положили конец представлениям о неделимости атома и явились началом проникновения человека в тайны строения атома.

Опыты Резерфорда (1911 г) и его учеников неопровержимо доказали, что атом, многие века считавшийся мельчайшей и неделимой частицей, имеет сложное строение. Состоит он из положительно заряженного ядра, где сосредоточено 99,95 % массы атома, и вращающихся вокруг него электронов. Поперечный размер ядра в десятки тысяч раз меньше поперечного размера атома.

Ядро атома состоит из протонов и нейтронов. Протон обладает единичным положительным зарядом, его атомная масса примерно равна единице. Нейтрон является нейтральной частицей, масса которого примерно равна массе протона. Количество протонов, входящих в состав ядра, определяет его заряд и атомный номер элемента. Поскольку атом в обычном состоянии нейтрален, то количество электронов, вращающихся вокруг ядра, также равно атомному номеру элемента в таблице Менделеева.

Электроны, находящиеся на наружных орбитах, где энергия их связи с ядром не столь значительна, могут взаимодействовать с окружающей средой, обуславливая важнейшие свойства вещества — электропроводность, валентность и др. В определенных условиях отдельные электроны могут переходить с орбиты на орбиту, что всегда связано с поглощением или высвобождением определенного количества энергии.

При всех химических реакциях перестраиваются только электронные оболочки, причем внешние, где электроны более слабо связаны с ядром; ядро при этом не принимает участия в химических реакциях. Следовательно, сходные химические свойства имеют те химические элементы, у которых на наружных орбитах находится одинаковое число электронов.

Атомы могут иметь одинаковое количество протонов, но разное - нейтронов в ядре. Поскольку химические свойства атомом определяются

количеством протонов, то атомы с одинаковым содержанием их в ядре будут находиться в одной и той же клетке таблицы Менделеева, несмотря на разное количество нейтронов и, следовательно, разное массовое число. Разновидности одного и того же элемента, имеющие один и тот же порядковый номер, но разные массовые числа, называют изотопами (изотоп с греческого означает — занимающий то же место). Большинство природных элементов представляют собой смесь от 2 до 10 изотопов.

С помощью ядерных превращений у каждого химического элемента можно получить еще несколько радиоактивных (неустойчивых) изотопов. Сейчас известно около 300 стабильных изотопов, а сумма стабильных и радиоактивных изотопов — более 1500.

Между частицами, входящими в состав ядра, т.е. между протонами и протонами, нейтронами и нейтронами, протонами и нейтронами действуют ядерные силы притяжения, проявляющиеся на очень малых расстояниях (до 10^{-15} м). Они не зависят от заряда ядра и резко уменьшаются с увеличением расстояния между частицами. Помимо ядерных сил притяжения между одноименно заряженными частицами ядра — протонами, действуют кулоновские силы отталкивания, чем и обуславливается устойчивость ядер этих элементов.

Однако у тяжелых элементов, ядра которых состоят из большого количества частиц, ядерные силы притяжения уже не способны скомпенсировать кулоновские силы отталкивания. В этом случае начинается внутренняя перестройка ядер и самопроизвольный переход ядер из менее устойчивого состояния в более устойчивое. Это явление, открытое Анри Беккерелем и изученное Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри, получило название радиоактивности.

Радиоактивность — способность ядер некоторых химических элементов самопроизвольно превращаться в ядра других химических элементов с выделением энергии в виде излучений. Естественно радиоактивными называются вещества, которые существуют в природе, а те,

что приобрели это свойство – искусственно радиоактивными. Искусственно радиоактивные изотопы получают бомбардировкой ядер атомов стабильных химических элементов нейтронами, протонами, дейтронами, а также из продуктов деления урана или плутония в атомных реакторах [2, 3, 7].

Ионизирующие излучения и их свойства. Излучения естественно радиоактивных элементов, как показал английский физик Э. Резерфорд (1911 г), имеют различные физические свойства. Часть лучей в электрическом поле, отклоняющихся к отрицательно заряженному проводнику, что свидетельствует об их положительном заряде, назвали альфа-лучами. Другую часть лучей, отклоняющихся к положительно заряженному проводнику, назвали бета-лучами. Электромагнитные, которые не отклонялись в электрическом поле, были названы гамма-лучами.

К ионизирующим излучениям относятся все те элементарные частицы, а также кванты электромагнитного излучения, которые при взаимодействии с атомами и молекулами среды способны выбивать электроны с любой из орбит, в результате чего образуется пара ионов. Каждая пара ионов состоит из выбитого электрона (отрицательный ион) и положительно заряженного атома (положительный ион).

При взаимодействии ионизирующих излучений с атомами и молекулами вещества происходит процесс возбуждения атомов. Он характеризуется тем, что электрон от атома не отрывается, а только переходит с одного уровня на другой — более высокий. При этом атом получает дополнительную энергию. В таком состоянии он находится очень короткий промежуток времени (10^{-9} — 10^{-8} с). Избыток энергии атом может отдать соседнему атому или излучить квант длинноволнового излучения.

Продолжительность возбуждения очень мала, но достаточна, для того чтобы атом смог прореагировать с соседними атомами и вступить с ними в реакцию, поскольку в таком состоянии он имеет высокую химическую активность. Ионизированный атом имеет избыток энергии и в течение короткого промежутка времени обладает высокой химической активностью.

Альфа-лучи (α) представляют собой ядра атомов гелия (${}^4_2\text{He}$) и состоят из двух протонов и двух нейтронов. Они имеют двойной положительный заряд и относительно большую массу, равную 4,003 а. е. м., что в абсолютном выражении составляет $6,664 \times 10^{-27}$ кг. Эти частицы превышают массу электрона в 7300 раз, энергия их колеблется в пределах 2—11 МэВ и вылетают из ядер атомов со скоростью 14 000—20 000 км/с.

Возможность альфа-распада связана с тем, что масса α -радиоактивного ядра больше суммы масс (суммарной энергии покоя) α -частицы и образующегося после α -распада дочернего ядра. Избыток энергии исходного (материнского) ядра освобождается в форме кинетической энергии α -частицы и дочернего ядра.

Известно, что α -частицы эффективно взаимодействуют с электронными оболочками атомов, которые встречаются на их пути, так как они имеют двойной электрический заряд и по сравнению с другими частицами очень большую массу. При взаимодействии с электронной оболочкой атомов α -частицы частично отдают свою энергию выбитым электронам и очень быстро теряют скорость. Поэтому проникающая способность α -частиц небольшая. Путь, который проходит α -частица в воздухе до полной потери энергии, составляет 10 см, в воде и тканях человеческого тела, особенно богатых водой (мышцы, кровь, лимфа) — 0,1–0,15 мм.

Вдоль трека α -частицы образуется большое количество ионов в результате большой плотности ионизации. Как правило, трек α -частицы представляет прямую линию с увеличением плотности ионизации в конце пути. Энергия α -частиц, как и других заряженных и незаряженных частиц, или квантов, теряется не только на ионизацию, но и на возбуждение атомов и молекул среды. При каждом акте ионизации образуется пара ионов — атом без электрона или положительно заряженный ион, и электрон или отрицательный ион. Средняя энергия, которая расходуется на образование одной пары ионов, не зависит от энергии и типа ионизирующей частицы, а в основном определяется видом вещества. Например, для образования одной

пары ионов в воздухе расходуется в среднем 34 эВ энергии и при нормальных условиях одна α -частица образует 116—254 тыс. пар ионов. Удельная ионизация, т.е. количество пар ионов, образующихся на единицу пути в воздухе, составляет около 44 тыс. пар ионов на 1 см.

Благодаря малой проникающей способности α -частицы не представляют большой опасности в случае внешнего облучения. Они могут быть полностью задержаны листом плотной бумаги, одеждой, слоем резины хирургических перчаток. α -частицы полностью поглощаются слоем алюминия толщиной 0,06 мм или биологической ткани толщиной 0,12 мм. В то же время α -частицы становятся очень опасными при попадании внутрь организма из-за большой плотности, производимой ими ионизации. Возникающие при этом повреждения в тканях мало обратимы [2, 3, 7].

Бета-лучи (β) представляют собой поток быстрых электронов, называемых β -частицами. Среди них различают два типа: отрицательные или электроны, которые отличаются от орбитальных тем, что происходят из ядра атома и обладают большими скоростями, и положительные — позитроны. Заряд β -частиц в первом случае отрицательный, а во втором — положительный и равен одному элементарному заряду. Масса покоя β -частицы равняется 0,000548 а. е. м., что в абсолютном выражении составляет $9,1 \times 10^{-28}$ г. Поток электронов обозначают β^- , а позитронов β^+ .

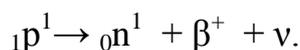
Излучение ядрами элементов β -частиц происходит при радиоактивном превращении (распаде) и сопровождается испусканием нейтральной частицы, имеющей очень малую массу. Эти нейтральные частицы (нейтрино) в процессе излучения β -частиц принимают на себя часть энергии β -распада. Появление электрона и позитрона при β -распаде объясняет превращение ядерных частиц, т. е. протона и нейтрона друг в друга.

Различают два вида превращений, сопровождаемых β -распадом: электронный β -распад; позитронный β -распад и электронный К-захват.

Электронный β -распад характерен для химических элементов, в ядрах которых нейтронов больше, чем в ядрах стабильных изотопов. Этому типу

распада подвержены почти все искусственные и некоторые естественные радиоактивные элементы (C^{12} , K^{40} и др.). При электронном распаде один из внутриядерных нейтронов превращается в протон, а ядро испускает электрон (β^-) и антинейтрино ($\bar{\nu}$); ${}_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + \beta^- + \bar{\nu}$.

Позитронный β -распад испытывают химические элементы, в ядрах которых отмечается избыток протонов. Этому типу распада подвержены лишь некоторые искусственные радиоактивные изотопы, например ${}_6C^{11}$, в ядре которого при пяти нейтронах содержится шесть протонов. У естественных радиоактивных изотопов позитронного распада не наблюдается. При позитронном распаде один из внутриядерных протонов превращается в нейтрон, а ядро испускает позитрон и нейтрино:



Электронному K -захвату подвержены химические элементы, имеющие избыток протонов в ядре. Он отмечается в тех случаях, когда в ядре нет энергии, достаточной для позитронного распада, и оно захватывает электрон из ближайшего, т.е. K -слоя (но иногда из L -слоя), а избыточный протон, соединившись с этим электроном, превращается в нейтрон, испуская при этом нейтрино: ${}_1p^1 + e^- \rightarrow {}_0n^1 + \nu$.

Различные радиоактивные изотопы значительно отличаются друг от друга по уровню энергии β -частиц. Максимальная энергия β -частиц различных элементов имеет широкие пределы от 0,015—0,05 МэВ до 3—12 МэВ.

Скорость движения β -частиц в вакууме равна 1×10^{10} — $2,89 \times 10^{10}$ см/с (0,3—0,99 скорости света). Благодаря такой скорости они быстрее, чем α -частицы, пролетают через встречные атомы и поэтому слабее взаимодействуют с ними. Это приводит к тому, что проникающая способность β -частиц примерно на два порядка выше, чем у α -частиц равной энергии, тогда как линейная плотность ионизации меньше соответственно в 800 раз.

β -частицы обладают меньшим эффектом ионизации, чем α -частицы. Они образуют 50—100 пар ионов на 1 см пути в воздухе и имеют рассеянный тип ионизации. Полная ионизация β -частиц составляет от 1 до 25 тыс. пар ионов на пути пробега.

Так как плотность ионизации, создаваемая β -частицами, сравнительно невелика, то и при попадании β -частиц внутрь организма они менее опасны, чем α -частицы. Однако проникающая способность β -частиц велика (от 10 см до 25 м в воздухе и до 17,5мм в биологических тканях). Кроме того, они могут быть опасны как источники внешнего облучения.

Следует отметить, что β -частицы средних энергий задерживаются оконным стеклом, слоем картона и др. Но β -частицы с энергией 0,07 МэВ могут пробить эпидермис. Поэтому при работе даже с мягкими β -излучателями руки должны быть в перчатках, а для защиты от более жесткого β -излучения надо применять алюминиевые экраны толщиной в несколько миллиметров [2, 3, 7].

Гамма-лучи (γ -кванты) — как и радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, а также рентгеновское излучение, являются потоком электромагнитных волн, которые распространяются в вакууме с постоянной скоростью, равной 300000 км/с (3×10^{10} см/с). Если испускание видимого света, инфракрасных, ультрафиолетовых лучей или характеристического рентгеновского излучения результат различных переходов атомов и молекул из возбужденного в невозбужденное состояние, то γ -кванты являются излучением ядерного происхождения. Они испускаются ядрами атомов при α - и β -распаде природных и искусственных радионуклидов в тех случаях, когда в дочернем ядре оказывается избыток энергии, не захваченный корпускулярным излучением (α - или β -частицей). Этот избыток мгновенно высвечивается в виде γ -квантов. γ -лучи возникают также при торможении заряженных частиц, аннигиляции пар античастиц (электрон-позитрон, протон-антипротон и др.), а также самопроизвольном и

искусственном расщеплении ядер атомов урана и плутония и при некоторых других ядерных реакциях.

Энергия γ -квантов, испускаемых после α -распада, обычно не превышает 0,5 МэВ. Энергия γ -квантов, испускаемых после β -распада, достигает 2—2,5 МэВ. В среднем энергия α -кванта различных γ -излучателей колеблется от 0,1 до 3 МэВ и иногда достигает 10 МэВ. γ -лучи с энергией до 1 МэВ называются мягкими, а с энергией больше 1 МэВ — жесткими.

γ -лучи не отклоняются в магнитном и электрическом полях, так как являются электрически нейтральными. В веществе и вакууме они распространяются прямолинейно и равномерно во все стороны от источника. Не вызывая прямой ионизации, при движении в среде они выбивают электроны, передавая им всю или часть своей энергии. Эти вторичные ионы и производят процесс ионизации. На 1 см пробега γ -лучи образуют 1—2 пары ионов. В воздухе они проходят путь в несколько сот метров и даже километров, в дереве — 25 см, в бетоне — 10 см, в свинце — до 5 см, воде — десятки метров, а живые организмы они пронизывают насквозь. В силу большой проникающей способности γ -лучи представляют значительную опасность для живых организмов как источник внешнего облучения. Для защиты от γ -лучей используют химические элементы большой массы и плотности.

В зависимости от энергии при прохождении через вещество γ -кванты по-разному с ним взаимодействуют. Это взаимодействие проявляется в виде фотоэлектрического эффекта, комптоновского эффекта рассеивания и образования электронно-позитронных пар с последующей аннигиляцией. Вид взаимодействия γ -излучения с веществом определяется атомным номером облучаемого вещества и величиной энергии γ -квантов. При всех трех видах взаимодействия γ -излучения с веществом образуются быстрые вторичные электроны, которые в конечном счете и производят возбуждение и ионизацию атомов среды [2, 3, 7].

4. Дозиметрия и радиометрия ионизирующих излучений

Радиометрия (от греч. radio — луч + metro — измерять) — обнаружение и измерение числа распадов атомных ядер в радиоактивных источниках либо некоторой доли их по испускаемому ядрами излучению.

Дозиметрия (от греч. dosis — доза, порция + metro — измерять) — измерение рассеяния и поглощения энергии ионизирующего излучения в определенном материале. Доза излучения строго зависит от энергии и вида падающего излучения, а также от природы поглощающего материала.

Несмотря на различие задач радиометрии и дозиметрии, базируются они на общих методических принципах обнаружения и регистрации ионизирующих излучений.

Доза излучения и ее мощность. Биологическое действие рентгеновского и ядерных излучений на организм обусловлено ионизацией и возбуждением атомов и молекул биологической среды. На процесс ионизации излучения расходуют свою энергию. В результате взаимодействия излучений с биологической средой живому организму передается определенное количество энергии. Часть поступающего в организм излучения, которое пронизывает облучаемый объект (без поглощения), действия на него не оказывает. Поэтому основная физическая величина, характеризующая действие излучения на организм, находится в прямой зависимости от количества поглощенной энергии. Для измерения количества поглощенной энергии введено такое понятие, как доза излучения. Это величина энергии, поглощенной в единице объема (массы) облучаемого вещества.

Выделяют дозу в воздухе, дозу на поверхности (кожная доза) и в глубине облучаемого объекта (глубинная доза), очаговую и интегральную (общая поглощенная доза) дозы. Так как поглощенная энергия расходуется на ионизацию среды, то для измерения ее необходимо подсчитать число пар ионов, образующихся при излучении. Однако измерить ионизацию

непосредственно в глубине тканей живого организма трудно. В связи с этим для количественной характеристики рентгеновского и гамма-излучений, действующих на объект, определяют так называемую экспозиционную дозу D_0 , которая характеризует ионизирующую способность рентгеновских и гамма-лучей в воздухе. От экспозиционной дозы с помощью соответствующих коэффициентов переходят к дозе, поглощенной в объекте. Экспозиционную дозу определяют по ионизирующему действию излучения в определенной массе воздуха и только при значениях энергии рентгеновских и гамма-лучей в диапазоне от десятков килоэлектронвольт до 3 МэВ.

В Международной системе единиц (СИ) за единицу экспозиционной дозы принят кулон на килограмм (Кл/кг), т.е. такая экспозиционная доза рентгеновских и гамма-лучей, при которой в 1 кг сухого воздуха образуются ионы, несущие заряд в один кулон электричества каждого знака.

На практике используют внесистемную единицу—рентген ($1P=2,58 \times 10^4$ Кл/кг), принятую в 1928 г. Рентген (Р) — экспозиционная доза рентгеновского или гамма-излучения, при которой в 1 см^3 воздуха (0,001293 г сухого воздуха) при нормальных условиях (0°C и 1013 ГПа) образуется 2×10^9 пар ионов.

Во всех случаях радиоактивного загрязнения местности ветеринарная служба хозяйства, учреждения после немедленного сообщения в вышестоящее ветеринарное учреждение и СЭС приступает к обследованию ветеринарных объектов, установлению γ -фона на местности, в животноводческих помещениях. Одновременно определяет внешнее радиоактивное загрязнение указанных объектов.

В этих условиях методы дозиметрии и радиометрии должны быть ускоренными, достаточно точными, доступными и удобными в работе. Весьма перспективно использование экспресс-методов для определения γ -фона и радиоактивности объектов.

Наибольшую ценность представляют те экспресс-методы, с помощью которых можно определять загрязненность продукта в таре его владельца,

исключая обязательность точного объема, массы, агрегатного состояния, предварительной очистки, размельчения, дезактивации самого прибора или емкости, в которую в некоторых случаях нужно помещать продукт для измерения.

Дозиметрию и радиометрию с помощью экспресс-методов в полевых условиях осуществляет дозиметрическая группа из двух человек (дозиметрист и помощник дозиметриста, записывающий результаты измерений). Время выполнения экспресс-метода – 3-5 минут.

Время выполнения экспресс-методов дозиметрии и радиометрии в распоряжении ветеринарной радиологической службы имеются полевые приборы СРП-68-01 (сцинтилляционный радиометр поисковый) и ДП-5а.

Для лабораторных исследований в ветеринарных лабораториях используют приборы ДП-100, КРК-1, КРВП-3АБ, РКБ4-1еМ и др. перечисленные приборы за исключением ДП-100 обладают достаточно высокой чувствительностью, но весьма низкой производительностью, что существенно осложняет работу дозиметристов в аварийных ситуациях [1, 3].

5. Токсикология радиоактивных веществ

Токсикология радиоактивных изотопов (радиотоксикология) составляет специальную отрасль знаний, предметом которой являются:

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

- установление допустимых уровней содержания радионуклидов в воде, воздухе, кормах, продуктах питания и организме человека;

- исследование биологического действия инкорпорированных радиоактивных изотопов и поиск эффективных средств для профилактики поражения;

- разработка средств и методов, ускоряющих выведение радиоактивных изотопов из организма.

Наиболее глубоко исследуется влияние на организм человека радионуклидов, широко используемых в промышленности, научных и медицинских исследованиях, а также образующихся в результате расщепления ядерного горючего.

Радиоактивные изотопы любого химического элемента периодической системы Д. И. Менделеева при попадании в организм участвуют в обмене веществ точно также как стабильные изотопы данного элемента. Биологическое действие радиоактивных изотопов определяется параметрами их ионизирующих излучений. Действие радионуклидов, попадающих внутрь организма, в принципе не отличается от действия внешних источников ионизирующего излучения. Их особенностью является то, что они, включаясь в обмен веществ, могут оставаться в тканях длительное время. Активность радионуклидов нельзя погасить ни химическими, ни физическими средствами.

Токсичность радионуклидов зависит от определенных факторов: вида и энергии излучения, периода полураспада; физико-химических свойств вещества, в составе которого радионуклид попадает в организм; типа распределения радионуклидов по тканям и органам; скорости выведения радионуклидов из организма.

Энергия излучения имеет прямую связь с поражающим действием радиоактивного изотопа: чем она больше, тем сильнее поражение. Вид излучения — одна 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. чем выше энергия и короче пробег частицы, тем больше у нее ЛПЭ.

Излучения, имеющие высокую ЛПЭ, обладают, как правило, большой биологической эффективностью. Это свидетельствует о том, что степень действия различных видов излучения зависит не только от общего количества поглощенной энергии, но и от геометрических характеристик 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 рентгеновских лучей и зависят от типа облучаемого объекта и характера облучения. Например, при общем облучении организма быстрыми нейтронами коэффициент ОБЭ равен 10, а при местном облучении половых желез — 35.

Период полураспада радионуклида — важная характеристика 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 опасной концентрации. Например, период полураспада ^{210}Po или ^{220}Ra составляет 3×10^7 с; период полураспада изотопов ^{134}I , ^{136}I , ^{140}I , являющихся продуктами деления тяжелых ядер, равен нескольким секундам-минутам.

Радионуклиды с большим периодом полураспада (десятки тысяч лет и более) в естественных условиях также не смогут создать эффективной дозы, которая привела бы к развитию лучевого заболевания. Например, ^{228}U имеет период полураспада $4,5 \times 10^9$ 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 долгоживущего радионуклида может усиливаться дочерними радионуклидами [3, 4].

6. Биологическое действие ионизирующих излучений, лучевые поражения

Ионизирующие излучения обладают высокой биологической активностью. Они способны вызывать ионизацию любых химических соединений биосубстратов, образование активных радикалов и этим индуцировать длительно протекающие реакции в живых тканях. Поэтому результатом биологического действия радиации является, как правило, нарушение нормальных биохимических процессов с последующими функциональными и морфологическими изменениями в клетках и тканях животного.

На сегодняшний день механизм биологического действия до конца пока не выяснен. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что у различных излучений он в основном одинаковый, начиная от исходных актов поглощения и переноса энергии излучения и заканчивая физиологическими и морфологическими изменениями в облученном организме.

Особенности биологического действия радиации, во-первых, в том, что у животных отсутствуют специальные анализаторы для восприятия излучения, и, во-вторых, оно в основном связано с формой передачи энергии клеткам. Например, при гамма-облучении дозой 1000 Р, смертельной для большинства млекопитающих, ткани поглощают ничтожно малую энергию — около 8,4 кДж/г. Для сравнения можно сказать, что такое же количество энергии расходуется при повышении температуры тела только на 0,001⁰С.

В механизме биологического действия ионизирующих излучений на организмы условно выделены два основных этапа. Первый этап – первичное (непосредственное) действие излучение на биохимические процессы,

функции и структуры органов и тканей; второй — опосредованное действие, которое обуславливается нейрогенными и гуморальными сдвигами, возникающими в организме под влиянием радиации.

Для объяснения механизма первичного действия ионизирующих излучений на биосубстрат предложено более десяти гипотез и теорий, многие из которых, по современным представлениям не выдерживают критики и приобрели лишь историческое значение.

По гипотезе Штрауса (1923 г.), в основе лучевого поражения лежит действие ионизирующих излучений на липоиды ароматического ряда как на наиболее радиочувствительные компоненты клетки.

По истечению времени был накоплен огромный материал о повреждающем действии ионизирующих излучений, но механизм остался не раскрытым. Для исследования в этой области в качестве биологической модели были взяты простые белки, протеиды, ферменты, вирусы, бактерии и грибы различных видов. Их подвергали облучению в различных условиях и агрегатных состояниях: сухом виде, в растворах, при глубоком замораживании в жидком азоте, в различных условиях кислородного режима, также исследования проводили и на лабораторных животных.

В результате многочисленных опытов было выдвинуто две теории механизма первичного (непосредственного) действия ионизирующей радиации, которые в современное время являются признанными:

- теория прямого действия;
- теория непрямого (косвенного) действия.

Под прямым действием ионизирующей радиации понимают такие изменения, которые возникают в результате поглощения энергии излучения самими молекулами, а поражающее действие связано с актом прямого их взаимодействия.

Под непрямым (косвенным) действием радиоактивных излучений понимают изменение молекул клеток и тканей, обусловленных радиолизом

воды и растворенных в ней веществ, а не энергией излучения, поглощенной самими молекулами.

Теории прямого действия радиации.

На основании представления о прямом действии ионизирующих излучений возникла теория мишени и попаданий, выдвинутая Дессауэром, а в последующем развитая Кроутером, Тимофеевым-Ресовским, Циммером, Ли и другими учеными.

Теория мишени и попаданий объясняла наличие в клетке жизненно важного центра (гена или ансамбля генов) — мишени, попадание в которую одной или нескольких высокоэнергетических частиц атомной радиации достаточно для разрушения и гибели клетки.

Попадание в мишень – вероятностное событие: чем больше доза, тем оно вероятнее; чем меньше, тем оно менее вероятно, однако по закону случайности попадания оно всегда возможно.

В опытах на микробных клетках была показана количественная зависимость между дозой и биологическим эффектом: с увеличением дозы излучений в геометрической прогрессии увеличивается количество поврежденных единиц в объеме облучения. Когда гибель клеток, разрушение молекул и инактивацию ферментов можно описать экспоненциальной кривой, говорят об одноударном поражении, т.е. инактивация объекта происходит под действием одного попадания, что характерно для микробных клеток, бактерий и вирусов. Для инактивации и разрушения клеток животных и растительных тканей требуется более одного попадания в мишень, поэтому данный процесс называется многоударным, и гибель клеток описывается S-образно кривой, вычерченной в нормальных координатах.

Таким образом, в основе теории мишени лежат два положения. Первое из них – принцип попадания – характеризует особенность действующего агента (излучения). Эта особенность заключается в дискретности поглощения энергии излучения, т.е. поглощения порций энергии при случайном попадании в мишень. Второе положение – принцип мишени – учитывает

особенность облучаемого объекта (клетки), т.е. различие в ее ответе на одно и то же попадание.

Все же данная теория многое не объясняет, например, зависимость радиобиологического эффекта от температуры и наличия в облучаемой среде кислорода. Было отмечено, что понижение температуры и снижение концентрации кислорода в среде снижают радиационный эффект, т.е. гибель клеток уменьшается.

По мнению Д.Е. Ли, эта теория может быть актуальной только в отдельных случаях – при инактивации или уничтожении бактерий, вирусов и одноклеточных организмов и при мутации. Эта особенность лежит в основе применения ионизирующих излучений в радиационной генетике и селекции микроорганизмов, грибов и растений, а также в радиационно-биологической технологии, как способ холодной стерилизации биологических препаратов (вакцин, сывороток, гормонов, витаминов), медицинских инструментов и перевязочного материала, не выдерживающих термической или химической обработки или теряющих при этом свои функциональные свойства, а также консервации пищевых продуктов.

Стохастическая (вероятностная) теория. Теория, предложенная в конце 60-х годов XX века О. Хугом и А. Келлером, явилась продолжением развития теории прямого действия. Данная теория, также как и теория мишени, учитывает вероятностный характер попадания излучения в чувствительный объем клетки, но в отличие от нее она еще учитывает и состояние клетки как биологического объекта.

Клетка как лабильная динамическая система постоянно находится в стадии перехода одного состояния в другое путем клеточного деления – митоза. На каждой стадии деления существует вероятность повреждения ее вследствие различных факторов, в то числе и радиационного. В процессе деления клетки выделяют две фазы: интерфазу и собственно митоз.

Интерфаза – самая длительная по времени и составляет промежуток между двумя делениями от 10 до 48 часов. В интерфазе отчетливо выделяют

три стадии. Первая стадия – предсинтетическая, начинается сразу после окончания деления клетки. Затем следует вторая – стадия синтеза, в это время синтезируются ДНК и хромосомные белки. Третья стадия – постсинтетическая, она переходит в профазу (начало деления клетки).

Митоз длится 30-60 минут и имеет четыре стадии: профазу (начало деления), метафазу (разделение хромосом), анафазу (расхождение хромосом к полюсам клетки) и телофазу (формирование дочерних клеток).

Излучение влияет на все фазы и стадии клеточного цикла, однако радиочувствительность клетки в различные стадии митоза неодинаковая: наибольшую чувствительность к ионизирующему излучению имеет клетка в стадии профазы. Облучение в период интерфазы приводит к потере способности приступать к новому делению. В клетках, уже начавшихся делиться (профаза), облучение тормозит его завершение. В этих случаях легко нарушается структура хроматинового вещества, в результате чего клетка может погибнуть.

На основании различия радиочувствительности клеток французские ученые Бергонье и Трибондо (1903 г.) сформулировали правило: чувствительность клеток к облучению прямо пропорционально интенсивности клеточного деления и обратно пропорциональна степени их дифференцировки (исключение составляют высокодифференцированные, но неделящиеся нервные клетки и лимфоциты крови).

Следовательно, наиболее повреждаемы клетки тех тканей, которые обладают высокой митотической активностью. К ним относятся клетки органов кроветворения (красный костный мозг, селезенка, лимфоузлы), половых желез, эпителия кишечника и желудка, а также клетки быстрорастущих опухолей. Поэтому не случайно при развитии острой лучевой болезни в первую очередь наблюдаются нарушения кроветворения, поражения желудочно-кишечного тракта (кروавые поносы), половых клеток.

Среди различных компонентов самой клетки наибольшей радиопоражаемостью обладает ядро. В экспериментах на амебах было показано, что пересадка ядра из облученной клетки при дозе 1,5 кГр в необлученную вызывает гибель последней, а при пересадке ядра из необлученной клетки в облученную этого не наблюдают. Эти и другие данные экспериментальных работ свидетельствуют о том, что главную ответственность за гибель клетки при облучении несет ядро.

Стохастическая теория учитывает не только все многообразие повреждений, вызываемых ионизирующим излучением, но и роль репарационных процессов. При анализе дозовых кривых с учетом функциональной лабильности клетки экспоненциальная кривая указывает на систему без компенсаторных реакций, а сигмоидная соответствует системам, обладающим такими репаративными механизмами.

Стохастическая теория более биологична в сравнение с теорией мишени, но и она не смогла объяснить некоторые эффекты, в частности эффект разведения.

Эксперименты, проведенные Г. Фрикке на разбавленных водных растворах, показали, что с увеличением концентрации вещества количество инактивированных под действием облучения молекул не возрастает согласно принципу мишени. Эффект разведения свидетельствует о наличии косвенного действия радиации.

Теории непрямого действия ионизирующих излучений.

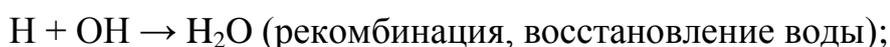
В процессе непрямого действия ионизирующих излучений наиболее выражен процесс радиолиза воды, т.е. радиационного разрушения, так как вода на 80-90% составляет основу важных структур клетки. Как известно, в воде растворены белки, нуклеиновые кислоты, ферменты, гормоны и другие жизненно важные вещества, являющиеся основными компонентами клетки, которым легко может быть передана энергия, первоначально поглощенная водой.

Процесс радиолиза воды совершается в три фазы:

- физическая фаза длится $10^{-13} - 10^{-16}$ с. Здесь происходит взаимодействие ионизирующего излучения с молекулой воды, в результате чего выбивается электрон с внешней орбиты атома и образуется положительно заряженный ион воды: $\gamma \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow e + \text{H}_2\text{O}^+$. «Вырванный» электрон присоединяется к нейтральной молекуле воды, образуя отрицательный ион воды: $e + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$. При эффекте возбуждения образуется нейтрально заряженная молекула воды с избытком энергии, принесенной ионизирующим излучением: $\gamma \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^*$. Физико-химические свойства ионизирующих и возбужденных молекул воды отличаются от молекул воды электрически нейтральных. Продолжительность существования таких молекул очень короткая; они распадаются и образуют свободные радикалы водорода и гидроксила (Н и ОН);

- фаза первичных физико-химических превращений наступает после образования свободных радикалов водорода и гидроксила и длится $10^{-6} - 10^{-9}$ с. Гидроксильные радикалы (ОН) – сильные окислители, а радикал водорода (Н) – восстановитель, однако образование свободных радикалов может идти другим путем: вырванный из молекулы воды под действием излучения электрон может присоединиться к положительно заряженному иону воды с образованием возбужденной молекулы $\text{H}_2\text{O}^+ + e \rightarrow \text{H}_2\text{O}^*$. Избыточная энергия этой молекулы расходуется на ее расщепление с образованием свободных радикалов водорода и гидроксила: $\text{H}_2\text{O}^* \rightarrow \text{H} + \text{OH}$. В данном случае заканчивается физико-химическая фаза и развивается фаза химических реакций;

- фаза химических реакций длится $10^{-5} - 10^{-6}$ с. Обладая весьма высокой химической активностью за счет наличия неспаренного электрона, свободные радикалы взаимодействуют друг с другом или с растворенными в воде веществами. Реакции могут проходить следующим образом:



$\text{OH} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$ (образование молекул воды и выделение кислорода, который является сильным окислителем);

$\text{OH} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ (образование пероксида водорода).

При наличии в среде растворенного кислорода O_2 возможна реакция образования гидропероксидов: $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2$ (гидропероксидый радикал).

Эта реакция указывает на роль кислорода в повреждающем эффекте ионизирующего излучения.

Гидропероксиды могут взаимодействовать между собой, образуя пероксиды водорода и высшие пероксиды, которые обладают высокой точностью, но они быстро разлагаются в организме ферментом каталазой на воду и кислород:

$\text{HO}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$;

$\text{HO}_2 + \text{H} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ (пероксид водорода);

$\text{HO}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_4$ (высший пероксид).

Возникновение свободных радикалов и их взаимодействие составляют этап первичных химических реакций воды и растворенных в ней веществ, а в случаях облучения животных и растений – и биологических молекул.

Взаимодействие свободных радикалов с органическими и неорганическими веществами происходит в результате окислительно-восстановительных реакций и составляет эффект непрямого (косвенного) действия. Величина прямого и непрямого действия в первичных радиобиологических эффектах различных систем неодинаковая. В абсолютно чистых сухих веществах будет преобладать прямое, а в слаборастворенных – косвенное действие радиации. По мнению А.М. Кузина, у животных приблизительно 45% поглощенной энергии излучения действует непосредственно на молекулярные структуры – прямое действие, а остальное 55% энергии вызывают непрямо действие.

Об различии прямого и непрямого действия радиации на биологические объекты и величине их влияния на развитие лучевого поражения, по данным

авторов теории судят по двум феноменам – эффекту разведения и кислородному эффекту.

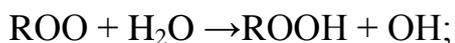
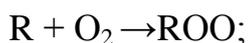
Эффект разведения – состояние, при котором абсолютное число поврежденных молекул веществ в слабом растворе не зависит от его концентрации и остается для данной экспозиционной дозы постоянным, так как в этих конкретных условиях в растворе образуется постоянное количество активированных радикалов. Эффект разведения достаточно четко проявляется в опытах *in vitro* с растворами и суспензиями микромолекул, вирусов, фагов и т.д. Он свидетельствует о величине косвенного действия радиации при лучевом повреждении этих микроскопических структур. Однако эффект разведения не проявляется при облучении суспензий перевиваемых клеток и тканей животных, так как в данном случае большая часть активных радикалов воды поглощается «поверхностными» метаболитами и не доходит до активных макромолекул клетки. Он также не регистрируется при облучении многоклеточных организмов.

В процессе развития 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. Это явление получило название *кислородного эффекта*. Выраженность кислородного эффекта у разных видов излучений неодинаковая и зависит от их линейной потери энергии (ЛПЭ); с повышением ее эффект уменьшается. При действии излучений с малой плотностью ЛПЭ наблюдается наибольший эффект, а при воздействии излучений с высокой ЛПЭ он полностью отсутствует. Кислородный эффект проявляется во всех радиобиологических реакциях ослаблением или усилением биохимических изменений, мутаций у всех биологических объектов (растений и животных) и на всех уровнях их организации – молекулярном, субклеточном, клеточном, тканевом.

Кислородный эффект нередко применяется при лечении больных со злокачественными новообразованиями. Для усиления лучевого поражения клеток опухоли создают условия повышенного содержания кислорода в ней и одновременно для уменьшения радиационного повреждения здоровых клеток обеспечивают гипоксическое состояние окружающих тканей.

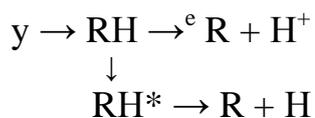
У млекопитающих животных максимальная радиочувствительность тканей замечена при нормальном парциальном давлении кислорода (30-45 гПа). Снижая насыщенность тканей кислородом, можно, таким образом, повысить радиорезистентность животного. Повышение содержания кислорода в окружающей среде и в объекте облучения после лучевого воздействия положительно влияет на процессы пострадиационного восстановления.

В присутствии кислорода происходит значительное усиление косвенного действия продуктов радиолиза воды и низкомолекулярных органических соединений. Свободные радикалы, взаимодействуя с кислородом, образуют гидропероксиды, пероксиды и высшие пероксиды, которые оказывают токсическое действие на организм. Стабилизация радикалов ОН в присутствии кислорода увеличивает вероятность образования активных свободных радикалов органических веществ, которые присутствуют в облучаемой среде: $RH + OH \rightarrow R + H_2O$. Образовавшиеся свободные радикалы органических веществ в присутствии кислорода будут реагировать с ним, образуя пероксидный радикал (ROO), который реагируя с любыми органическими веществами или молекулами воды, инициирует цепную реакцию образования активных свободных радикалов и гидропероксидов, оказывающих токсическое действие на клетку:



Наличие кислорода в облучаемой среде усиливает также прямое действие радиации. При попадании гамма-кванта в молекулу органического

вещества, так же как и в случае с водой, образуются активные радикалы в результате ионизации и возбуждения молекул:



Эти радикалы, взаимодействия с кислородом, образуют гидропероксиды и пероксиды, которые приводят к глубокому изменению молекул: $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2$ - гидропероксид;



Липиды биомембран под действием ионизирующего излучения в присутствии кислорода образуют пероксиды и продукты их распада. В кислородной среде образуется больше токсических веществ, их концентрация выше, чем объясняет кислородный эффект.

В настоящее время имеется несколько гипотез, описывающих не прямое действие ионизирующих излучений, т.е. качественную сторону возникновения и развития послелучевых процессов в организме.

Теория липидных радиотоксинов (первичных радиотоксинов и цепных реакций) предложена в 50-е годы Б. Н. Тарусовым, Ю. Б. Кудряшовым, Н. М. Эмануэлем. Ученые доказали, что уже в первые часы после облучения в тканях животных образуются вещества, которые при последующем введении их интактным животным вызывают гемолиз. Идентификация веществ установила их липидную основу, что и послужило основанием назвать их липидными радиотоксинами (ЛРТ).

Липидные радиотоксины представлены лабильным комплексом продуктов окисления ненасыщенных кислот, гидропероксидов, альдегидов, эпоксидов и кетонов. Они способны вызвать не только гемолиз, но и реакции, характерные для лучевого поражения: торможение клеточного деления, нарушения кроветворения, повреждение хромосомного аппарата.

Для возникновения цепных реакций необходимы радикалы с большой энергией, достаточной для образования последующих радикалов. В случаях, если один радикал способен образовать два или три, то возникает

самоускоряющийся процесс, называемый реакцией с разветвленными цепями. В норме в организме животных низкий уровень окисления биоллипидов обуславливает антиокислители, т.е. природные антиоксиданты. При лучевом воздействии данное равновесие нарушается из-за появления большого количества радикалов. Автокаталитический режим цепных реакций может возникать в том случае, когда содержание естественных антиокислителей снижается на 10-15%. По мере снижения числа реакционноспособных молекул в субстрате реакция затухает; при этом снижается количество радикалов и пероксидов и возрастает выход конечных продуктов.

При облучении, по мнению авторов Тарусова, Кудряшова и Эмануэля, вначале поражаются липиды клеточных мембран, приводящие к нарушению химизма клетки, а затем образующиеся липидные радиотоксины вызывают окисление молекул других органических соединений живой ткани.

Однако, теория липидных радиотоксинов не стала универсальной потому, что накопление липидных радиотоксинов количественно не связано с ЛПЭ, а ЛПЭ в основном определяет ОБЭ ионизирующего излучения.

Структурно-метаболическая теория радиационного поражения предложена русским ученым-радиобиологом А.М. Кузиным, пытавшегося на основе собственных исследований и имеющегося материала других ученых создать единую теорию начиная от теории прямого действия на клеточном уровне и заканчивая высокоорганизованными многоклеточными организмами. В радиационном эффекте данной теории определенная роль принадлежала нарушениям в клеточном ядре и биомембранах. В проведенных многочисленных экспериментах было доказано, что ДНК связана с биомембранами: начало разделения спирали и синтеза ДНК происходит в точках ее прикрепления к мембране. На поверхности биомембран расположены особые рецепторы, передающие сигналы гормонов через липиды мембран.

Они, подвергаясь воздействию ионизирующей радиации и в присутствии кислорода образуют пероксиды и продукты их распада. Изменения приводят к нарушению проницаемости мембран и важных метаболических процессов. Поэтому, в структурно-метаболической теории к радиационному поражению ядерных молекул как фактору прямого действия согласно теории мишени прибавляются нарушение цитоплазматических структур и изменение нормального их функционирования.

Автор теории ввел понятие о веществах, оказывающих влияние на геном клетки, и назвал их триггер-эффекторами. Под действием разных доз радиации триггер-эффекторы (семихиноны, гормоны и др.) в зависимости от их концентрации могут оказывать депрессивное или репрессивное действие на геном клетки, а следовательно, и на биосинтетические процессы. От силы раздражителя, вернее, от дозы ионизирующего излучения зависит реакция организма. Под влиянием радиации в организме не возникает новых химических соединений. Некоторые из токсических метаболитов в небольших количествах постоянно находятся в клетках здоровых тканей. Под действием радиации содержание их значительно увеличивается и дополнительно появляются новые токсические соединения. Первичные радиотоксины образуют большое количество вторичных радиотоксинов, играющих значительную роль в патогенезе и исходе лучевых поражений (рис. 1).

В механизме биологического действия радиации на биологические объекты условно выделяют три этапа:

- 1) первичные физические явления – поглощение энергии излучения атомами и молекулами биологического объекта, в результате чего они могут претерпевать возбуждение, ионизацию или диссоциацию;
- 2) радиационно-химические процессы, при которых образуются свободные радикалы, взаимодействующие с органическими и неорганическими веществами по типу окислительных и восстановительных реакций;

3) биохимические реакции, обуславливающие изменение функций, структур органов и систем и реакций целостного организма.

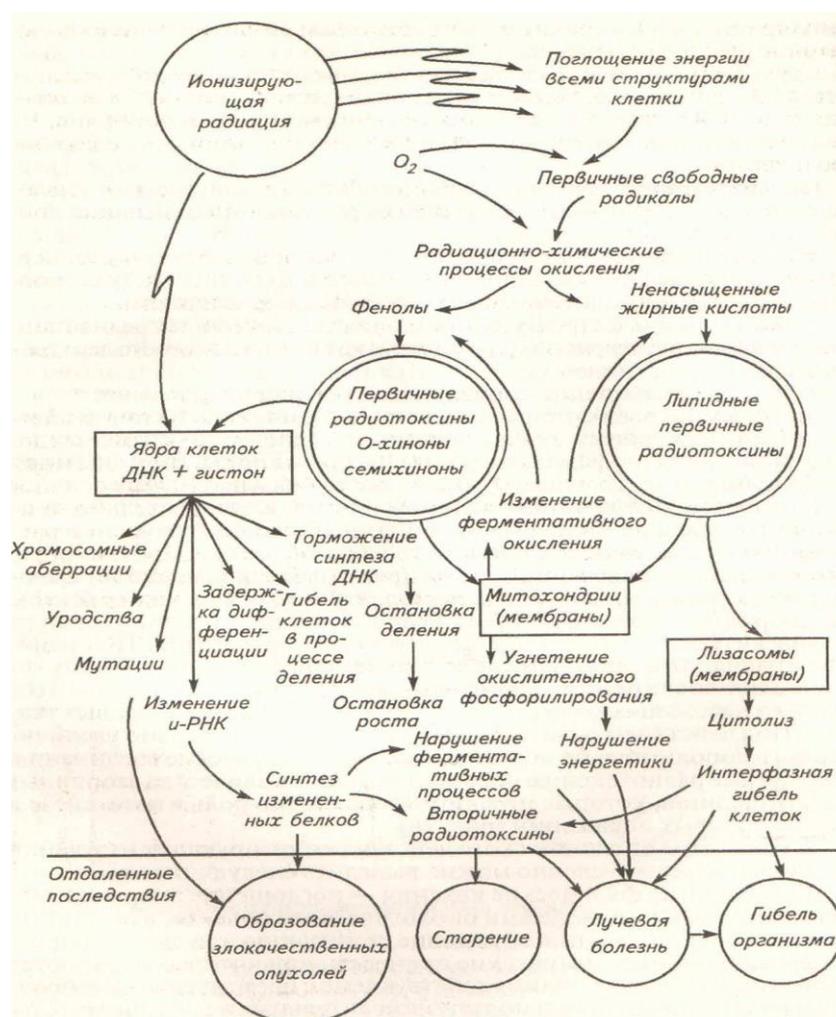


Рисунок 1. Схема участия первичных радиотоксинов в развитии лучевого поражения организма

Этапы и определяют в конечном счете механизм развития и специфику патологического процесса. Таким образом, структурно-метаболическая теория отличается большей аргументацией и дает более детальное представление о первичных механизмах действия радиации на организм, усиливающееся в дальнейшем нейроэндокринными и гуморальными реакциями, т.е. опосредованно.

Опосредованное действие радиации. Точно разделить непосредственное и опосредованное воздействие радиации на биологические объекты очень трудно.

Участие нервной системы в опосредованном действии ионизирующего излучения раскрыто в трудах отечественных ученых И. Р. Тарханова, М. Н. Ливанова, А. В. Лебединского и др., отметившие высокую чувствительность нервной системы к радиации и одновременно способность к компенсации.

Благодаря химической и хирургической денервации, показано рефлекторное воздействие облучения на трофику тканей. При малых дозах происходит усиление биохимических процессов, а при больших дозах – 500 Р и более – возникают глубокие трофические нарушения, образующие язвы.

Опосредованное влияние нервной системы в облучении обнаружено при развитии изменений во всех тканях и системах организма. Рефлекторный путь – как один из механизмов, в котором в процесс вовлекаются отдел нервной системы, ретикулярная формация, кора и подкорка (рис.2).

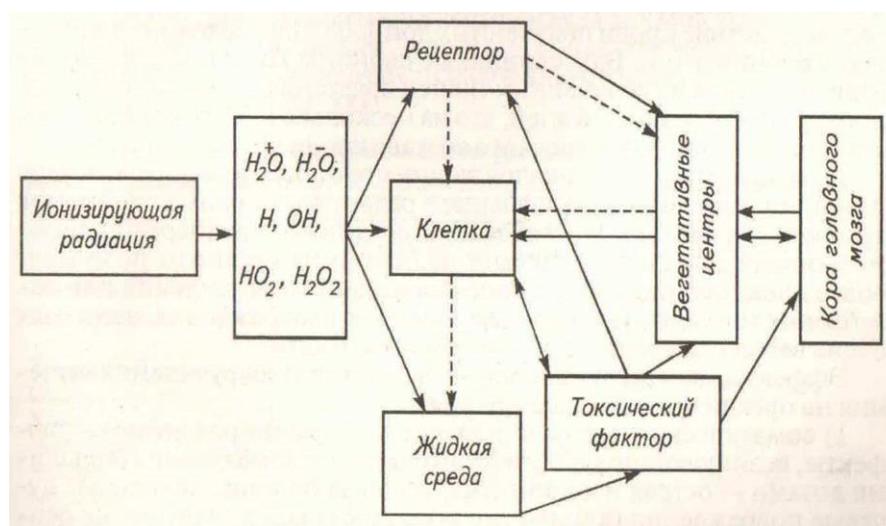


Рисунок 2 – Схема патогенеза лучевой болезни

Следующим путем опосредованного влияния радиации на функции и структуры органов является эндокринная система. Многие ученые и исследователи выделяют лучевое поражение как одну из форм стресс-реакции. Обоснованием данного предложения явилось то, что в первое время после лучевого воздействия наступает гиперсекреция коры надпочечников,

уменьшаются размеры тимуса и селезенки, развивается лимфопения. Облучение животных после удаления надпочечников не приводит к таким изменениям в органах. На лучевое воздействие в опосредованных реакциях также участвует гипофиз, щитовидная железа и остальные эндокринные органы.

Гуморальный путь опосредованного действия радиации представлен токсическими веществами, образующихся в организме при лучевой болезни. По мнению П.Д. Горизонтова, в понятие «радиотоксины» входят качественные и количественные изменения биологических свойств крови, лимфы, тканевой жидкости и других сред, развивающихся при воздействии радиации, или вызывающиеся при патологическом изменении, или усугубляющие течение лучевого поражения. В некоторых этапах лучевой болезни к токсическим веществам относят медиаторы, гормоны, ферменты, продукты обмена веществ и распада тканей. В качестве примера можно привести: при облучении в крови повышается содержание ацетилхолина, возбуждающий рвотный центр, что вызывает рвоту; увеличенные выделения надпочечных гормонов приводит к повышенному содержанию гликогена в печеночной ткани.

Изучение механизмов непосредственного и опосредованного действия радиации на организм позволяет более дифференцированно использовать методы усиления или ослабления того или иного процесса лучевого повреждения, что имеет весьма важное значение для лечения животного.

Эффекты, которые возникают при действии радиации на организм, подразделяют на три группы:

- 1) соматические нестохастические (детерминированные) – эффекты, возникающие у облученного организма сразу после облучения большими дозами. При этом характерны острая и хроническая лучевая болезнь, локальные лучевые повреждения (катаракта), поражения кожи, нарушение репродуктивной функции. 100%-ная вероятность проявления данного эффекта равна нулю при малых

дозах, однако, будет резко возрастать при превышении некоторого порога доз, т.е. тяжесть эффекта зависит от дозы;

- 2) соматические стохастические – эффекты, возникающие у облученного через длительное время после облучения. Это отдаленные последствия радиации, к ним относят: понижение сопротивляемости к инфекциям, сокращение продолжительности жизни, возникновение опухолей, лейкозов. Считают, что вероятность их проявления и тяжесть являются беспороговой функцией дозы;
- 3) генетические или наследственные – эффекты, проявляющиеся в потомстве у облученных людей и животных. Данные эффекты являются также стохастическими. При этом могут возникать доминантные и рецессивные генные мутации, хромосомные aberrации [2, 3, 7, 9].

Радиочувствительность животных. У животных разных видов, включая и индивидуумов одного и того же вида, радиочувствительность будет неодинаковой, которая зависит от возраста, пола, упитанности и других факторов.

Для обозначения радиационной чувствительности животных используют летальные дозы (ЛД) – это минимальные дозы облучения ЛД_{50/30} и ЛД_{100/30}, вызывающие летальный исход соответственно 50 и 100% облученных животных в течение 30 дней.

В настоящее время причины неодинаковой радиочувствительности у животных разных видов – не установлены. Этот феномен научно не обоснован, но известно, что млекопитающие – животные и человек – обладают наибольшей чувствительностью к облучению по сравнению с птицами, рыбами, земноводными (табл. 1).

Различие радиочувствительности выявляется и в органах. Клетки одного органа также имеют разную степень чувствительности и способность к регенерации после лучевого повреждения.

Таблица 1 – Летальные дозы облучения животных, Гр

№	Вид животного	ЛД _{50/30}	ЛД _{100/30}
1	Морская свинка	1,5-3,0	4,0-6,0
2	Овца	1,5-4,0	5,5-7,5
3	Ягнята до 3 месяцев	1,5-3,0	6,0
4	Крупный рогатый скот	1,6-5,5	6,5
5	Телята до 5 месяцев	2,0-5,5	8,0
6	Осел	2,1-5,5	7,5
7	Коза	2,5	-
8	Верблюд	2,5-4,0	6,0
9	Человек	2,5-5,5	4,0-6,0
10	Обезьяна	2,5-6,0	8,0
11	Свинья	2,5-3,0	4,5
12	Поросята до 2 месяцев	2,5-6,0	-
13	Лошадь	3,5-4,0	5,0-6,5
14	Собака	2,0-3,5	4,0-5,0
15	Щенки до 3 месяцев	4,5-7,0	8,0-10,5
16	Мышь	4,6-7,5	7,0
17	Крыса	5,0-7,0	10,0
18	Кошка	5,0-7,5	8,0
19	Летучая мышь	5,0-8,0	9,5
20	Хомяк	5,5-8,0	-
21	Полевка	6,0-9,0	9,0-10,0
22	Суслик	6,0-9,5	9,0-11,5
23	Сурок	8,0-10,0	11,0-12,0
24	Кролик	10,0-13,0	14,0
25	Монгольская песчанка	-	15,0-18,0
26	Птицы, рыбы	8,0-20,0	-
27	Насекомые	10,0-100,0	-
28	Змеи	80,0-200,0	-

Степень радиочувствительности тканей характеризуют последующим признакам:

- по функционально-биохимическим признакам можно распределить органы по радиочувствительности в убывающей последовательности: большие полушария и стволы головного мозга, мозжечок, гипофиз, надпочечники, семенники, тимус, лимфатические узлы, спинной мозг, желудочно-кишечный тракт, печень, селезенка, легкие, почки, сердце, мышцы, кожа и костная ткань;

- по морфологическим признакам, развивающихся пострadiационных изменений органы разделяют на три группы:

1) органы, чувствительные к радиации при облучении дозой 0,25Гр: лимфатические узлы, лимфатические фолликулы желудочно-кишечного

тракта, красный костный мозг, вилочковая железа, селезенка половые железы;

2) органы, умеренно чувствительные к радиации при облучении дозой от 0,25 до 1 Гр: кожа и глаза;

3) органы, резистентные к действию радиации при облучении дозой 1 Гр и более: печень, легкие, почки, сердце, кости, сухожилия, нервные стволы.

Из-за неодинаковой чувствительности органов для организма небезразлично, будет ли облучаться все тело равномерно либо часть его или организм получит общее, но неравномерное облучение. Общее равномерное облучение вызывает наибольший радиобиологический эффект. Экранирование при облучении даже небольшого участка тела повышает устойчивость организма к воздействию радиации.

Таблица 2 – Влияние экранирования отдельных участков тела на выживаемость мышей при облучении

№	Экранированный участок	Доза облучения, Гр	Выживаемость за 30 дней, %
1	Селезенка	10,25	77,7
2	Печень	10,25	33,0
3	Голова	10,25	27,7
4	Кишечник	10,25	26,6
5	Задняя конечность	10,25	13,0
6	Контроль	10,25	0
7	Селезенка	8,0	33,4
8	Контроль	8,0	0
9	Задняя конечность	7,0	30,4
10	Контроль	7,0	0
11	Задние конечности: обе	6,0	88,2
12	одна	6,0	70,6
13	Контроль	6,0	17,6

При экранировании радиочувствительной ткани или органа защитный эффект проявляется ярче. К примеру, если экранировать надпочечники массой 20-25 мг у крысы массой 200-250 г при облучении ее смертельной дозой гамма-лучей, то она выживает, а контрольная, наоборот, погибает. Выраженный защитный эффект проявляется при экранировании участка кости с красным костным мозгом, например, головки одной из бедренных костей [1, 3, 5, 8].

Лучевые поражения животных включают в себя лучевую болезнь, лучевые ожоги и отдаленные последствия действия радиации.

Лучевая болезнь – общее нарушение жизнедеятельности организма, которое характеризуется глубочайшими морфологическими и функциональными изменениями всех его органов и систем в результате поражения внешних и внутренних источников радиации. В зависимости от дозы, мощности дозы, а также кратности и длительности облучения животных лучевая болезнь может протекать остро и хронически.

Острая лучевая болезнь – самостоятельное заболевание, возникающее в результате однократного короткого воздействия (до четырех суток) радиоактивной энергии в дозе более 100 рад на организм. Под воздействием радиации гибнут преимущественно делящиеся клетки организма. Причиной острой лучевой болезни чаще всего служат различные техногенные аварии, реже облучение организма с лечебной целью. При радиоактивном распаде происходит испускание альфа-, бета-, гамма-лучей, нейтронов, протонов и других осколков атомных ядер. Высокие дозы этих лучей вызывают повреждения ядер и цитоплазмы живых клеток. Гамма-лучи обладают наибольшей проникающей способностью и могут пронизывать бетонные плиты толщиной 50 см. Альфа- и бета-лучи вызывают тяжёлые ожоги кожи и слизистых оболочек, облучение внутренних органов и тканей (при попадании альфа- и бета-активных радиоизотопов с пищей, водой и вдыхаемым воздухом).

В происхождении острой лучевой болезни определяющую роль играет гибель клеток в непосредственных очагах поражения, так как радиация вызывает ионизацию внутриклеточной воды, гибнут прежде всего делящиеся клетки, находящиеся в митотическом цикле и лимфоциты. Поражается внутриклеточный аппарат: митохондрии, лизосомы, происходят разрывы хромосом и нитей ДНК. Наиболее чувствительны к радиации быстро делящиеся (т.е. имеющие короткий срок жизни) клетки, например, клетки костного мозга, кишечника, кожи. Менее чувствительны клетки печени,

почек, сердца. Лимфопения является одним из ранних и важнейших признаков острого лучевого поражения. Фибробласты организма оказываются высокоустойчивыми к воздействию радиации. После облучения они начинают бурный рост, что в очагах значительных поражений способствует развитию тяжелого склероза. К важнейшим особенностям острой лучевой болезни относится строгая зависимость ее проявлений от поглощенной дозы ионизирующей радиации.

В течении острой лучевой болезни выделяют 4 основных периода:

- начальный (период общей первичной реакции);
- скрытый (период мнимого благополучия);
- разгара (период выраженных клинических признаков);
- восстановления (исхода).

С некоторыми видовыми различиями указанные периоды заболевания прослеживаются у всех сельскохозяйственных и домашних животных, облученных полулетальной и большой дозой. Течение острой лучевой болезни зависит от следующих факторов: вида излучения, величины дозы и ее мощности, индивидуальных особенностей организма и внешних факторов.

Период общей первичной реакции длится 2-3 дня и характеризуется преобладанием нервно-регуляторных сдвигов, а именно рефлекторных (диспептический синдром), перераспределительными сдвигами в составе крови, нарушениями деятельности анализаторных систем. Кроме того, обнаруживаются симптомы прямого повреждающего действия на лимфоидную ткань и костный мозг – уменьшение числа лимфоцитов, гибель молодых клеточных элементов, возникновение хромосомных aberrаций в клетках костного мозга и лимфоцитов. В первый период лучевой болезни характерны изменения функций нервной системы: возбуждение сменяется угнетением и общей слабостью. Аппетит снижается, изменяется сердечная деятельность, наблюдается тахикардия, появляется одышка, иногда может повышаться температура тела. Слизистые оболочки гиперемированы, иногда с кровоизлияниями, усиливается перистальтика кишечника, появляются

поносы, редко – рвота. После угасания первичных реакций состояние облученных животных улучшается, наступает второй период болезни.

В зависимости от дозы облучения латентный период продолжается от 10-15 дней до 3-5 недель и характеризуется постепенным нарастанием патологических изменений в наиболее поражаемых органах (продолжающееся опустошение костного мозга, подавление сперматогенеза, развитие изменений в тонком кишечнике и коже) при некотором стихании общих нервно-регуляторных нарушений и, как правило, удовлетворительном самочувствии больных. К концу периода редко обнаруживается расстройство функции желудочно-кишечного тракта (поносы), бронхиты, пневмонии и кровоизлияния на слизистых оболочках. У некоторых животных выпадает шерсть. При тяжелой форме заболевания второй период болезни короткий, а также может отсутствовать вообще.

Переход к периоду выраженных клинических проявлений наступает в различные сроки, через 1-3 недели, для отдельных тканевых элементов, что связано с длительностью клеточного цикла, а также неодинаковой их адаптацией к действию ионизирующего излучения. Главный прогностический симптом заболевания является степень угнетения гемопоэза и снижение количества лейкоцитов в крови. Содержание эритроцитов падает медленнее и сопровождается анизоцитозом, пойкилоцитозом, появлением в крови эритробластов и мегалоцитов.

Ведущими патологическими механизмами являются:

- глубокое поражение системы дыхания, крови и ткани кишечника;
- изменение иммунитета;
- развитие геморрагических проявлений;
- интоксикация.

У некоторых животных за 1-2 дня до смерти повышается температура тела, возникает непродолжительная лихорадка постоянного или ремитирующего типа. Отмечается угнетение общего состояния и снижение аппетита. Кожа теряет эластичность, становится сухой. На слизистых

оболочках появляются кровоизлияния. Вследствие отека носоглотки, гортани и воспалительных процессов в легочной ткани затрудняется дыхание, появляется одышка. Также отмечают катарально-геморрагическое воспаление желудка и кишечника, которое часто сопровождается диарей и дистрофическими процессами в слизистой оболочке ротовой полости. Последовательность развития признаков болезни может значительно варьировать.

Период восстановления при легкой степени лучевой болезни проходит быстро. При тяжелой степени выздоровление совершается постепенно в течение 3-6 месяцев, однако, иногда болезнь может перейти в хроническую форму. При тяжело протекающей болезни восстановительный период длится 8-9 месяцев и полного выздоровления не наступает. У животных ослаблена репродуктивная функция, сокращается продолжительность жизни, сохраняется пониженная устойчивость к незаразным и заразным заболеваниям. Острое течение лучевой болезни при крайне тяжелой степени у животных длится 10-20 суток, и как правило, заканчивается гибелью животных.

При близости пострадавшего животного к источнику излучения уменьшение дозы облучения, поглощенной на протяжении его тела, оказывается весьма значительным. Часть тела, обращенная к источнику, облучается существенно больше, чем противоположная его сторона. Неравномерность облучения может быть обусловлена и присутствием радиоактивных частиц малых энергий, которые обладают небольшой проникающей способностью и вызывают преимущественно поражение кожи, подкожной клетчатки, слизистых оболочек, но не костного мозга и внутренних органов.

Выделяют четыре стадии острой лучевой болезни в зависимости от тяжести патологических изменений: легкую (доза 100-200 рад), средней тяжести (доза 200-400 рад), тяжелую (доза 400-600 рад) и крайне тяжелую (доза свыше 600 рад). При облучении в дозе менее 100 рад подразумевают

лучевую травму. В основе деления облучения по степени тяжести лежит четкий терапевтический принцип.

Острая лучевая болезнь легкой степени (на примере крупного рогатого скота). Общее состояние животных удовлетворительное, но у отдельных особей регистрируют тахикардию и тахипноэ. Количество лейкоцитов в крови снижается на 20-30%, Т- и В-лимфоцитов и иммуноглобулинов – на 5-10%.

Обычно продолжительность скрытого периода болезни около 2 недель. Общее состояние в эти дни остается в пределах видовой нормы, у некоторых животных отмечают диарею, снижается количество лейкоцитов до 4-5 тыс/мкл. В дальнейшем изменяются иммунологические показатели, к концу периода повышается содержание основных классов иммуноглобулинов.

Период разгара болезни короткий – 4-6 суток. В эти дни у животных наблюдают гиподинамию, перемежающуюся хромоту, они больше обычного лежат, корм принимают вяло, пьют воду. Количество лейкоцитов остается прежним, тромбоцитов – до 120-150 тыс/мкл, количество эритроцитов изменяется незначительно, а Т- и В-лимфоцитов продолжает уменьшаться. Выздоровление с полным восстановлением хозяйственно-полезных качеств происходит в течение 2-3 месяцев.

Пути хозяйственного использования: возможны единичные случаи гибели; убой животных на мясо возможен в любые сроки при нормальной температуре тела. Не рекомендуется использовать переболевших животных для воспроизводства товарного поголовья при постоянном врачебном контроле.

Острая лучевая болезнь средней степени (на примере крупного рогатого скота). Первый период лучевых реакций продолжается 1-1,5 суток. В первые часы регистрируют легкое беспокойство, своеобразную пугливость, тахикардию, тахипноэ, субфебрильную температуру тела, через 2-3 часа постепенно развивается угнетение, к концу суток снижается количество лейкоцитов на 40-60%. Содержание Т- и В-лимфоцитов уменьшается на 5-

15%, циркулирующих иммунных комплексов (ЦИТ) доходит до 20% исходных значений. Концентрация иммуноглобулинов всех классов повышается: А – на 5-7%, М – на 10-15 и G – на 20-30%.

Второй скрытый период болезни длится 10-12 суток. Вначале общее состояние животного удовлетворительное. Однако при движении часто появляется хромота, в стаде животное стремится занять крайнее место, увеличивается время лежания. Температура тела удерживается на нижних пределах или на $0,5-1^{\circ}\text{C}$ ниже нормы. Отмечают периодические нарушения функции желудочно-кишечного тракта (диарея), изменения интервалов жвачки, руминации преджелудков. В конце периода число лейкоцитов составляет 3-5 тыс/мкл, у отдельных животных наблюдают эритропению до 4-4,5 млн/мкл, тромбопению – до 140-180 тыс/мкл. Существенно изменяются иммунологические показатели: количество Т- и В-лимфоцитов снижается на 25-30% исходного уровня; увеличивается содержание ЦИК; уменьшается количество иммуноглобулинов. Гибель животных в этот период не наблюдают.

Третий период выраженных клинических признаков (разгара) средней степени лучевой болезни составляет 6-10 суток. При этом нарастают не только уже имеющиеся патологические сдвиги и нарушения, но и появляются новые виды патологии клеток и тканей организма. В третий период регенеративно-восстановительные процессы либо начинают преобладать и в итоге животное выздоравливает, либо патологические процессы сохраняют свое преимущество и приводят к гибели. В этот период наблюдают общее угнетение, снижение пищевой возбудимости, гиподинамия, отеки в области подгрудка и гортани у некоторых животных, у 30-40% поголовья мелкоточечные кровоизлияния на видимых слизистых оболочках, склере глаз, истечения из ноздрей. Снижаются удои молока и появляются его пороки. На 5-10% уменьшается масса тела животных. Отмечают тенденцию к гипотермии, за 1-2 суток до гибели возможно повышение температуры тела до $41-42^{\circ}\text{C}$.

Гематологические показатели следующие: лейкопения до 2,5-4 тыс/мкл, тромбоцитопения до 95-140 тыс/мкл, в 30-40% случаев диагностируют анемию с относительной активизацией эритропоэза. Снижается количество Т- и В-лимфоцитов в крови до 35-50% исходных значений, содержание ЦИК и иммуноглобулинов к концу периода достигает физиологического уровня. Уровень гамма-глобулинов остается повышенным до конца периода разрешения. Гибель животных при средней степени болезни составляет 18-25 суток. При патологоанатомическом вскрытии обнаруживают единичные и множественные кровоизлияния различных размеров и конфигураций в коже, подкожной клетчатке и на внутренних органах; гистологическими исследованиями выявляют дегенеративно-дистрофические изменения и застойную гиперемия внутренних органов.

Период восстановления после острой лучевой болезни средней степени продолжается у животных в течение 4-5 месяцев, при отсутствии симптоматической терапии возможна гибель. Сохраняются нарушения воспроизводительной функции. Пути хозяйственного использования больного и переболевшего скота: убой скота на мясо можно проводить в любые сроки, за исключением периодов гипертермии, сильного истощения, при выраженной диарее, агональном состоянии. От выздоровевших коров можно получать молоко, но использовать для воспроизводства стада не рекомендовано.

Острая лучевая болезнь тяжелой степени (на примере крупного рогатого скота). Период первичных реакций продолжается 1,5-3 суток. В течение первых 2-4 ч отмечают возбуждение животных, у отдельных особей мышечную дрожь, затем наступают угнетение и гиподинамия. Диагностируют тахикардию, тахипноэ, подъем температуры тела на 0,5-1⁰С. Изменяется картина крови: количество лейкоцитов уменьшается до 3-4,5 тыс/мкл, снижается на 15-20% содержание Т-лимфоцитов и на 10-15% В-лимфоцитов, количество ЦИК нестабильно, выявляют увеличение содержания иммуноглобулинов всех классов. У животных состояние

угнетенное, корм принимают неохотно, пьют воду, у некоторых отмечают кратковременную диарею. Через 2-3 суток болезнь переходит в состояние латентного периода продолжительностью 5-7 суток.

Как правило, в этот период общее состояние животных в целом удовлетворительное, но могут быть малоподвижными, вяло реагировать на корм, проявляться перемежающаяся хромота, хруст в суставах конечностей, преимущественно тазовых. Снижается температура тела на 1-2⁰С. Количество лейкоцитов продолжает снижаться до 2-4 тыс/мкл, происходит существенный сдвиг нейтрофильного ряда влево, содержание эритроцитов на нижней границе нормы, тромбоцитопения до 120-150 тыс/мкл. При исследовании иммунологических показателей устанавливают снижение числа Т- и В-лимфоцитов до 35-50% исходного уровня, ЦИК и иммуноглобулинов до 60-80%. Наблюдают гибель отдельных животных.

Период выраженных клинических признаков (разгара) болезни продолжается 10-15 суток. Для этого периода характерны: общее выраженное угнетение животных, гиподинамия, снижение либо полная потеря аппетита, у 15-30% животных отеки межчелюстного пространства и подгрудка, дыхание с хрипами, затрудненное. Нарастают признаки геморрагического синдрома – единичные и множественные кровоизлияния на видимых слизистых оболочках, гематурия, кровянистые истечения из ноздрей. Наблюдают жажду, гипотонию преджелудков, диарею (фекалии жидкие, водянистые, цвета разведенной желчи), тахикардию и одышку. Шерстный покров взъерошен, масса тела снижена на 10-20%. Кратковременно повышается температура тела, причем за 1-2 суток до гибели - в 100% случаев.

Гематологическими показателями во всех случаях выявляют общую панцитопению: количество лейкоцитов снижаются до 2-3 тыс/мкл; тромбоцитов – до 65-110 тыс/мкл; менее выражены изменения со стороны красной крови: у 40-50% коров количество красных кровяных телец составляет не более 3-4 млн/мкл; много незрелых и патологических форм

эритроцитов. Иммунологические показатели весьма низкие: глубокая лимфопения, количество Т-клеток уменьшается до 15-20%, В-клеток – до 25-30% начального уровня. Содержание ЦИК и ИГ всех классов остается пониженным. Процент гибели животных достигает 40-80, продолжительность жизни с момента заболевания до гибели 16-23 суток.

Если животное погибло в первые 10-15 суток, то при патолого-анатомическом вскрытии выявляют дистрофические изменения в сердечной мышце, гипоплазию кроветворной ткани, в отдельных случаях выраженной геморрагический диатез, уменьшение селезенки, отечность и дряблость печени, некротические и атрофические процессы во всех органах и тканях.

В период восстановления функций и структур организма при острой лучевой болезни тяжелой степени у крупного рогатого скота не отмечают. Удовлетворительное состояние наступает через 6-7 месяцев. Однако возникает необратимая потеря большей части хозяйственно полезных качеств, повышенный уровень заболеваемости различной этиологии, сокращение продолжительности жизни.

Наиболее приемлемым способом хозяйственного использования крупного рогатого скота, заболевшего острой лучевой болезнью тяжелой степени, считают убой на мясо в первые 8-12 суток после облучения. При относительно благоприятном течении болезни убой возможен в любое время, за исключением тех ситуаций, когда у животного повышена температура, сильное истощение или агональное состояние. После проведения ветеринарно-санитарной экспертизы полученное мясо допускают для использования в пищу.

Острая лучевая болезнь крайне тяжелой степени (на примере крупного рогатого скота). Первый период реакций лучевой болезни крайне тяжелой степени очень короткий – 6-24 ч. Он начинается с выраженного возбуждения, при этом учащается пульс, дыхание, усиливается перистальтика кишечника, повышается температура тела. Через 2-4 ч возбуждение переходит в угнетение, первичная лихорадочная реакция

угасает. Животное больше лежит, корм не принимает, пьют воду. Количество лейкоцитов к концу суток снижается до 2-3 тыс/мкл, незначительно уменьшается количество эритроцитов и гемоглобина в крови. Отмечают снижение уровня Т- и В-лимфоцитов, количество ЦИК увеличивается на 20-30%.

Период скрытого течения крайне тяжелой степени лучевой болезни выражен слабо и постепенно переходит в период разгара болезни. Улучшение клинического состояния диагностировать затруднительно. Признаки улучшения общего состояния, появления аппетита обычно неустойчивы. У 25-40% животных наблюдают кровянистые истечения из ноздрей, анемичность конъюнктивы, диарею, мелкоточечные кровоизлияния на видимых слизистых оболочках, тахикардию и тахипноэ. При общей тенденции к гипотермии диагностируют кратковременные периоды повышения температуры тела за 1-2 суток до гибели до 41,5-42⁰С. В процессе исследования крови диагностируют глубокую панцитопению со сдвигом влево: Т- и В-лимфопению до 15-30%, снижение уровня ЦИК до 50-60% исходного значения, глубокую гипопроотеинемию. Гибель животных к этому времени достигает 30%.

Период выраженных клинических признаков болезни можно условно ограничить 5-15 суток. Для этого периода характерны депрессия, залеживание животного, отсутствие пищевой возбудимости, диарея, исхудание. Видимые слизистые оболочки бледные, с единичными и множественными точечными кровоизлияниями. За 1-2 суток до гибели наблюдают кровотечение из носа и состояние прострации. За 2-3 суток до гибели температура тела животного увеличивается до 42⁰С, пульс и дыхание учащаются.

При гематологических исследованиях диагностируют выраженную панцитопению, количество лейкоцитов снижается до 1,5-2,5 тыс/мкл, тромбоцитов – до 50-70 тыс/мкл, эритроцитов – до 3-3,5 млн/мкл. Вплоть до гибели продолжает нарастать глубокая депрессия основных популяций

лимфоцитов, снижается уровень ЦИК и основных классов иммуноглобулинов. Продолжительность жизни облученных животных составляет 5-20 суток, а процент гибели увеличивается до 90-100%.

Патологоанатомические изменения у погибших животных при острой лучевой болезни крайне тяжелой степени сходны с таковыми при острой лучевой болезни тяжелой степени.

Хозяйственное использование животных при острой лучевой болезни крайне тяжелой степени: с первых дней заболевания до агонального состояния животных можно осуществлять убой на мясо и использовать в пищу после ветеринарно-санитарной экспертизы. Запрещено убивать животных, больных лучевой болезнью, при повышенной и высокой температуре тела, в истощенном и агональном состояниях. Наиболее рациональный срок убоя скота на мясо – первые 5 суток болезни [1, 3, 6, 9].

Хроническая лучевая болезнь может возникнуть в течение длительного времени в результате многократно повторяющегося облучения малыми дозами и характеризуется длительностью и волнообразностью течения. Она может быть и следствием острой лучевой болезни.

Как при остром, так и при хроническом течении лучевой болезни поражаются почти все системы и органы животного. Вначале болезнь проявляется в виде функциональных нарушений, приводящие к потере хозяйственно-полезных качеств животных. При этом отмечают дистрофию органов, резкое угнетение кроветворения, снижение регенерации тканей и естественной иммунобиологической сопротивляемости к возбудителям инфекций, развивается бесплодие. Через некоторое время возможно развитие лейкоза и злокачественных образований.

По тяжести течения различают: 1) легкую (первую) степень хронической лучевой болезни, характеризующуюся слабовыраженными сдвигами в морфологическом составе крови, обратимыми функциональными нарушениями сердечнососудистой системы и желудочно-кишечного тракта. Количество клеток в крови остается на нижней границе нормы. Иногда

отмечают тромбоцитопению, лабильность кровяного давления. Наблюдается ранее старение организма; 2) средняя (вторая) степень хронической лучевой болезни проявляется более выраженным угнетением функций органов кроветворения, наблюдаются геморрагические явления. Из-за снижения количества лимфоцитов и нейтрофилов число лейкоцитов в крови постепенно снижается, развивается тромбоцитопения, артериальное давление также снижается. Возникают выраженные диспепсические расстройства, сопровождающиеся поносом и соответственно снижением массы тела. Нарушается обмен веществ, функции желез внутренней секреции. Болезнь может осложняться различными инфекционными болезнями, в результате чего возможен смертельный исход; 3) тяжелая (третья) степень хронической лучевой болезни характеризуется возникновением необратимых изменений в организме, прогрессирующим ухудшением общего состояния. Проявляются все синдромы, характерные для данной болезни, у животных выпадает шерсть. В результате иммунобиологического синдрома развиваются осложнения инфекционной природы, обуславливающие гибель животного.

Видовые особенности течения лучевой болезни у сельскохозяйственных животных. К основной видовой особенности лучевой болезни у животных относят величину доз внешнего общего гамма-облучения, вызывающую острую лучевую болезнь легкой, средней, тяжелой и крайне тяжелой степеней, представленных в таблице 3.

У молодняка и ремонтного стада реакции организма на лучевое воздействие проявляются так же, как и у взрослых особей данного вида, однако доза облучения для развития такого же эффекта на 20-30% меньше, чем дозы для взрослых животных.

К видовым особенностям патогенеза лучевой болезни у свиней, лошадей и других животных относят степень развития геморрагического синдрома. Проявление геморрагического синдрома у животных выражено неодинаково. По убывающей степени клинического проявления синдрома виды животных

располагают в следующий ряд: высшие обезьяны, собаки, свиньи, лошади, крупный рогатый скот, овцы, кошки, мыши, крысы.

Таблица 3 - Дозы однократного внешнего гамма-облучения, вызывающие острую лучевую болезнь у животных

№	Вид животного	Степень болезни и дозы облучения, Гр			
		легкая	средняя	тяжелая	крайне тяжелая
1	Лошадь	1,5-2,0	2,0-4,0	4,0-6,0	6,0 и более
2	КРС	1,5-2,0	2,0-4,0	4,0-6,0	6,0 и более
3	Овца	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-6,0	6,0 и более
4	Свинья	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	4,5 и более
5	Коза	1,0-1,5	2,0-3,5	4,5-6,0	7,0 и более
6	Куры	3,0-4,0	5,0-6,0	6,0-8,0	8,0 и более
7	Собака	2,0-2,5	2,5-3,5	3,5-6,0	6,0 и более
8	Соболь	1,0-1,5	1,5-2,5	2,5-4,0	4,0 и более
9	Норка	1,0-1,5	1,5-2,5	2,5-4,0	4,0 и более
10	Лисица	1,5-3,5	3,5-5,5	5,5-7,5	7,5 и более
11	Крыса	2,5-4,0	4,0-6,0	7,0	9,5 и более
12	Мышь	2,5-4,0	4,0-5,0	6,0	8,0 и более

Лучевое поражение желудочно-кишечного тракта наиболее выражено у животных с однокамерным желудком. Так, у свиней, собак, кошек, пушных зверей, облученных в полулетальных и летальных дозах, уже через 1 ч и более появляются тошнота, рвота, понос (у лошадей только понос), которые исчезают через 1-3 суток, а к концу латентного периода и в разгар болезни появляются снова.

Пострадиационные реакции красного костного мозга у крупных животных обнаруживают позднее, чем у мелких (собак, овец, свиней, крыс).

Ранние изменения при общем внешнем облучении животных наблюдаются на коже. Видовые реакции кожи на лучевое воздействие связаны с ее структурой. У овец особенностью реакции является эпиляция, которая появляется спустя 3-8 суток в зависимости от дозы и энергии излучения. Восстановление шерстного покрова у выживших после летального облучения

овец происходит в течение нескольких лет. Кроме того, при этом может измениться окраска волос.

При облучении у свиней возникает покраснение кожи и кровоизлияние в ее структуры (ранее покраснение кожи являлось мерой облучения и ее называли кожно-эритемной дозой). К ранним изменениям в коже обычно относят лучевые ожоги.

После облучения у коров и лошадей редеет волосяной покров, а в поздние сроки появляются злокачественные новообразования на коже.

При воздействии ионизирующего излучения на глаза у животных наблюдают нарушения в разных отделах глазного яблока: сосудистую реакцию, конъюнктивит, изменения сетчатки глаза, гибель палочек, потерю зрачковых рефлексов и временную или постоянную потерю зрения. При облучении хрусталика может развиваться лучевая катаракта, которая чаще возникает при инкорпорации в кости глазницы альфа- и бета-излучателей, например, ^{210}Pu , ^{90}Sr и др. В патогенезе лучевой катаракты выделяют латентный период, продолжительность которого обратно пропорциональна дозе. У молодых животных катаракта возникает при меньших дозах воздействия. С возрастом снижается регенеративная способность структур глаза.

Существенные различия радиочувствительности имеют половые железы: яичники и семенники. Во-первых, отмечают возрастные различия. У молодых животных в период морфологического и функционального становления радиорезистентность этих желез низкая, затем во взрослом состоянии максимально высокая и в старческом возрасте снова низкая.

Клинические проявления поражения животных ^{131}I связаны с периодом формирования и величиной поглощенных доз излучения в щитовидной железе. Особенности патогенеза являются функциональные и морфологические изменения в органах и тканях организма, ведущие к сокращению срока жизни, снижению продуктивности и воспроизводительной функции животных, пораженных радиоактивными

изотопами йода, и снижению жизнеспособности и продуктивности их потомства. Тяжесть изменений в организме при этом находится в прямой зависимости от степени радиационного поражения щитовидной железы.

Острая и хроническая лучевые болезни у лошадей, крупного рогатого скота, овец, свиней, промысловых и лабораторных животных имеют общую закономерность патогенеза. Основные клинические признаки у этих видов животных практически одинаковы [6, 9].

Пути хозяйственного использования животных, больных острой лучевой болезнью. Животных, подвергшихся внешнему гамма-облучению в дозе, приводящей к лучевому поражению легкой степени, используют по назначению без ограничений. Убой разрешен в любое время. При средней степени тяжести лучевой болезни животных направляют на убой также в любое время после поражения.

При общем внешнем облучении в дозах, вызывающих лучевые поражения крайне тяжелой и тяжелой степеней, лечение животных товарного назначения экономически нецелесообразно и они подлежат убою по обычной технологии.

Убой проводят в ранние сроки после облучения (не позднее первых 10 суток) – до развития обсеменения мышц.

Используют без ограничений туши и органы животных, убитых в скрытый период при отсутствии показателей для бактериологического исследования.

При убое животных в период разгара лучевой болезни вопрос об использовании мяса решают на основании результатов бактериологического исследования.

В связи с тем, что нарушение углеводного обмена у пораженных животных изменяют процесс созревания мяса, его биохимию, для сохранения качества продуктов переработки принимают меры к их быстрой реализации, устанавливают жесткий контроль за соблюдением условий и сроков хранения.

Облучение животных в дозах, вызывающих легкую степень лучевой болезни, приводит к снижению молочной продуктивности. У лактирующих животных при лучевой болезни средней степени тяжести секреторная деятельность молочной железы нарушается, надои в разгар поражения уменьшаются. Однако через 3-5 недель у животных, перенесших лучевую болезнь в первой половине лактации, надои восстанавливаются на 70-90%.

Молоко, полученное от животных с легкой и средней степенями тяжести лучевой болезни, по органолептическим, технологическим свойствам (цвет, вкус, запах, плотность, кислотность, вязкость, термоустойчивость и др.), химическому составу (содержание белка, жира, лактозы, минеральных веществ и др.), а также по биологической ценности не отличается от молока здоровых животных.

Молоко, надоенное до проявления клинических признаков лучевой болезни и удовлетворяющее ветеринарно-санитарным требованиям, используют без ограничений. При появлении характерных клинических симптомов заболевания повышается бактериальная обсемененность молока, в том числе микроорганизмами из группы пищевых токсикоинфекций. Поэтому молоко пастеризуют при температуре 95⁰С в течение 20 мин и реализуют на общих основаниях. Пастеризацию молока проводят на протяжении 30-50 суток после воздействия ионизирующих излучений на животных.

При крайне тяжелой и тяжелой степенях лучевой болезни у лактирующих животных надои резко уменьшаются, а затем лактация прекращается.

Качество полученного молока сильно ухудшается: уменьшается количество жира, увеличивается сухой остаток и удельный вес, повышается кислотность, изменяется химический состав.

Значительную микробную обсемененность имеет молоко, его биологическая ценность резко снижается. Такое молоко можно использовать после кипячения только в хозяйственных целях, или его уничтожают.

При крайне тяжелой степени лучевой болезни у птиц яйцекладка прекращается; при тяжелой степени лучевого поражения яйценоскость резко снижается и при благоприятном исходе в дальнейшем остается низкой. Облучение кур-несушек дозой, вызывающей лучевую болезнь средней степени тяжести, приводит к снижению яйценоскости. Яйца, полученные от птиц, подвергшихся внешнему облучению, при отсутствии противопоказаний по органолептическим, биохимическим и бактериологическим показателям используют в пищу.

Количество и качество шерсти, а также шкур от облученных животных сильно снижаются. В разгар острой лучевой болезни развивается эпиляция (особенно у овец и коз), в связи с чем часть шерсти выпадает. В дальнейшем шерстный покров частично восстанавливается, но иногда он теряет пигментацию. У овец снижается настриг, ухудшается качество шерсти: она становится сухой, ломкой, матовой, содержание цистина и цистеина уменьшается. Качество такой шерсти низкое, и ее не подразделяют на классы. Товарная ценность шкур тоже снижается. Шкуры животных, убитых в разгар острой лучевой болезни и павших, относят к низким сортам или к несортным [1, 6, 8].

Диагностика лучевой болезни разработана недостаточно, особенно в первые четверо суток радиационного поражения для постановки диагноза. В связи с тем, что конкретных специфических признаков лучевой болезни нет, то диагноз ставят на основании анамнеза, дозиметрических данных, клинических признаков болезни, гематологических, морфологических, иммунобиологических и других лабораторных исследований. Диагностику *острой лучевой болезни* проводят по результатам физической дозиметрии, наиболее точно устанавливающей дозу радиации и тяжесть поражения, и комплексу биологических данных. Цель физической дозиметрии – определение поглощенных доз облучения в отдельных органах, тканях, частях тела и во всем организме. В то же время, во многих случаях физическая дозиметрия не дает достоверных данных, например, после

непредвиденного облучения, неравномерного радиационного воздействия в следствие индивидуальной реакции на облучение. Кроме того, при использовании ядерного оружия, при возникновении радиационных аварий или стихийного, неконтролируемого облучения – данные физической дозиметрии не возможно использовать для постановки диагноза.

В данной ситуации важное значение принадлежат клиническим и лабораторным методам исследования. Эти методы исследования принято называть биологическими индикаторами, или биодозиметрами (маркерами биологической дозиметрии) радиационного воздействия. Биологические показатели радиационного поражения классифицируют с учетом методических и патогенетических подходов, поэтому биологические индикаторы лучевых поражений подразделяют на пять групп: цитогенетические, гематоморфологические, биофизические, биохимические и иммунологические.

Основу требований к индикаторам лучевого поражения составляют: зависимость их количественного выражения от поглощенной дозы ионизирующего излучения в широком диапазоне доз и времени после радиационного воздействия, способность реагировать на воздействие ионизирующих излучений сильнее, чем на нерадиационное повреждение, доступность необходимого биологического материала, простота его получения в полевых условиях, ненанесение дополнительной травмы организму и прочее. Часто в ветеринарной практике используют классификацию, основанную на методических подходах.

Известно, что ведущим звеном в развитии острой лучевой болезни является поражение органов кроветворения – костного мозга, тимуса, селезенки, лимфатических узлов, поэтому наиболее часто используют в качестве биологических индикаторов степень лейкопении, лимфопении, нейтропении, тромбоцитопении.

Скорость уменьшения числа клеток крови тем выше, чем короче продолжительность их циркуляции после выброса из костного мозга. В

первые сутки после воздействия радиации диагностируют нейтрофильный лейкоцитоз. Чем выше доза облучения, тем четче и продолжительнее развивающийся нейтрофильный лейкоцитоз. Выброс в кровяное русло большого числа зрелых нейтрофилов связан с воздействием на костный мозг экстрамедуллярных факторов, катехоламинов и других биологически активных веществ. Лимфоциты погибают в ранние сроки после облучения, соответственно их уровень в крови быстро снижается. В результате чего уменьшение количества лимфоцитов в крови можно обнаружить через несколько минут после облучения, а к 3-4 суткам их количество снижается до минимального уровня. Динамика количества тромбоцитов после облучения имеет сходство с изменениями количества нейтрофилов. К концу 3-4-й недели после облучения в среднететальных дозах количество тромбоцитов достигает 5-8% нормального уровня.

Для определения тяжести лучевой болезни и прогнозирования ее исходов применяют в ранние сроки (первые 7 суток после облучения) следующие показатели: степень опустошения венозной крови лейкоцитами; нейтрофильный индекс костного мозга – количество сегментоядерных клеток; свертываемость крови; величину оптической плотности суспензии тромбоцитов и лимфоцитов.

В ветеринарии применяют несколько способов и методов прогнозирования исходов острой лучевой болезни животных, вызванной внешним гамма-облучением: по изменению активности щелочной фосфатазы в плазме крови, уровню нуклеиновых кислот и активности изоферментов карбоновых кислот в крови.

Под влиянием радиации возникают и изменения в органах эндокринной системы. Так как выделяют изменение показателей первичных реакций в системе гипоталамус-гипофиз-щитовидная железа.

На сегодняшний день разработаны цитогенетические методы биологической индикации дозы облучения. При остром внешнем облучении для этих целей используют подсчет аберрантных клеток из пунктатов

костного мозга без культивирования («прямые» препараты), а также в культурах лимфоцитов периферической крови и костного мозга.

Однако, несмотря на высокую чувствительность цитологических и цитогенетических методов, методическая трудоёмкость затрудняет их внедрение в практику работы как медицинских, так и ветеринарных специалистов.

Хроническую лучевую болезнь у сельскохозяйственных животных диагностируют при длительном внешнем или внутреннем облучении с мощностью дозы до нескольких сантигрей в сутки. Болезнь развивается постепенно, с незначительными клиническими признаками, однако приводит к потере массы тела у животных и снижению их продуктивности. Для диагностики хронической лучевой болезни используют те же методы, как и при острой лучевой болезни.

Повреждение системы крови существенны, но характер развития процесса значительно отличается от острого воздействия. Своеобразной особенностью изменений гемопоэза при длительном облучении является стабилизация числа клеток на нормальном или субнормальном уровне. Изменения принципиально однотипны как при непрерывном облучении, так и в случае, если суточная доза воздействует ежедневно в течение короткого промежутка времени (фракционированное облучение).

Выраженность изменений в периферической крови и в костном мозге в ответ на воздействие длительного облучения зависит от суточной лучевой нагрузки. При ежедневной дозе 0,005-0,01 Гр в течение длительного времени отмечают постепенное снижение уровня лимфоцитов. Содержание других клеток в костном мозге и крови не меняется.

Повышение суточной дозы до 0,01-0,02 Гр обуславливает кроме лимфопении кратковременное снижение числа миелокариоцитов и лейкоцитов крови. Часто в последующем, несмотря на продолжающееся облучение, клеточность кроветворных органов и крови восстанавливается до нормальной величины и длительное время поддерживается на этом уровне.

В широком диапазоне мощностей доз (от 0,02 до 0,2 Гр/сут) начальное уменьшение числа клеток сменяется в последующем его нарастанием, однако, исходный уровень не достигается, а стабилизация числа клеток поддерживается на субнормальном уровне.

При более высоких суточных дозах уменьшение числа клеток в периферической крови и костном мозге прогрессируют вплоть до смерти.

Характерной особенностью реакции системы крови на длительное облучение является увеличение относительного, а при небольших суммарных дозах и абсолютного содержания эритробластических элементов в костном мозге, тогда как число предшественников других ростков уменьшается. Соответственно при уровнях доз, при которых обнаруживают изменения в крови, содержание эритроцитов и гемоглобина долго сохраняется нормальным при уже сниженном числе гранулоцитов и в еще большей степени тромбоцитов.

Восстановительные процессы в кроветворной системе после окончания длительного облучения начинаются с увеличения числа стволовых костномозговых клеток. При этом степень восстановления числа стволовых костномозговых клеток тем меньше, чем выше была суммарная доза. Кроме того, ветеринарные врачи используют в практике для постановки диагноза методические рекомендации по мониторингу окружающей среды, диагностике, профилактике и терапии болезней животных, данные диспансеризации сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами.

Профилактика лучевых поражений заключается в защите животных от воздействия ионизирующих излучений. Противолучевые мероприятия включают в себя физическую, фармакохимическую и биологическую защиты.

Физический способ заключается в укрытии животных в помещениях. В зависимости от плотности материалов постройки уровень радиационного воздействия на организм снижается в 10 раз и более. Можно защитить

органы и ткани местно, т.е. к отдельным участкам тела прикладывают свинцовые пластинки или другие плотные материалы. В первую очередь необходимо экранировать живот, селезенку, печень, грудь, таз. Выживаемость животных при использовании местной защиты увеличивается на 50% и более.

В то же время данный способ не практичен, так как зачастую нет возможности разместить всех животных в животноводческих помещениях с коэффициентом ослабления, равным хотя бы 10, а тем более нет возможности осуществить местную защиту органов и тканей большому поголовью.

Фармакохимическая защита представляет собой в значительном уменьшении поражающего действия с помощью радиопротекторов. Радиопротекторы – это вещества, которые при введении животным за 10-60 минут до облучения на 50-100% защищают их от доз, вызывающих 100%-ую гибель в контроле. Действие радиопротекторов основано на защите костного мозга и других гемопоэтических тканей, поэтому них целесообразно использовать для профилактики поражений, вызываемых облучением в «костномозговом» диапазоне доз (1-10 Гр).

К наиболее эффективным препаратам относят серосодержащие радиопротекторы – меркаптоэтиламин, его дисульфид, цистамин и производные этих соединений – цистафос, гаммафос и др. Данные препараты применяют внутрь, продолжительность их противолучевого действия составляет 3-4 ч, после чего при необходимости требуется повторный прием радиопротектора.

К числу препаратов, обладающих радиозащитным действием, относят биологически активные амины и их фармакологические агонисты (серотонин, адреналин, мезатон, клонидин и др.).

Радиопротекторы подразделяют на три группы: экстренного и длительного действия, многократного применения.

Радиопротекторы экстренного действия применяют в условиях воздействия на организм внешнего гамма- или гамма-нейтрального излучения с большой мощностью дозы. Их защитное действие проявляется через 15-20 минут после приема внутрь и сохраняется в течение 1-2 ч.

Радиопротекторы длительного действия повышают резистентность организма на 7-10 суток. Вторая особенность протекторов данной группы заключается в том, что их эффективность должна проявляться при воздействии как кратковременного, так и пролонгированного облучения. Протекторами длительного действия являются два препарата: индометофен и амитетравит.

Препарат многоразового применения рибоксин назначают внутрь однократно за 1 ч до вхождения в зону с повышенным уровнем излучения. Время эффективного действия 2 ч. Механизм действия основан на рецепторной активации ферментов репарации в кроветворных клетках.

Все средства повышения радиорезистентности организма разделяют на две группы: 1) средства защиты от поражающих доз облучения; к ним относят препараты, обладающие достаточно выраженным противолучевым действием, т.е. они предупреждают или ослабляют ближайшие последствия внешнего облучения в дозах, вызывающих острую лучевую болезнь; 2) средства защиты от субклинических доз. В данную группу входят препараты, имеющие относительно низкую противолучевую активность, но способные снижать выраженность неблагоприятных последствий облучения в дозах, не вызывающих развития клинических проявлений лучевой патологии.

Механизм противолучевого действия средств повышения радиорезистентности организма принципиально отличается от реализации эффекта радиопротекторов кратковременного действия, т.е. непосредственно не связан с первичными радиационно-химическими и биохимическими процессами в клетках. Основное значение в противолучевом действии средств повышения радиорезистентности имеет их способность мобилизовать защитные системы организма и активизировать процессы

пострадиационной репопуляции костного мозга и восстановление всей системы крови.

Группа средств биологической противолучевой защиты представлена препаратами, относящимися к различным классам (иммуномодуляторы, гормональные препараты, нуклеиновые кислоты, микроэлементы и др.).

Противолучевое действие оказывают тетравакцины, вакцина их кишечной палочки, брюшнотифозная вакцина, БЦЖ, оспенная, вируса Ньюкасла, гриппа, очищенных эндотоксинов. Вакцинация является не только эффективным противолучевым мероприятием, но и повышает антиинфекционную резистентность облученных животных.

Кроме того, радиационный эффект выявили при иммунизации овец вакцинами против сибирской язвы, вакциной против бешенства, свиной вакциной ЛК-ВНИИВВиМ против классической чумы свиной при использовании вакцин за 30 суток до облучения, вызывающего лучевую болезнь тяжелой степени. У вакцинированных животных, выживших после радиационного воздействия, сохраняется устойчивость к последующему заражению вирулентными возбудителями.

В качестве стимуляторов радиорезистентности также используют цитокины, интерлейкины, гормоны тимуса. В перспективе рассматривается применение тканевых факторов, экстрагированных из разных органов. Низкомолекулярные фракции экстрактов, полученных из селезенки облученных доноров, оказывают высокий радиозащитный эффект при их введении подопытным мышам за 1-3 суток до облучения. Радиоустойчивость организма повышается также и при применении сывороточных белков, аутокрови, подвергнутых предварительному облучению в стерилизующих дозах.

Биологическая защита заключается в использовании адаптогенов, т.е. веществ, повышающих общую сопротивляемость организма к радиации. К их числу относят прополис, женьшень, мумие, китайский лимонник, микроэлементы и др. В механизме действия адаптогенов могут быть:

ослабление морфологических и биохимических проявлений стрессовой реакции; положительное влияние на кору надпочечников; препятствие появлению кровоточащих изъязвлений в желудке; увеличение пролиферации кроветворных клеток; повышение иммунологической реактивности.

Таким образом, для проведения профилактических мероприятий при угрозе радиационного поражения организма существует целый арсенал средств, позволяющих не только снизить степень проявления радиационных поражений, но и значительно увеличить сохранность животных. К сожалению, многие из известных в настоящее время радиопротекторов далеко не совершенны и требуют доработки, проведения основных экспериментов на крупных и животных и в условиях, максимально приближенных к реальным.

Лечение лучевой болезни в настоящее время разработано недостаточно. Патология при этом многообразна, поэтому лечение должно быть комплексным, при помощи заместительной и функциональной терапии. Однако, следует учитывать: чем больше доза облучения, тем меньше терапевтический эффект.

Лечение животных при внешнем облучении начинают прежде всего с улучшения условий содержания. Лечение проводят с учетом общего состояния животных и в соответствии с периодами течения лучевой болезни. После облучения в первые сутки назначают антибиотики с целью профилактики инфекционных осложнений: бициллин-3, дитетрациклин. Для того, чтобы не возникло привыкания к антибиотикам, их периодически меняют. Сульфаниламидные препараты обладают лейкопеническим действием, поэтому их не рекомендуют использовать. Для стабилизации функций нервной системы рекомендуют препараты брома, из сердечных средств – кофеин.

В качестве снижения первичной реакции на облучение рекомендуют нейрорептик из ряда фенотиазина – этаперазин, противорвотные препараты из группы метоксибензамида – метоклопрамид, диметопрамил, диметкарб,

диксафен. К новому поколению селективных противорвотных препаратов относят трописетрон (новобан) и латран (зафран) из подкласса блокаторов рецепторов серотонина. Для купирования неукротимой тяжелой рвоты могут быть использованы нейролептики – аминазин, галоперидол. Для купирования постлучевой диареи применяют метацин.

В связи с тем, что при облучении критической системой является кроветворная, то первостепенной задачей заместительной терапии служит восполнение клеточных элементов крови. Животным вводят кровь или кровезаменители и рекомендуют вводить димедрол под кожу 2-3 раза в день с целью уменьшения интоксикации. В период первичных реакций для профилактики внутривенно вводят 10%-ный водный раствор хлористого кальция, а также витамины для укрепления стенок кровеносных сосудов и нормализации системы свертывания крови.

В скрытый период течения лучевой болезни продолжают использовать средства, укрепляющие стенки кровеносных сосудов, назначают витамин С, который регулирует уровень и интенсивность окислительно-восстановительных процессов в клетках и обладает диуретическим свойством. Животным взамен витаминов можно скармливать зеленую траву (люцерну, смесь красного клевера с тимофеевкой), травяную муку, заготовленную в период цветения. Как известно, в скрытый период продолжает снижаться содержание форменных элементов крови, поэтому для стимуляции кроветворения назначают витамин В₁₂. Он ускоряет созревание эритроцитов в костном мозге и влияет на синтез гемоглобина. Для снижения интоксикации вводят димедрол, для профилактики инфекционных осложнений – антибиотики.

Наиболее сложные лечебные мероприятия проводят в разгар лучевой болезни. Они направлены на замедление развития агранулоцитоза, стимуляцию лейкопоза, уменьшение кровоточивости, устранение кишечного синдрома. В этот период кроме антибиотиков и витаминных препаратов рекомендованы вяжущие средства типа дубильных веществ,

перманганат калия, также назначают экстракт или настой двудомной крапивы. Пристальное внимание обращают на качество и подготовку кормов, так как рацион должен быть по питательности полноценным. Грубые корма предварительно обрабатывают, корм скармливают небольшими порциями, вода вволю. В связи с тяжелым поражением слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта режим кормления и диета должны быть щадящими.

В период выздоровления применяют средства, стимулирующие кроветворение, обмен веществ, симптоматические средства, поддерживающие и улучшающие деятельность всех органов и систем, пораженных в той или иной степени ионизирующего излучения.

По мере исчезновения признаков нарушения тех или иных функций леченые мероприятия постепенно прекращают. Витаминотерапию и стимуляторы лейкопоза назначают и после клинического выздоровления животного.

При лечении животных *при внутреннем поражении* радиоактивными веществами лечебные мероприятия направлены на снижение всасывания радиоактивных веществ и ускорение выведения их из организма. Для сокращения всасывания радиоизотопов пораженным животным как можно раньше вводят следующие адсорбирующие средства: барий сернокислый, уголь, костная мука, белая глина. Через 20-30 минут рекомендуют выпаивать солевые слабительные – глауберову соль, при 3-х кратном повторе через 12, 24 и 48 ч.

Для уменьшения всасывания их желудочно-кишечного тракта ^{137}Cs животным вводят внутрь фероцианид кобальта. Данные меры, принятые в ближайшие 60 минут после поступления в организм радиоактивных веществ, уменьшают всасывание радиоизотопов в пищеварительном тракте примерно в 10 раз. Для защиты щитовидной железы от накопления в ней изотопов йода животным вводят йодид калия в дозе 2,5 г крупным и 0,25 г мелким животным 1-2 раза в день.

При ингаляционном пути поступления радионуклидов в организм животным назначают отхаркивающие средства: хлористый аммоний (0,5-3 г) или рвотный корень (8-15 г).

Для ускорения выведения радионуклидов из крови применяют мочегонные средства, диуретики, а для ускорения выведения всосавшихся радиоизотопов используют вещества, образующие комплексы с радионуклидами – пентацин и цеолиты.

Основные лечебные мероприятия проводят так же, как и при острой лучевой болезни, вызванной внешним облучением. [3, 7, 8].

Лучевые поражения кожи. Различные виды ионизирующей радиации вызывают идентичные изменения тканей, но их проникающая способность не одинаковая. Глубина проникновения α -частиц составляет несколько десятков микрометров (задерживаются роговым слоем), β -частиц – 2-4 мм (поглощаются собственно кожей), рентгеновские, γ -лучи и нейтроны пронизывают все тело человека. Характер лучевой реакции кожи определяется главным образом величиной дозы облучения. Определенное значение имеют также индивидуальная чувствительность организма в целом и различных участков кожного покрова, пол и возраст.

При воздействии ионизирующей радиации изменения кожи могут возникать непосредственно после экспозиции, в месте их воздействия (дерматиты) и у пораженных лучевой болезнью как одно из ее проявлений.

Различают острые и хронические лучевые поражения кожи. В течение короткого времени при однократном облучении сравнительно небольшими дозами жестких лучей острые лучевые поражения кожи. Хронические лучевые поражения кожи возникают после многократных облучений небольшими дозами ионизирующей радиации на протяжении длительного времени или как отдаленное последствие бывших острого буллезного или некротического лучевых дерматитов. В клинической картине острых лучевых поражений различают раннюю лучевую реакцию кожи, лучевую алопецию и острый лучевой дерматит.

Ранняя лучевая реакция наблюдается в течение нескольких часов в 1-2-е сутки после облучения дозой не менее 3 Гр и характеризуется развитием отечной эритемы, сопровождающейся ощущением легкого зуда и напряженности кожи. Разрешается без следа. Лучевая алопеция развивается в течение 2-й недели после облучения в дозах 3,75-4,5 Гр. Выпадают длинные волосы, могут выпадать щетинистые, подпушковые не выпадают. Через 1,5-2 месяца рост волос возобновляется. Волосяной покров восстанавливается полностью.

Проявления лучевого дерматита могут возникать и в 1-й день, и через 2 месяца после облучения, что зависит от дозы последнего: чем оно интенсивнее, тем короче латентный период и тем длительнее течение дерматита.

Острый эритематозный лучевой дерматит возникает через 3-4 недели после облучения в дозах 8-12 Гр. Эритема имеет фиолетовый или голубой оттенок, отечна, волосы в ее области выпадают. Ощущается жжение, зуд и боли. Позже развивается стойкая пигментация. Острый буллезный лучевой дерматит развивается через 10-14 дней после облучения в дозе 12-20 Гр. Клинически проявляется резко выраженной отечной гиперемией с багровым оттенком, на фоне которой в последующие дни образуются пузыри с прозрачным содержимым. Волосы в пораженной области выпадают. Регионарные лимфатические узлы увеличиваются, может быть температурная реакция. Субъективно - жжение, боль. Разрешается процесс медленно и заканчивается через 1,5-3 мес. Впоследствии на месте облучения развиваются явления хронического лучевого дерматита. Острый некротический лучевой дерматит возникает через 2-5 дней после облучения в дозе свыше 25 Гр. В месте облучения кожа приобретает багрово-синюшный цвет, нарастает отек, появляются пузыри и участки некроза. После отторжения некротизированных тканей обнажаются язвы с подрытыми инфильтрированными краями и дном, покрытым характерным желтовато-грязным налетом (ранние лучевые язвы). Общее состояние тяжелое, высокая

лихорадка, регионарный аденит. Болевой синдром выражен. Регенерация протекает вяло и длительно.

Острый дерматит от радиоактивных веществ развивается на открытых участках тела и клинически не отличается от острых лучевых дерматитов, вызванных другими видами ионизирующей радиации. Выделяют хронические лучевые дерматиты и поздние лучевые дерматозы (индуративный отек, поздние лучевые язвы, лучевой рак), возникновению которых предшествует длительный латентный период (годы). Хронический лучевой дерматит начинается с постепенно развивающейся сухости кожи, шелушения, дисхромии. Затем развивается атрофия, появляются телеангиэктазии; могут возникать бородавчатые разрастания, которые рассматривают как предраковые состояния.

Поздние лучевые дерматозы развиваются на месте бывших буллезных и язвенно-некротических острых лучевых дерматитов и длительно существующих хронических лучевых дерматитов. Индуративный отек чаще возникает на участках, которые подвергались многократному облучению, спустя длительное время после облучения. Пораженная кожа становится плотной, утолщенной, неравномерно пигментированной или, наоборот, бледной. Субъективные ощущения отсутствуют. Индуративный отек редко проходит бесследно, чаще последовательно развивается стойкая эпиляция, возникают атрофия, гиперкератозы, язвы. Причиной возникновения отека являются изменения лимфатических сосудов, в результате которых нарушается отток лимфы из пораженного участка кожи. Поздняя лучевая язва возникает через несколько месяцев или лет после многократных облучений на фоне глубоких трофических расстройств в коже. Характерны резкие болевые ощущения.

Диагностика лучевых ожогов основывается на анализе анамнестических данных, установления степени загрязнения кожного покрова радионуклидами и учете клинических признаков поражения. Лучевые ожоги имеют определенные циклы развития со скрытым периодом в отличие от

термических ожогов. По сравнению с термическими ожогами при лучевых сроки реакции и заживления увеличиваются в 4-7 раз. Прогноз при бета-ожогах зависит от степени и общей площади поражения кожи. Благоприятным прогноз ожидается при ожогах I и II степеней с поражением до 5% поверхности тела. Неблагоприятный прогноз – при обширных (более 10% поверхности тела) бета-ожогах I, II и при ограниченных ожогах III и IV степеней. Лечить животных с такими поражениями экономически нецелесообразно.

Важным профилактическим мероприятием радиационных ожогов является ранняя ветеринарная обработка животных с загрязненными кожными покровами радиоактивными веществами.

Лечение животных с поражениями кожи бета-излучением должно быть по возможности ранним и направленным на дезактивацию загрязнения, снятие боли (аминазин, дроперидол, анальгин, фентанил, новокаиновые блокады), снижение воспалительных явлений, ускорение регенеративных процессов и предупреждение развития инфекций.

Ожоги I степени лечат консервативно, с использованием различных мазевых повязок.

Ожоги II степени требуют хирургической обработки, которая заключается в иссечении пораженных некротизированных участков кожи. При затихании воспалительных явлений применяют биостимуляторы (алоэ, стекловидное тело). При показаниях проводят детоксикационную терапию (40%-й раствор гексаметилентетрамина с кофеином) и назначают антибиотики.

Комбинированные радиационные поражения возникают при последовательном или одновременном воздействии радиационного, механического, термического и других повреждающих факторов, в результате чего возникают комбинации острых лучевых поражений с разными механическими травмами (раны, контузии, переломы) и ожогами. Характерная особенность комбинированных радиационных поражений – это

синдром взаимного отягощения, т.е. усиление патологического процесса при воздействии нескольких поражающих факторов.

В течение поражений выделяют четыре периода: 1) начальный период, или период первичных реакций на лучевые и нелучевые травмы в первые часы и сутки характеризуется симптомами острой механической травмы или ожогов (кровотечение, болевой синдром и др.) и лучевой травмы. При исследовании крови отмечают нейтрофильный лейкоцитоз, лимфопению, анемию при массовой кровопотере, сгущение крови при ожогах и травмах. Шок у пораженных животных протекает особенно тяжело и отличается удлинением эректильной и быстрым развитием торпидной фазы.

Период преобладания нелучевых компонентов (механической травмы и ожогов) соответствует по времени скрытому периоду лучевой болезни. Наблюдают более тяжелое общее состояние животных, чем при изолированных механическом, термическом или радиационном поражениях, развивается и прогрессирует лейкопения, лимфопения.

Период преобладания лучевого компонента (признака разгара лучевой болезни) характеризуется проявлением и нарастанием симптомов разгара лучевой болезни (лихорадка, кровоточивость, агранулоцитоз, тромбоцитопения и др). Данные нарушения отягощают течение нелучевой травмы, особенно тяжелой.

Восстановительный период характеризуется более медленным исчезновением симптомов лучевой болезни, заживлением ран и других повреждений.

К раневой инфекции в патогенезе раневого процесса при комбинированных радиационных поражениях уделяют особое внимание. В первые часы после поражения взаимоотношения раневой инфекции с облученным организмом не выходит за пределы обычной реакции организма. В дальнейшем по мере угнетения наступает состояние, когда развитие раневой инфекции встречает все меньше сопротивление. Максимальная опасность инфекционных осложнений ран при комбинированных

радиационных поражениях возникает, когда к явлениям раневого сепсиса присоединяется прогрессирующая аутоинфекция, характерная для тяжелого лучевого поражения.

Течение переломов костей при комбинированных радиационных поражениях имеет существенные особенности. В первое время развивается болевой синдром, адинамия и др. Дальнейшая динамика процесса зависит от степени воздействия повреждающих факторов. Открытые переломы на фоне радиационного поражения сопровождаются с обширным повреждением кости развитием токсико-резорбтивной лихорадки и сепсиса. Возрастает опасность возникновения отеков, флегмон, анаэробной инфекции и др. даже при закрытых переломах возможно возникновение септических процессов. В результате этого не только удлиняются сроки заживления переломов в 1,5-2 раза, но и резко утяжеляется течение лучевой болезни.

Диагностика радиационно-механических и радиационно-термических поражений направлена на выявление и установление степени тяжести лучевых и не лучевых компонентов. Дата поражения и результаты клинического обследования позволяют уточнить предварительные сведения о характере и тяжести поражения. В случае если данные об условиях поражения отсутствуют, диагноз ставят на основании лабораторных исследований.

При обследовании животных первоначально обращают внимание на общее состояние, поведение, состояние нервной системы, кожных покровов (рана, ожог) и количество форменных элементов в периферической крови.

Степень тяжести термической травмы оценивают, определяя глубину и площадь ожога с учетом поражения верхних дыхательных путей, значительно отягощающего течение и прогноз ожоговой болезни.

Распознать радиационное поражение у раненных и обожженных животных труднее, чем при изолированной лучевой травме, особенно в начальный период, когда некоторые симптомы, характерные для первичной

реакции на облучение, обуславливаются воздействием нерадиационного фактора.

Изолированные термические и механические повреждения сопровождаются быстропроходящей лимфопенией. Для оценки степени тяжести облучения при комбинированных радиационных поражениях следует определять абсолютное число лимфоцитов не только в первые 2-3 суток, но и в более поздние сроки после поражения (5-7 суток). В разгар лучевой болезни диагностика не вызывает затруднений.

Главным принципом лечения комбинированных радиационных поражений при оказании ветеринарной помощи заключается в остановке кровотечения, наложении повязки, иммобилизации. Хирургические вмешательства проводят только в скрытый период лучевой болезни.

Первая помощь животным при радиационно-термическим поражении включает те же мероприятия, что и при «чистых» термических и радиационных поражениях. Животным предоставляют полный покой, назначают успокаивающие и сердечные средства. Обожженную поверхность очищают от сгоревшей шерсти и грязи, накладывают холодный компресс, затем применяют мази Вишневского, Конькова и мази, содержащие антибактериальные средства.

Особенностью терапии комбинированных радиационных поражений в начальный и скрытый периоды лучевой болезни является профилактическое назначение антибиотиков до развития инфекции. При лучевых поражениях с осторожностью применяют сульфаниламидные препараты, так как они угнетают процессы кроветворения. В разгар лучевой болезни лечебные мероприятия направлены на профилактику раневой инфекции и предупреждение ранних и поздних вторичных кровотечений.

При оказании первой ветеринарной помощи животным с механическими (ранами) и термическим (ожоги) поражениями, загрязненными радионуклидами, прежде всего, проводят мероприятия, предотвращающие их дальнейшее попадание на раневую и ожоговую

поверхности: удаляют радиоактивные вещества с поверхности ожога и проводят частичную ветеринарную обработку животных, останавливают кровотечение, накладывают повязки. Радионуклиды удаляют из раны в процессе хирургической обработки, которую проводят под контролем полевых радиометров – рентгенометров [3, 6, 8].

Отдаленные последствия действия радиации на животных возникают как после местного, так и общего внутреннего и внешнего облучения спустя длительное время. От характера лучевого воздействия, возраста пострадавшего и состояния защитно-компенсаторных процессов организма зависит продолжительность скрытого периода отдаленных последствий. По мере истощения компенсаторных возможностей развиваются те или иные формы отдаленных последствий.

При отдаленных последствиях радиации различают неопухолевые и опухолевые формы. Неопухолевые формы включают три вида патологических процессов: гипопластические состояния, склеротические процессы и дисгормональные состояния.

Гипопластические состояния развиваются в кроветворной ткани, слизистых оболочках органов пищеварения, дыхательных путей, в коже и других органах. Они проявляются лейкопенией, гипо- и гиперхромной анемиями, атрофией слизистой оболочки желудка, кишечника, гастритом, атрофией половых желез и бесплодием. Данное состояние очень трудно поддается лечению и плохо восстанавливается.

Склеротические процессы характеризуются обширными ранними повреждениями сосудистой сети облученных органов, развитием очаговых или диффузных разрастаний соединительной ткани на месте погибших паренхиматозных клеток. Регистрируют следующие морфологические изменения: цирроз печени, нефросклероз, лучевые катаракты, некрозы костной ткани, поражения нервной системы и др.

Дисгормональные состояния чаще проявляются в виде ожирения и реже – истощения, гипофизарной кахексии и несахарного мочеизнурения.

Развиваются изменения в яичниках, нарушение гормональной регуляции, приводящие к патологическим сдвигам в половых циклах, к стойкой гиперплазии слизистой матки, паренхимы молочных желез, что может вызвать образование опухолей. К дисгормональным состояниям относят и поражения щитовидной (гипертиреозидизм) и поджелудочной (сахарный диабет) желез.

Опухолевые формы (новообразования) возникают чаще при облучении инкорпорированными альфа- и бета-излучателями. Как правило, опухоли обычно развиваются в критических органах. Сочетание действий радиационных и других болезнетворных факторов увеличивает частоту появления опухолей у животных. Профилактика и лечение отдаленных последствий основываются на использовании неспецифических средств, так как специфических методов в настоящее время не разработано. В данном случае применяют общетонизирующие средства, антибиотики, витамины и различные процедуры [3, 6, 8].

Рациональное хозяйственное использование пораженных животных. При комбинированных радиационных поражениях крайне тяжелой и тяжелой степеней лечение животных экономически нецелесообразно и они подлежат убою на мясо по возможности в ранние сроки (не позднее 7-10 суток после поражения). Всех животных с комбинированными радиационными поражениями легкой степени лечат при необходимости. Убой животных разрешен в любое время. Молочная продуктивность коров практически не снижается, молоко допускают в пищу после радиометрического анализа.

Успешному лечению поддаются ожоги I и частично II степеней, а также глубокие ожоги площадью менее 5% поверхности тела.

Если лечить животных экономически невыгодно, то рациональным сроком убоя являются первые 4 суток после поражения. При убое в более поздние сроки в результате снижения резистентности организма происходит миграция микрофлоры с поверхности кожи, из желудочно-кишечного тракта,

дыхательных путей в ткани и органы. В связи с этим продукты убоя подвергают бактериологическому и радиометрическому исследованиям.

При одновременном облучении, воздействии ударной волны и светового излучения ядерного взрыва сроки убоя животных устанавливают в зависимости от того, какой вид поражения вызвал наибольшие патологические изменения, влияющие на общее состояние животных и определяющие показатели качества мяса. Во всех случаях животных с данными поражениями целесообразно забивать на мясо в более ранние сроки после воздействия.

При сочетанных радиационных поражениях средней степени тяжести рациональные сроки убоя животных на мясо от 10 до 25 суток после прекращения поступления радиоактивных веществ в организм. При воздействии лучевого фактора и возбудителей инфекции решающее значение для дальнейшего использования животных имеет вид инфекционного фактора. Продукцию животноводства, полученную в очаге биологического заражения до снятия карантина и ограничений, обезвреживают и реализуют на месте с учетом особенностей возбудителя и клинического состояния пораженных животных.

Кожевенное сырье, полученное после убоя животных, пораженных инфекционными возбудителями, можно вывозить из очага бактериологического заражения только после снятия карантина, дезинфекции сырья и по разрешению ветеринарной службы с выдачей ветеринарного свидетельства.

При комбинации лучевого и химического факторов ведущая роль в определении возможности использования пораженных животных и получаемой от них продукции придается тому компоненту, действия которого в данный момент в наибольшей степени определяет тяжесть поражения и особенности клинической картины [1].

7. Основы радиоэкологии. Прогнозирование и нормирование поступления радионуклидов в организм животных и продукции животноводства

На радиоактивные изотопы как важный экологический фактор обратили внимание еще в середине 30-х годов, однако широкое развитие радиоэкологических исследований приходится на 50-е годы, когда антропогенная деятельность человека (в первую очередь испытания ядерного оружия) привела к изменению естественного радиационного фона.

Одновременно с развитием атомного производства и применением атомной энергии возникло новое научное направление — радиоэкология — учение об особенностях существования организмов и сообществ растений и животных в среде обитания с повышенной (по сравнению с нормой) радиоактивностью.

Радиоэкология развивается по нескольким направлениям. Одно из направлений — радиоэкология животных, которая изучает особенности существования животных и закономерности, протекающие в их естественных популяциях и биогеоценозах при воздействии на них радиационных факторов среды обитания.

В 60-х годах выделился самостоятельный раздел, изучающий радиоэкологию морских организмов. Вследствие широкого использования ядерной энергии на атомных электростанциях возникла и быстро развивается радиоэкология пресноводных водоемов. Основные задачи водной радиоэкологии — изучение миграции радиоактивных элементов в гидроценозах и действия радиоактивного загрязнения воды на гидробионты и околотоводные сообщества растений и животных, а также безопасность охраны водной среды от радиоактивного загрязнения.

Расширение исследований по изучению поведения искусственных радионуклидов в пищевых цепях, ведущих к человеку, с участием сельскохозяйственных растений и животных, а также действия

ионизирующих излучений на объекты сельскохозяйственной деятельности сформировали в сельскохозяйственной радиэкологии два самостоятельных раздела со своими методами исследования и задачами: радиэкологию сельскохозяйственных растений и радиэкологию сельскохозяйственных животных.

Радиэкология сельскохозяйственных животных — важнейшая часть сельскохозяйственной радиэкологии и общей экологии в целом. Она изучает закономерности и механизмы миграции радионуклидов в пищевых цепях, принципы их экологического нормирования, а также действие радионуклидов и других источников ионизирующих излучений на организм животных. Исследования в этой области необходимо для безопасного ведения животноводства в условиях повышенного радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Продукция животного происхождения — важнейший источник для питания человека, а для легкой и пищевой промышленности — источник сырья, поэтому изучение вопросов радиэкологии актуальна. В свою очередь, продукты животного происхождения (молоко, мясо, яйцо и др.) могут быть основными источниками поступления радионуклидов в организм человека и дополнительного его облучения. Поступление с мясом важнейших радиоактивных продуктов деления (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I) из глобальных выпадений в рацион человека может достигать 25 %, а с молоком — 100 % суммарного потребления с пищей. Данные радиэкологии используются сельскохозяйственной радиобиологией для рационального планирования и проведения оперативного и текущего контроля за радиоактивным загрязнением внешней среды, а также для разработки научно обоснованных методов снижения поступления радионуклидов в корма и продукты животноводства.

Радиэкология сельскохозяйственных животных как прикладная наука рассматривает все звенья экологической цепочки, которые приводят к накоплению радионуклидов в кормах и продуктах животноводства.

Радиоэкологические исследования позволяют прогнозировать поступление радионуклидов в окружающую среду, их биологическую эффективность, оценивать последствия проникновения радиоактивных веществ в биосферу, оценивать роль экологических факторов в миграции радионуклидов и при необходимости осуществлять меры по уменьшению перехода их из почвы в корма и продукцию животноводства. За многолетний период исследований закономерностей переноса радионуклидов в системе атмосферные выпадения — вода — почва — растения — животные — продукция животноводства, накоплен солидный объем информации. Однако ряд вопросов в области радиоэкологии сельскохозяйственных животных требует дальнейшего исследования и изучения. В частности, необходимо выявить вклад разных путей поступления радионуклидов в корма, молоко, мясо, разработать методику прогноза накопления их в этих продуктах, изучить отдаленные последствия действия ионизирующих излучений на организм, выявить формируемые средой лучевые нагрузки на организм, оказывающие влияние на продуктивные, репродуктивные и другие хозяйственно полезные качества животных.

Все биологические объекты на Земле постоянно подвергаются воздействию ионизирующей радиации путем внешнего и внутреннего облучения от естественных (космическое излучение и природные радиоактивные вещества) и искусственных (отходы атомной промышленности, радиоактивные изотопы, используемые в биологии, медицине и сельском хозяйстве и др.) источников ионизирующих излучений.

Радионуклиды естественного и искусственного происхождения повсеместно распространены в природе: они могут быть рассеяны в земной коре, воде, воздухе, растениях и теле животных.

Природные радиоактивные вещества условно подразделены на три группы. К первой группе относят U и Th с продуктами их распада, а также ^{40}K и ^{87}Rb . Во вторую группу входят малораспространенные изотопы и изотопы с большим периодом полураспада: ^{48}Ca , ^{96}Zr , ^{113}In , ^{124}Sn , ^{130}Te , ^{138}La ,

^{150}Nb , ^{152}Sm , ^{176}Lu , ^{180}W , ^{187}Re , ^{209}Bi . К третьей группе принадлежат радиоактивные изотопы ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{10}Be , образующиеся, непрерывно под действием космического излучения.

Радионуклиды искусственного происхождения образуются в результате деятельности человека по использованию атомной энергии, испытаний и применения ядерного оружия, ядерного синтеза с помощью специальных установок и источников излучений и т. д.

Радиоактивные продукты ядерного происхождения выпадают сами по себе, но чаще с атмосферными осадками, а также радиоактивные отходы включаются в абиотические (почва, вода) и биотические (флора, фауна) компоненты биосферы и принимают участие в биологическом цикле круговорота веществ.

Наиболее короткий путь поступления радиоактивных продуктов деления в организм человека – сельскохозяйственные растения и животные. При этом продукты деления могут попадать в организм человека как непосредственно через растительную пищу, так и через животных, питающихся растениями, содержащими радиоактивные вещества [1, 3, 7, 10].

8. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды

Мероприятия по созданию кормовой базы, содержанию и кормлению сельскохозяйственных животных на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, должны сводиться к минимальному загрязнению животных и животноводческой продукции радиоактивными веществами. Характер организационных мероприятий зависит от состава смеси радионуклидов, поступающие во внешнюю среду, их возраста и периода полураспада.

В обязательном порядке организация кормовой базы при загрязнении кормов молодыми радионуклидами осуществляется в первые дни после

радиоактивной загрязненности местности, когда доминируют радионуклиды с коротким периодом полураспада. С точки зрения перехода отдельных радионуклидов из этой смеси через растения в продукты животноводства наибольшее практическое значение имеет ^{131}I . Большое влияние на размеры перехода его в организм сельскохозяйственных животных и в продукты животного происхождения оказывают сезон и состояние сельскохозяйственных угодий во время выпадения радиоактивных продуктов деления. Наиболее опасны выпадения радиоактивных веществ в период вегетации растений, когда сельскохозяйственные угодья покрыты растительностью и значительная часть животных находится на пастбищах.

Рациональная организация кормовой базы и кормления животных на территории, загрязненной короткоживущими радионуклидами, может способствовать значительному снижению или исключению поступления радиоактивных веществ в организм сельскохозяйственных животных.

При разовом выбросе короткоживущих радионуклидов на сельскохозяйственную площадь, если уровни радиации позволяют персоналу и животным оставаться на этой территории, животных следует укрыть в помещениях и временно прекратить пастьбу. Кормить животных желательно кормами из запасов, не содержащих радионуклидов, или завезенными с территории, не подвергшейся радиоактивному загрязнению. Данное мероприятие дает возможность получать продукцию животноводства с низкими уровнями радиоактивного загрязнения и снимает опасность внутреннего облучения животных и человека.

Перегон животных из зоны с высоким уровнем загрязнения на пастбища с более низким способствует снижению поступления радиоактивных веществ в желудочно-кишечный тракт, а вследствие этого в продукцию животноводства.

В молочных и мясных продуктах можно достичь снижения накопления радиоактивных веществ путем правильного содержания и кормления животных, а также пересмотром структуры животноводства. Перевод

животных на стойловое содержание или ограничение времени выпаса на естественных пастбищах, выпас животных на искусственных пастбищах только после перепашки почв и включение в рацион в большом количестве концентрированных кормов за счет снижения грубых кормов в несколько раз снижает накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в молоке и мясной продукции.

В первые дни после радиоактивного загрязнения территорий составляются предварительные краткосрочные прогнозы поступления радионуклидов в продукцию растениеводства. Данный прогноз ориентировочный, так как в этот период отсутствуют точные данные о радиационной обстановке, биологической доступности радионуклидов. Однако, на имеющиеся недостатки, предварительные краткосрочные прогнозы важны, поскольку позволяют своевременно принять меры безопасности для населения и сельскохозяйственных животных, а также определить и спланировать стратегию ведения производства.

После уточнения радиационной обстановки и радионуклидных выпадений делают более точный долговременный прогноз. На его данных определяют возможность дальнейшего производства продукции на пострадавших территориях и разрабатывают технологию ведения хозяйства с учетом реальных особенностей. Со временем из-за распада короткоживущих радионуклидов, миграции долгоживущих радионуклидов и изменения их биологической доступности принятые решения уточняют или изменяют. Прогноз загрязнения растениеводческой продукции позволяет заранее планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных угодьях, их размещение по полям севооборотов и отдельным участкам с учетом плотности загрязнения почв и возможности использования получаемой продукции (продовольственные цели, фураж, промышленная переработка и др.).

Для прогнозирования поступления корма и продукты животноводства необходимо установить, какими именно радионуклидами загрязнены воздух и территории сельскохозяйственных угодий и каковы плотность и

равномерность этих загрязнений. Другие важнейшие показатели – биологическая доступность и способность мигрировать каждого из радионуклидов по пищевым цепочкам, характеризующимися коэффициентами их переходов в корма и организм животных.

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции зависит как от плотности загрязнения, так и от типа почв, их гранулометрического состава, агрохимических свойств, от биологических особенностей возделывания культур. Показатели почвенного плодородия существенно влияют на накопление радионуклидов всеми сельскохозяйственными культурами, особенно многолетними травами. В большей степени на накопление радионуклидов в сельскохозяйственной продукции влияет режим увлажнения почв.

Плотность загрязнения почв радионуклидами не может однозначно отражать уровень загрязнения выращиваемой сельскохозяйственной продукции. Для разработки эффективных защитных мероприятий необходим учет основных свойств почв каждого поля, особенности минерального питания, разная продолжительность вегетационного периода, биологические особенности растений различных видов влияют на накопление радионуклидов. Содержание ^{137}Cs в расчете на сухое вещество отдельных культур может различаться до 180 раз, а накопление ^{90}Sr – до 30 раз при одинаковой плотности загрязнения почв. Существенно на переход ^{137}Cs из почвы в растения влияет содержание в ней органического вещества. Поступление этого радионуклида в растения из торфянистых почв превышает его поглощение из минеральных в несколько раз. Этот факт учитывают при составлении прогноза. Сортовые различия в накоплении радионуклидов значительно меньше (1,5-3 раз), но их также необходимо учитывать при подборе культур.

Для прогноза накопления радионуклидов в продукцию растениеводства используются значения коэффициентов их перехода из почвы в урожай в расчете на 1 Ки/км (37 кБ/м^2).

Для прогноза накопления радионуклидов в продукции животноводства определяющими факторами являются:

- 1) степень загрязненности
- 2) биологическая доступность
- 3) способность радионуклида мигрировать по пищевым цепям
- 4) вид
- 5) возраст
- 6) физиологическое состояние животных
- 7) продуктивность
- 8) тип рациона

Прогноз содержания радионуклидов в продуктах животноводства (Апрод) рассчитывают по формуле (Бк\кг):

$$\text{Апрод} = \text{Арац} * \text{Кп} / 100$$

где Арац – активность радионуклидов суточного рациона, Бк

Кп – коэффициент перехода радионуклидов из рациона в 1 л (кг) продукции

% - суточного поступления

При этом используются коэффициенты перехода радионуклидов из корма в мясо, молоко, кости и другую продукцию животноводства с учетом возраста и направления продуктивности.

Таблица 4 - Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (% на 1 кг продукта)

Вид продукции	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1. Молоко коровье (в среднем за год)	0,62	0,14
2. в том числе в стойловый период	0,48	0,14
3. в пастбищный период	0,74	0,14
4. Говядина	4	0,04
5. Свинина	25	0,10
6. Баранина	15	0,10
7. Мясо кур	450	0,20
8. Яйцо	3,5	3,20

Как видно из таблицы ^{137}Cs более интенсивно переходит из кормов в молоко и мясо по сравнению с ^{90}Sr . Размеры перехода радионуклидов из корма в продукцию животноводства зависит от формы и состояния их в растениях, длительности поступления в организм, возраста животных, их физиологического состояния, способа содержания, типа питания и других факторов.

Большое значение имеет возраст животного, потребляющего радиоактивный корм: молодые животные гораздо активнее накапливают радионуклиды, чем взрослые и старые, что связано с особенностями и интенсивностью обмена веществ в молодом растущем организме.

У высокопродуктивных животных коэффициент перехода радионуклидов ниже, чем у низкопродуктивных. Существенно влияет на величину коэффициента перехода сбалансированность рационов кормления животных по основным и минеральным элементам питания.

Для обеспечения производства молока и мяса с допустимым уровнем радионуклидов (ДУР), Бк/(л)кг, устанавливаются пределы допустимого содержания (ПДС) ^{137}Cs и ^{90}Sr и предельно допустимых уровней (ПДУ) загрязнения кормов и ПДУ загрязнения почв.

ПДС радионуклидов в рационе определяется из соотношения

$$\text{ПДС} = \text{ДУР} * 100 \setminus \text{Кп}$$

По уровню накопления ^{90}Sr в организме мясопродуктивные животные располагаются в ряд: овцы > крупный рогатый скот > свиньи > куры.

Вследствие большой скорости миграции изотопов йода в пищевых цепях сельскохозяйственных животных и интенсивного поступления его в организм человека с молоком важно сделать своевременный прогноз загрязненности получаемой продукции, особенно молока. В этой связи были установлены Кп изотопов йода из пастбищной растительности в молоко.

Основной источник поступления радионуклидов в пищевые цепи – почва; следовательно, для составления прогноза, особенно долгосрочного, необходимо установить взаимосвязь между содержанием радионуклидов в

почве и в получаемой на этой территории продукции растениеводства и животноводства.

Параметры прогноза в зависимости от экологических и физиологических факторов существенно изменяются, поэтому любой прогноз поступления радионуклидов почвенным, воздушным или одновременно двумя этими путями в биологические цепи следует рассматривать лишь как ориентировочный. При выпадении короткоживущих, долгоживущих радионуклидов или их смеси радиационная обстановка может быть существенно различаться. При выпадениях короткоживущих радионуклидов наибольшую опасность представляют радионуклиды йода, и прежде всего ^{131}I . Поступление его в рацион животных, молоко, мясо, яйцо зависит от сезона, пастбищного состояния лугов. В период активной вегетации растений и пастбищного содержания животных радиоактивные выпадения представляют большую опасность по сравнению с периодом стойлового содержания животных.

При однократном поступлении радионуклидов следует прекратить выпас животных и перевести их на стойловое содержание. Кормление следует проводить ранее запасенными кормами или кормами, заготовленными на незагрязненной территории. Траву кормовых угодий можно использовать для производства сена и силоса и скармливать их не ранее чем через 1,5-2 месяца. Скашивание и уборка трав через 10 суток после однократного загрязнения лугов и пастбищ позволяет удалить с растениями до 50% ^{137}Cs и ^{90}Sr . Обработка естественных лугов и посевов многолетних или других кормовых культур позволяет в отдельных кормовых продуктах уменьшить содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в 10-100 раз.

Убранные после выпадения радиоактивных веществ травы содержат больше радионуклидов, чем отрастающая на кормовых угодьях отава. При выпадении радионуклидов на сельскохозяйственные угодья в период пастбищного содержания животных овцеводство и скотоводство окажутся в

наиболее неблагоприятных условиях, чем свиноводство и птицеводство, так как их содержат в помещениях и кормят концентратами.

После прекращения выпадения радиоактивных осадков основное внимание должно быть уделено мероприятиям по снижению повторного загрязнения растений и корневого поступления радионуклидов в вегетативную часть растений. Это достигается путем рациональной организации производства кормов и специального составления рационов с учетом видовых, возрастных, физиологических и производственных особенностей животных.

Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в кормовые культуры. Кормопроизводство в загрязненных районах, прежде всего, должно обеспечить получение кормов с минимальным содержанием радионуклидов. Это важнейший и зачастую решающий фактор в снижении накопления радионуклидов в продукции растениеводства.

Большой вклад в развитие агроэкологии и кормопроизводства внесли сотрудники Всероссийского НИИ сельхоз. радиологии и агроэкологии под руководством акад. Р.М. Алескахина, Академия аграрных наук р-ки Беларусь под руководством акад. И.М. Богдевича.

Организационные мероприятия носят долговременный характер и включают обследование загрязненных с-х угодий и личных подсобных хозяйств, инвентаризацию угодий по плотности загрязнения и прогнозирование накопления радионуклидов в кормах; формируется структура радиационного контроля продукции. На основании полученных данных корректируется структура посевных площадей, изменяются существующие севообороты и вводятся кормовые севообороты с учетом типов почв, их агрохимических характеристик, режима увлажнения и радиоактивного загрязнения, планируются мероприятия по улучшению кормовых угодий и проводится экономическая оценка.

Мероприятия по снижению концентрации радионуклидов в растениях при корневом их поступлении разделяют на две группы:

1) традиционные приемы, направленные на повышение плодородия почвы, урожайности и качества продукции;

2) специальные приемы, направленные на снижение накопления радионуклидов в продукции растениеводства.

Традиционные приемы включают:

- вспашку загрязненной почвы
- подбор культур и сортов растений
- применение приемов прополки, снижающих вторичное загрязнение
- перевод естественных кормовых угодий в кормовой севооборот
- поверхностное улучшение кормовых угодий
- коренное улучшение природных сенокосов и пастбищ
- известкование кислых почв
- внесение двойных доз калийных и фосфорных удобрений
- внесение органических удобрений (40 т/га и более) и микроудобрений

Специальные технологические приемы включают:

- применение приемов уборки урожая, снижающих вторичное загрязнение
- промывка
- сортировка
- первичная очистка плодоовощной продукции и корнеплодов
- переработка продукции с целью снижения содержания радионуклидов.

Агротехнические мероприятия включают: 1) *обработка почв* – направлена на снижение накопления радионуклидов в урожае, уменьшение эрозийных процессов и снижение времени воздействия излучения на работающих в поле. К таким мероприятиям относятся – мелиоративная глубокая вспашка (которая в наибольшей степени снижает поступление радионуклидов в растения до 5-10 раз); посев культур должен быть особо качественным, на строго заданную глубину; коренное улучшение (наиболее эффективный способ снижения поступления радионуклидов из почвы в

луговые травы малопродуктивных естественных кормовых угодий); коренное и поверхностное улучшение луговых угодий (эффективная мера, позволяющая не менее чем вдвое уменьшить поступление радионуклидов в травы).

2) *Подбор кормовых культур* – многолетние травы отличаются наибольшей способностью накапливать ^{137}Cs и ^{90}Sr в 5-100 раз больше, чем злаковые травы из ежи сборной и мятлика лугового. Различия в накоплении ^{90}Sr существенны, поэтому по степени уменьшения поступления радионуклида они располагаются в следующем порядке: разнотравье, осоки, ежа сборная, мятлик. Среди злаковых многолетних трав по накоплению ^{137}Cs установлен следующий убывающий ряд: костер безостый, тимopheевка, ежа сборная, овсяница, мятлик луговой, райграс пастбищный. Таким образом, путем подбора кормовых культур и использование их сортовых особенностей можно без каких-либо дополнительных затрат существенно снизить содержание радионуклидов в рационе животных.

3) *Известкование кислых почв* – эффективный прием снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения и одновременного существенного увеличения урожайности. Внесение извести снижает содержание радионуклидов в продукции растениеводства в 1,5-3 раза в зависимости от типа почв и исходной степени кислотности. При плотности загрязнения ^{137}Cs свыше 370 Бк/м² почвы известкуют один раз в три года, а при меньших плотностях загрязнения – один раз в пять лет.

4) *Применение удобрений* – снижает накопление радионуклидов в продукции, а также обеспечивает повышение урожайности. Для этих целей используют все виды удобрений. Применение органических удобрений в обычных дозах уменьшает переход радионуклидов из почвы в растения на 15-30%. Калийные удобрения вносят в дозах, которые обеспечивают прибавку урожая, в зависимости от типа почв и содержания в них обменного калия. На почвах с избыточным содержанием калия (минеральные и торфяно-болотные почвы) калийные удобрения не применяют. Фосфорные

удобрения снижают поступление радионуклидов в растительную продукцию, особенно на почвах с низким содержанием фосфатов. На почвах с высоким содержанием подвижных фосфатов (минеральные и торфяно-болотные почвы) фосфорные удобрения не вносят. Важная роль отводится регулированию азотного питания растений. На посевах злаковых многолетних трав эффективно применение бактериальных препаратов. Микроудобрения также снижают поступление радионуклидов в сельхоз. культуры, хотя механизм их действия изучен недостаточно.

5) *Гидротехническая мелиорация* – радикальный способ снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию с переувлажненных земель. За счет осушения земель можно снизить загрязненность продукции в 5-10 раз. Наиболее надежным способом снижения перехода радионуклидов в траву является их коренное улучшение с проведением комплекса агрохимических мероприятий (известкование кислых почв, внесение органических удобрений и повышение калийных и фосфорных удобрений). Внесение минеральных фосфорно-калийных удобрений снижает накопление радиоактивного цезия в траве в 1,5-5 раз, а внесение азота, наоборот, увеличивает его.

б) *Перепашка* естественных лугов снижает радиоактивное загрязнение кормов и продукции животноводства в 2-5 раз. Подбор видового и сортового состава трав снижают содержание ^{137}Cs 1,5-3 раза [3, 7, 10].

Проблема *нормирования поступления радионуклидов* в воду, почву, корма и продукцию животноводства – одна из наиболее важных в современной радиологии. Для решения вопросов нормирования используют данные по миграции радионуклидов по биологическим цепям и обмену их в организме животных разных видов и возрастов.

При расчете средней допустимой концентрации (СДК) радионуклидов и предельно допустимого содержания (ПДС) водорастворимых форм радионуклидов в кормах и рационах животных исходят из предела годового поступления (ПГП) и производной от него величины – предела допустимого

поступления (ПДП) их в рацион человека, определенного нормами радиационной безопасности (НРБ). После чернобыльской катастрофы продукция, получаемая на загрязненной территории, существенно превышала допустимые концентрации. В связи с этим были приняты «Временно допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах» (ВДУ), которые были существенно завышены. В последующем, по мере снижения содержания радионуклидов за счет их физического распада, перехода в связанное с частицами почвы состояние, принятия мер по уменьшению радионуклидной загрязненности сельскохозяйственной продукции и других причин, ВДУ пересматривались в сторону снижения допустимых уровней содержания радионуклидов в продуктах питания (табл.5).

В период выпадений радиоактивных осадков соблюдают особенности ведения животноводства и в первую очередь, необходимо провести мероприятия, направленные на снижение дозовых нагрузок на человека, а затем на сохранение поголовья сельскохозяйственных животных и их продуктивности. Для этого людей размещают в убежищах, подвалах, подпольях или в жилых закрытых помещениях. Длительность непрерывного пребывания людей в укрытиях должна быть не менее 4-6 суток, при этом особенно опасны первые двое суток. Когда еще не распались короткоживущие радионуклиды.

Животных переводят на стойловое, безвыгульное содержание в помещении с наименьшим радиоактивным загрязнением. Продолжительность такого содержания определяется конкретной радиационной обстановкой. Животных кормят кормами из существующих запасов, а также привезенными с чистой территории. Из рациона исключают корма, загрязненные выше допустимого уровня. При ограниченном запасе чистых кормов можно уменьшить рацион до предела, позволяющего сохранить поголовье в течение критического периода. Если не удастся организовать регулярную дойку лактирующих животных, то следует

сократить раздачу сочных кормов, а подсосный молодняк целесообразно подсадить к маткам. В зимних условиях рекомендуют концентратный тип кормления и минимальное использование сеного рациона из естественных трав.

Таблица 5 – Предельно допустимые нормы содержания радионуклидов в продуктах (Сан ПиН-96)

Продукты	Допустимое содержание радионуклидов, не более, Бк/кг (л)	
	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Мясо без костей	50	160
Оленина	80	250
Мясо диких животных без костей	100	320
Кости	200	160
Птица (все виды)	80	180
Яйца и продукты их переработки	50	80
Молоко и сливки, кисломолочные продукты, творог	25	50
Молоко сухое и концентрированное	200	360
Сыры	100	50
Рыба живая, охлажденная	100	130
Рыба сушеная, вяленая	200	260
Сахар	100	140
Мед	80	100
Масло коровье	60	100
Жир: говяжий, свиной, бараний	80	60
других животных	50	100
Масло растительное (все виды)	80	60
Семена масличных культур	90	70
Свежие и свежемороженые растительные продукты:		
картофель	60	320
овощи, бахчевые	50	130
фрукты, ягоды, виноград	50	40
грибы	50	500
Сухие растительные продукты:		
картофель	240	1200
овощи, бахчевые	240	600
фрукты, ягоды, виноград	240	200
грибы	250	2500
Орехи	100	200
Чай	100	400
Концентраты и гидролизаты растительных белков, мука и пищевой шрот из бобовых, масличных и других культур	100	80
Отруби пищевые: зерновых культур	140	80
бобовых культур	100	60

К подстилке для животных предъявляют те же требования по уровню радиоактивного загрязнения, что и кормам.

В первые 4-6 недель после выпадения радиоактивных осадков особую опасность представляет радиоизотопы йода, особенно ^{131}I . Эти радионуклиды – основной источник загрязнения кормов и молока животных. Период «йодной опасности» продолжается в пределах 2 месяцев после аварии. В отдаленные сроки биологическую опасность стали представлять долгоживущие изотопы, главным образом ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Учитывая резко выраженную органотропность щитовидной железы к накоплению радиоактивных изотопов йода, для защиты ее рекомендуют в первые недели вводить всем животным препараты, блокирующие щитовидную железу, в частности, йодистые, а также вводить в рацион содержащие тиоцианат кормовые культуры из семейства крестоцветных (капусту, брюкву, рапс). Лактирующим коровам ежедневно дают препарат KI в дозе 10 г на голову, а козам по 1 г. Введение в рацион животным KI позволяет снизить выделение радиоактивного йода с молоком и его содержание в щитовидной железе животных. Обогащение рациона животных стабильным изотопом – не только прием ограничения поступления радионуклида в молоко, но и мера профилактики радиационного поражения. Кроме того, выделение с молоком радиоактивных изотопов йода можно снизить в 2 раза, если включить в рацион дойных и беременных животных наиболее «чистые» по радиоактивности корма, состоящие из сеяных злаковых трав, корнеклубнеплодов, зерна, защищенных от непосредственного загрязнения радиоактивными осадками. Зерно кукурузы, гороха, бобов, лапина можно очистить от радиоактивного загрязнения путем удаления пленок или створок.

При недостатке «чистых» кормов мясному скоту скармливают радиоактивный корм или выпасают на пастбище с наименьшей загрязненностью. Но на заключительных стадиях откорма, за 1-4 месяцев до убоя, животных переводят на «чистые» корма. Методики прижизненного

определения содержания радионуклидов в мышечной ткани животных в условиях хозяйства позволяют достаточно точно определить продолжительность очистки и пригодность получаемого мяса в пищу.

При скармливании животным загрязненным кормов большое количество радионуклидов выделяется с испражнениями, поэтому проводят своевременную и тщательную уборку помещений.

При введении животноводства на зараженной территории важнейшее внимание должно быть уделено обеспечению безопасности работников. В местах, разрешенных для ведения животноводства, радиационный фон не представляет прямой опасности для здоровья человека, однако необходимо защитить органы дыхания, пищеварения и кожные покровы работающих от радиоактивной пыли. Для этого используют средства противопылевой защиты (ватно-марлевые повязки, респираторы, халаты, куртки, комбинезоны, головные уборы), которые в конце работы тщательно стирают и сушат.

При работе с сельскохозяйственной техникой необходимо избегать взаимного запыления. Кабины машин должны быть герметизированы. Все свежие фрукты и овощи перед употреблением в пищу тщательно промывают водой, и желательно после этого удалить верхний слой. Пищу принимают в специально отведенных местах; перед этим снимают спецодежду и тщательно соблюдают правила личной гигиены.

Наиболее сложно организовать ведение животноводства при выпадении радиоактивных осадков в самом начале пастбищного периода, поскольку ранее заготовленные чистые корма уже на исходе. После прекращения радиоактивных выпадений в хозяйстве следует оценить загрязнение сельскохозяйственных угодий и составить план землепользования с учетом плотности радиоактивного загрязнения полей и пастбищных угодий.

После распада изотопов йода основную опасность представляют ^{137}Cs и ^{90}Sr . В первый год после выпадений корма загрязнены этими

радионуклидами в основном за счет внешнего (первичного и вторичного) загрязнения.

9. Радиационная экспертиза кормов и продукции животноводства

Не смотря на то, что 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.

В связи с чем, актуальным является контролировать уровень радиоактивной загрязненности внешней среды и принимать меры к его ограничению, а также предотвращать попадание радиоактивных веществ в продукты питания.

Все это вызвало необходимость создания во многих странах службы радиационной безопасности. В различных странах она организована по-разному, но везде подразделяется на ряд сфер (геофизическую, медицинскую, сельскохозяйственную и т.д.). В России для осуществления радиационного контроля объектов ветеринарного надзора созданы радиологические отделы в республиканских, краевых, областных ветеринарных лабораториях, а радиологические группы — в районных (межрайонных) ветеринарных лабораториях, лабораториях ветеринарно-санитарной экспертизы на рынках, в производственных лабораториях предприятий мясной и молочной промышленности. Радиологические подразделения в вопросах санитарной безопасности руководствуются действующими «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками излучений».

Основная задача радиологических отделов и групп — контроль за радиоактивной загрязненностью объектов ветеринарного надзора и

продуктов питания, выпускаемых предприятиями мясной и молочной промышленности, а также продукции животноводства и растениеводства, поступающей на рынки.

Система радиационного контроля включает ряд последовательно выполняемых этапов: измерение уровня радиации на местности (полевая дозиметрия и радиометрия), отбор проб и подготовка проб к исследованию, прямое определение радиоактивности экспрессными методами, радиохимическое разделение радионуклидов, радиометрия выделенных радионуклидов, расчет активности и составление заключения.

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

Радиометрические методы включают: 1) полевую радиометрию и дозиметрию, являющихся одним из первых этапов радиационного контроля внешней среды и объектов сельскохозяйственного производства; 2) экспрессное определение радиоактивности, используемые для получения оперативной информации о степени загрязненности объектов внешней среды и сельскохозяйственного производства. Разновидности экспрессных методов – измерение суммарной радиоактивности бета- и гамма-излучающих нуклидов, экспресс-методы измерения ^{137}Cs и ^{90}Sr , экспресс-методы радиационного контроля рыночной продукции, прижизненный радиационный контроль; 3) радиометрию зольных остатков и радиохимических препаратов.

Радиохимический метод состоит из нескольких неразрывно связанных стадий: отбор и подготовка проб исследуемых объектов; внесение носителей и минерализация проб; выделение радионуклидов из проб; очистка выделенных радионуклидов от посторонних нуклидов и сопутствующих макроэлементов; идентификация и проверка радиохимической чистоты; радиометрия выделенных радионуклидов; расчет активности и составление заключения.

Отбор проб проводят сотрудники радиологических отделов, другие лица только после подробного инструктажа о правилах отбора и транспортировки проб с последующим периодическим их контролем.

Образец пробы должен быть типичным для исследуемого объекта, а масса (объем) достаточный, чтобы после концентрирования получить массу золы, необходимую для проведения радиохимического анализа (20-40 г). Нормы и сроки отбора проб приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Сроки и нормы отбора проб объектов ветнадзора для исследования на радиоактивность

Объект	Сроки отбора проб	Число проб	Масса (объем) проб
Трава	Весна, лето, осень	20-25	3-4 кг
Грубые корма	осень	20-30	2-3 кг
Силос, сенаж	В период скармливания животным	10-15	4-5 кг
Корнеклубнеплоды	Осень	10-15	3-6 кг
Концентрированные корма	Осень	20-30	2-3 кг
Молоко	Ежеквартально	20	5-6 кг
Мясо	Весна, осень	20	2-3 кг
Кости	Весна, осень	20	0,5 кг
Рыба свежая	По мере поступления	5	10
Птица	По мере поступления	10	1 тушка
Яйцо	По мере поступления	10	10 шт
Мед	По мере поступления	10	0,2-1,0 кг
Шерсть	По мере поступления	5	0,2-0,5 кг
Вода	Весна, осень	3	5-10 л

При отборе проб в контрольных пунктах измеряют гамма-фон прибором типа СПП-68-01 на расстоянии 0,7-1 м от почвы и 1-1,5 см от скирды, бурта, туши животных, рыбы и шерсти. Данные гамма-фона записывают в сопроводительном документе.

Исследования взятых проб проводят прежде всего на наличие радионуклидов ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{89}Sr , ^{90}Sr , U , Pu , ^{140}Ba , ^{91}Y , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{95}Zr , которые определяют во всех объектах ветнадзора: ^{131}I – в течение 2-3 мес после выпадения радиоактивных осадков; ^{140}Ba – 3-4 мес;

^{91}Y , ^{141}Ce , ^{89}Sr , ^{95}Zr – 2 лет; ^{144}Ce , ^{106}Ru – 5 лет; ^{134}Cs , ^{137}Cs , U, Pu, Pb – постоянно.

При радиоактивном загрязнении сельскохозяйственных угодий в результате незапланированных выбросов (аварий) на предприятиях ядерно-энергетического цикла усиливают радиационный контроль за объектами ветеринарного надзора. Массу отбираемых для исследования проб уменьшают в 2-3 раза, а частоту отбора увеличивают.

Пробы травы (1-2 кг) отбирают 2 раза в месяц в первый год радиоактивного загрязнения и 1 раз в месяц в последующие годы. Пробы сена, соломы, сенажа (1-2 кг), корнеклубнеплодов (1-2 кг) и концентрированных кормов (1-2 кг) отбирают при закладке их на зиму и при исследовании рационов. Зернофураж и солому отбирают одновременно в одних и тех же отделениях хозяйств. Силос исследуют только при поступлении его в рацион животным. Пробы воды (2-3 л) из рек, озер, прудов и других источников берут в местах водопоев 1 раз в месяц только в весенний, летний и осенний периоды. Молоко (1-2 л) берут не реже 2 раз в месяц в первый год радиоактивного загрязнения территорий, а в последующие годы – 1 раз в месяц.

Мясо (1-2 кг), внутренние органы (0,5-1 кг), кости (0,5 кг) животных разных возрастов и видов отбирают непосредственно в контрольных хозяйствах в период убоя, но не реже 4 раз в год (зимой, весной – перед выгоном животных на пастбища или началом дачи зеленых кормов, в середине лета и осенью – перед переходом на зимний рацион). Отбор проб на мясокомбинатах проводят только от партий скота контролируемого района. Пробы мяса птиц (1 тушка) и яиц (10 штук) берут ежемесячно в период массового убоя и сдачи в торговую сеть. Рыбу (1-2 кг) отбирают целыми экземплярами одновременно с пробами воды (2-3 л) в период массового отлова, мед (0,2-0,3 кг) – перед сдачей на заготовительные базы или в торговую сеть.

Компоненты рационов кормления животных, в том числе птицы, отбирают одновременно с продукцией животноводства в первый год ежемесячно, а в дальнейшем – 1 раз в 2 месяца.

В контрольных пунктах одновременно с отбором проб измеряют мощность дозы естественного гамма-фона радиации (за счет космического излучения) в данной местности. Средний уровень 100 нГр/ч.

Места измерения мощности дозы гамма-фона определяют не ближе 100 м от зданий, чтобы избежать влияния радиоактивности строительных материалов этих зданий. Участок измерения фона должен быть удален примерно на 100 м от проезжих дорог и лесных массивов. Так как фон в течение суток меняется, его измеряют на открытой местности в каждом контрольном пункте в одни и те же часы. Чувствительный элемент дозиметра располагают на расстоянии 1 м от поверхности Земли. При каждом измерении гамма-фона мощность дозы определяют в трех точках на расстоянии 100-200 м одна от другой. Средний показатель регистрируют в рабочем журнале и записывают в сопроводительном документе.

В случае повышения гамма-фона в 2 раза и более необходимо немедленно в установленном порядке сообщить об этом в вышестоящие государственные ветеринарные учреждения и СЭС. Одновременно проводят внеплановый отбор проб объектов ветеринарного надзора и исследуют их на загрязненность.

При отборе проб немедленно соблюдать определенные правила. Отбор проб *травы* проводят как на низинных, так и на горных пастбищах и сенокосах, удаленных от дороги не менее, чем на 200 м. Траву срезают на трех участках, расположенных по треугольнику и отстоящих один от другого примерно на 50-100 м. Пробу взвешивают, записывают сырую массу и помещают в целлофановый пакет.

Пробы *сена, соломы, мякни, половы, концентрированных кормов* отбирают при закладке их на зимнее хранение. Пробу усредняют,

взвешивают и помещают в матерчатый или целлофановый мешок или в бумажный пакет.

Овощи и корнеклубнеплоды исследуют, как правило, в период уборки, отбирая усредненные пробы (по несколько экземпляров из разных слоев бурта или ящиков в 1 пробу). Очищенные от земли и вымытые, их обрабатывают как одну пробу.

Пробы *мяса* берут и нежирной части туши, не снижая ее товарных качеств. Для анализа можно использовать мышцы шеи или конечностей. Однотипность отбираемых проб позволяет сопоставить получаемые результаты при исследовании мяса разных видов, возрастов и пород животных.

Однотипность следует соблюдать и при отборе проб *костей*, так как отложения остеотропных радионуклидов (например, стронция) неравномерны не только в разных участках одной и той же кости. Для исследования удобно брать последние ребра и шейные позвонки.

Для исследования *мяса птицы* берут 1 тушку, а при небольшой массе – 3-4 тушки, отделяют мясо от костей и делают среднюю пробу. Мышцы и кости исследуют отдельно.

Рыбу для анализа отбирают целыми экземплярами, если она мелкая (при массе до 0,5 кг), а т крупной берут отдельные части (голова с частью тушки, часть тушки с позвоночником). Надо учитывать, что наибольшую концентрацию радиоизотопов обнаруживают в жабрах, плавниках и чешуе, поэтому проба во всех случаях должна быть усредненной.

Чтобы не допустить порчи мяса, костей при доставке в радиобиологический отдел или при хранении, их консервируют. Пробы завертывают в несколько слоев марли, сильно смоченной 4-5%-ным раствором формальдегида, или помещают в плотно закрывающиеся банки (полиэтиленовые мешки), куда вкладывают большой тампон выты или фильтровальной бумаги, смоченной 40%-ным раствором формальдегида.

Целые тушки птицы и рыбы можно консервировать путем инъектирования в них из шприца 5%-ного раствора формальдегида.

Яйца отбирают из одного птичника от птиц, содержащихся на одном рациионе и в одинаковых условиях. Для анализа берут 20-40 яиц, объединяют в усредненную пробу. Всю пробу перед анализом разъединяют на съедобную часть и скорлупу, которые исследуют отдельно. Яйца транспортируют в целом виде в упаковке, обеспечивающей их сохранность.

Пробы *воды* из рек, прудов, озер отбирают у берегов в местах водопоя животных. Если водоем глубокий, то берут 2 пробы: с поверхности и на расстоянии примерно 0,5 м от дна, чтобы не захватить донные отложения. Пробы помещают в чистые бутылки, предварительно ополоснув их в исследуемой воде.

Молоко перед взятием пробы тщательно перемешивают. Из большой тары берут пробы с поверхности и из глубины. Можно надаивать молоко от отдельных коров (выборочно) в чистые бутылки. Для радиометрического и радиохимического анализов используют как цельное, так и сепарированное молоко.

Каждую отобранную пробу взвешивают, помещают в чистую сухую тару, упаковывают ящики и опечатывают. К таре прикрепляют этикетку, где указывают название пробы, место и дату взятия, ее массу.

Спектрометрический метод радиационной экспертизы применяют для анализа сложных смесей без предварительного выделения радионуклидов. Спектрометрия актуальна при «свежих» выпадениях смеси радионуклидов, а когда известен изотопный состав, то нет необходимости проводить спектрометрию.

Ветеринарно-санитарную экспертизу пищевых продуктов проводят в строгом соответствии с требованиями действующих правил с обязательным учетом результатов радиометрических исследований. Продукты животного и растительного происхождения, в которых установлены превышения

предельно допустимых уровней радиоактивной загрязненности, не допускают к реализации [1, 3, 5].

10. Использование радионуклидных методов и радиационной биотехнологии в животноводстве и ветеринарии

Применение современных достижений ядерной физики в ветеринарии, а также в других отраслях сельского хозяйства развивается в следующих направлениях - радионуклиды применяют как индикаторы, или меченые атомы, в исследовательских работах в области физиологии и биохимии животных и растений, а также в разработке методов диагностики и лечения заболевших животных.

Радионуклиды и ионизирующие излучения для диагностических и лечебных целей успешно и широко применяют в медицине. В ветеринарной практике эти способы пока еще малодоступны для повседневного использования, хотя и имеется ряд разработок, показывающих высокую их эффективность и перспективность. Например, положительные результаты радиотерапии получены при актиномикозе у коров, демодекозе у собак, обильном разрастании грануляций и злокачественных новообразованиях конъюнктивы и кожи, асептических воспалительных процессах суставов у лошадей.

А.Д. Белов (1968 г) создал глазной аппликатор и разработал методику его применения при заболевании глаз у животных. С помощью аппликатора, заряженного ^{32}P и ^{89}Sr , были получены положительные результаты при язвенных и инфекционных конъюнктивокератитах, васкуляризации роговицы у телят и собак. Разовая доза 0,5-1 Гр, на полный курс лечения – 2-20 Гр.

Радиоактивные изотопы, используемые для диагностики имеют малый период полураспада и малую радиотоксичность, возможность для регистрации их излучений, характерные биологические свойства (органотропность) при исследовании различных систем и органов. Для

определения интенсивности формирования костной мозоли и выявления очагов пониженной минерализации при различных патологических состояниях используют ^{67}Ga , который участвует в минеральном обмене костной ткани; ^{85}Sr и ^{87}Sr для диагностики первичных и вторичных опухолей скелета, остеомиелита; коллоидные растворы $^{99\text{m}}\text{Tc}$ с $^{113\text{m}}\text{In}$ и другие - для сканирования печени при поражениях паренхимы; ^{131}I -гиппуран – для диагностики функционального состояния почек; $\text{Na } ^{131}\text{I}$ – для оценки функционального состояния щитовидной железы.

Радиоизотопные методы можно использовать для определения скорости кровотока, объема циркулирующей крови, плазмы и эритроцитов. Радиоизотопный метод определения объема циркулирующей крови основан на внутривенном введении определенного количества меченых эритроцитов. Через 10 минут из вены противоположной конечности берут шприцем 1-2 мл крови для анализа радиоактивности и по соответствующим формулам делают расчет объема циркулирующей крови. Также радиоизотопный метод позволяет определить минутный объем сердца, объем крови, циркулирующий в сосудах легких, тканевого и коронарного кровотоков. С помощью радиоактивных газов определяют функциональное состояние всех компонентов внешнего дыхания – вентиляции, диффузии в легочном кровотоке. В клинической практике апробированы многочисленные радиоизотопные тесты внешнего дыхания, в том числе такие, которые могут быть получены только с помощью радиоактивных газов, таких, как этилийодит, меченый ^{131}I , диоксид углерода, ксенон.

Изотопный метод оказался единственно эффективным при исследованиях водного обмена в норме, нарушений обмена веществ, а также инфекционной и неинфекционной патологии, сопровождающейся отеками и другими изменениями.

При некоторых заболеваниях крови (миелофиброз с миелоидной метаплазией селезенки, эритремия в поздней стадии заболевания), а также метастазах рака в костной мозге, раковом остеосклерозе, длительной

гемолитической анемии, миеломной болезни возникает необходимость исследовать функцию селезенки. Для этих целей используют радиоизотопный метод с использованием радиоактивного железа – ^{59}Fe . Метод характеризуется большей точностью. С помощью радиоактивного хрома ^{52}Cr исследуют гематологическую функцию селезенки.

Широкое применение в практике получило сканирование исследуемых органов – селезенки, печени, почек, поджелудочной железы. При помощи этого метода можно получить «карту» распределения радиоактивного изотопа в исследуемом органе и судить о функциональном состоянии последнего. Распределение радиоизотопа обычно бывает представлено в виде штриховой записи на обычной бумаге. Сканирование является методом своеобразной визуализации органов, так как дает наглядное представление о его местоположении, размерах, форме и частичной структурной организации.

Неоценимую помощь оказывает радиоиндикаторный метод в изучении фармакодинамики лекарственных препаратов, скорости и путей их проникновения и выведения из организма в норме и при различных патологических состояниях. Ценные данные были получены при испытании сильно действующих веществ, а также препаратов, которые ранее считались безвредными.

Исследование действия ионизирующей радиации на биологические объекты в зависимости от дозы, мощности облучения и состояния облучаемого объекта послужило основой разработки и внедрения в сельское хозяйство радиационно-биологической технологии (РБТ).

В нашей стране для нужд сельского хозяйства и научных исследований в области радиационно-биологической технологии создан целый ряд передвижной и стационарной техники.

Изучая процесс радиационной стимуляции на молекулярно-биохимическом уровне, радиобиологи показали, что облучение растений приводит к активации многих процессов обмена: усиливается синтез нуклеиновых кислот, белков, гормонов, повышается активность некоторых

ферментов, изменяется проницаемость мембран, усиливается поступление в растения питательных веществ. Все это приводит в итоге к ускорению роста и развития растений.

Одно из новых и перспективных направлений использования ионизирующих излучений — радиационная обработка мяса и мясных продуктов с целью удлинения сроков хранения и обеззараживания при некоторых заболеваниях. Разработана радиационная технология обработки и хранения мясной продукции на основе методов пастеризации и стерилизации. Радиационные методы хранения мясной продукции обладают существенными преимуществами: продление сроков хранения и дополнительно уменьшение потерь при хранении и транспортировке; отсутствие загрязнения химическими препаратами; возможна обработка продукта в любой упаковке, в том числе из полимерных материалов; механизация и автоматизация всего технологического процесса.

В ряде стран в повседневной практике используют рентгеновское и гамма-излучение для стерилизации пластиковой или картонной упаковки, в которой хранят молоко.

Одна из актуальных задач – удлинение сроков хранения рыбы и морских продуктов. Ионизирующие излучения используют для продления сроков хранения картофеля, лука и других овощей [1, 3, 4, 7].

11. Перечень вопросов для выполнения контрольной работы по дисциплине «Ветеринарная радиобиология»

1. Элементы ядерной физики, строение атома.
2. Типы ядерных превращений.
3. Ядерные силы. Дефект массы
4. Характеристика радиоактивных излучений
5. Закон радиоактивного распада. Единицы радиоактивности
6. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом.

7. Методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений. Характеристика основных типов современных приборов, используемых для регистрации излучений ветеринарной радиологической службой
8. Дозиметрия ионизирующих излучений
9. Источники загрязнения окружающей среды. Физико-химическое состояние радионуклидов в воде, почве, кормах, органах и тканях животных.
10. Естественные источники ионизирующих излучений
11. Искусственные источники ионизирующих излучений
12. Миграция наиболее опасных радионуклидов в биосфере, накопление их в кормовых культурах, особенности перехода по кормовым цепочкам
13. Некорневое поступление радионуклидов в кормовые культуры.
14. Миграция радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам.
15. Общие закономерности перемещения радионуклидов в биосфере.
16. Источники и пути поступления радионуклидов в организме. Методы ускорения выведения радионуклидов из организма животных.
17. Классификация радионуклидов по их токсичности для человека и животных.
18. Механизм токсикологического действия радионуклидов.
19. Пути поступления, накопления и выведения из организма радионуклидов.
20. Метаболизм и токсикология радионуклидов.
21. Переход радионуклидов от матери к плоду.
22. Накопление радионуклидов в организме при хроническом поступлении.
23. Переход радионуклидов в продукцию животноводства при разовом их воздействии.
24. Переход радионуклидов из рациона животных в продукции животноводства.
25. В чем заключается особенности накопления и выведения радиоизотопов йода, стронция и цезия.
26. Профилактика лучевой болезни
27. Лечение лучевой болезни

28. Диагностика лучевой болезни
29. Особенности протекания лучевой болезни у КРС
30. Особенности протекания лучевой болезни у лошадей
31. Особенности протекания лучевой болезни у свиней
32. Особенности протекания лучевой болезни у овец и коз
33. Особенности протекания лучевой болезни у кур
34. Теория прямого действия радиации.
35. Теория непрямого действия радиации.
36. Характеристика температурного, кислородного и защитного эффектов.
37. Механизм биологического действия ионизирующего излучения.
38. Механизм опосредованного действия ионизирующего излучения на организм.
39. Чувствительность клеток и тканей организма к ионизирующей радиации.
40. Ионизирующее излучение как один из факторов этиологического характера при различных патологиях.
41. Влияние ионизирующих излучений на нервную систему.
42. Влияние ионизирующих излучений на органы чувств.
43. Влияние ионизирующих излучений на кожу и соединительную ткань.
44. Влияние ионизирующих излучений на эндокринные железы.
45. Влияние ионизирующих излучений на кровь и кроветворные органы.
46. Влияние ионизирующих излучений на органы пищеварения.
47. Влияние ионизирующих излучений на сердечно-сосудистую систему.
48. Влияние ионизирующих излучений на органы дыхания.
49. Влияние ионизирующих излучений на органы выделения.
50. Влияние ионизирующих излучений на кости, хрящи и мышцы.
51. Влияние ионизирующих излучений на органы размножения и потомство животных.
52. Влияние ионизирующих излучений на иммунологическую реактивность животных
53. Прогнозирование поступления радионуклидов в мясо и молоко.

54. Прогнозирование накопления радионуклидов в кормах
55. Прогнозирование и нормирование поступления радионуклидов в организм животных и продукцию животноводства
56. Организация и ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения.
57. Мероприятия по снижению содержания радионуклидов в кормах и продукции животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды.
58. Технологические способы переработки загрязненной радионуклидами животноводческой продукции.
59. Закон радиоактивного распада.
60. Естественная и искусственная радиоактивность.
61. Доза излучения ее мощность и единицы измерения.
62. Пути загрязнения внешней среды радионуклидами.
63. Радиометрия.
64. Спектрометрия.
65. Хроническая форма лучевой болезни.
66. Острая форма лучевой болезни.
67. Принцип бактерицидного действия радиации.
68. Применение метода меченых атомов.
69. Цели и задачи радиационной биотехнологии.
70. Радиационный контроль в животноводстве.
71. Принцип прижизненного определения радионуклидов в организме животных.
72. Средства индивидуальной защиты
73. Пределы доз и условия работы с источниками ионизирующих излучений.
74. Лучевые ожоги у животных
75. Диагностика и лечение лучевых ожогов
76. Особенности заживления ран на фоне лучевой болезни
77. Раны, загрязненные радиоактивными веществами
78. Особенности заживления ожогов на фоне лучевой болезни

79. Отдаленные последствия действия радиации
80. Организация работы с закрытыми источниками ионизирующих излучений
81. Организация работы с открытыми источниками ионизирующего излучения
82. Радиолиз воды
83. Комбинированные лучевые ожоги
84. Теория мишени и попаданий и стохастическая теория
85. Природные радиоактивные вещества
86. Структурно-метаболическая теория
87. Теория липидных радиотоксинов
88. Опосредованное действие радиации
89. Космическое излучение
90. Радиохимический метод объектов ветеринарного надзора
91. Радиометрический метод объектов ветеринарного надзора
92. Сроки и правила отбора проб кормов и продукции животноводства на исследование
93. Агротехнические мероприятия после выпадения радиоактивных осадков
94. Режим питания и содержания животных в радиоактивных условиях загрязнения среды
95. Использование кормов, кормовых угодий, животных и продукции животноводства, загрязненных радионуклидами
96. Метаболизм и токсикология ^{131}I
97. Метаболизм и токсикология ^{90}Sr
98. Метаболизм и токсикология ^{137}Cs
99. История развития радиобиологии
100. Радиочувствительность животных

Таблица 7 - Номера вопросов контрольной работы

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Последняя цифра зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	1, 10, 20, 44, 100	11, 30, 45, 79, 99	8, 21, 40, 67, 98	7, 31, 50, 68, 97	6, 32, 41, 60, 96	5, 33, 51, 70, 95	4, 61, 35, 80, 94	3, 36, 63, 71, 90	2, 37, 62, 81, 100	1, 20, 38, 50, 91
2	2, 20, 29, 40, 90	12, 19, 31, 43, 43	22, 18, 41, 79, 9	32, 17, 55, 78, 94	42, 16, 66, 77, 29	52, 15, 71, 37, 95	62, 14, 81, 75, 47	72, 13, 91, 74, 48	82, 12, 19, 73, 49	92, 41, 8, 72, 63
3	3, 30, 21, 89, 50	13, 29, 32, 71, 55	23, 28, 42, 65, 9	33, 27, 52, 64, 92	43, 26, 62, 93, 8	53, 25, 72, 62, 4	63, 24, 82, 61, 39	73, 23, 92, 60, 44	83, 22, 18, 59, 95	93, 21, 9, 58, 74
4	4, 40, 22, 88, 63	14, 39, 33, 70, 64	24, 38, 43, 57, 78	34, 76, 53, 91, 65	44, 36, 63, 17, 79	54, 35, 73, 48, 66	64, 34, 83, 47, 22	74, 33, 93, 46, 26	84, 32, 17, 45, 67	94, 31, 7, 44, 68
5	5, 50, 23, 87, 69	15, 49, 34, 69, 92	25, 8, 44, 56, 87	35, 47, 54, 9, 88	45, 6, 64, 39, 89	55, 45, 74, 38, 90	65, 44, 84, 37, 91	75, 43, 94, 36, 9	85, 42, 16, 35, 10	95, 41, 6, 34, 17
6	6, 60, 24, 86, 29	16, 59, 35, 68, 27	26, 58, 45, 10, 31	36, 26, 51, 42, 89	46, 56, 65, 33, 20	56, 5, 75, 28, 22	66, 54, 85, 27, 92	76, 53, 95, 26, 48	86, 52, 15, 25, 49	96, 51, 5, 24, 64
7	7, 70, 25, 85, 30	17, 69, 36, 82, 28	27, 68, 46, 54, 32	37, 67, 56, 43, 25	47, 66, 61, 32, 1	57, 65, 76, 23, 12	67, 64, 86, 19, 38	77, 63, 96, 18, 40	87, 62, 14, 49, 32	97, 61, 4, 16, 33
8	8, 80, 26, 40, 62	18, 79, 37, 66, 84	28, 78, 47, 53, 13	38, 77, 57, 42, 34	48, 76, 67, 31, 18	58, 7, 79, 22, 91	68, 74, 87, 4, 28	78, 73, 97, 15, 29	88, 72, 13, 8, 30	98, 71, 3, 11, 45
9	9, 90, 27, 82, 46	19, 89, 38, 65, 47	29, 88, 48, 92, 16	39, 87, 58, 41, 17	49, 86, 68, 30, 18	59, 85, 77, 21, 19	69, 84, 38, 5, 20	79, 83, 48, 14, 32	89, 67, 12, 55, 49	99, 81, 2, 12, 50
0	10, 100, 28, 81, 51	20, 99, 39, 64, 52	30, 98, 49, 7, 21	40, 97, 59, 84, 22	50, 96, 69, 29, 53	60, 95, 78, 20, 54	70, 34, 89, 6, 55	80, 93, 29, 13, 56	90, 52, 11, 43, 75	100, 29, 1, 51, 76

Приложение 1

(Титульный лист контрольной работы)

ФГБОУ ВО ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ А.А. ЕЖЕВСКОГО

Факультет Биотехнологии и ветеринарной медицины

Кафедра анатомии, физиологии и микробиологии

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине «Ветеринарная радиобиология»

(вариант № _____)

Выполнил: студент заочного обучения
(Фамилия, имя, отчество)

Проверил: _____

Иркутск 20__г

Список использованной литературы:

1. Бударков В.А. Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных: Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб заведений / В.А. Бударков, А.С. Зенкин, В.Ф. Боченков. – М.: КолосС, 2008. – 351 с., ил.;
2. Практикум по радиобиологии: учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Колос, 2006. – 302 с.;
3. Белов А.Д. Радиобиология: учеб. для вузов / А.Д. Белов [и др.]. – М.:Колос, 1999. – 383 с.;
4. Ильин Л. А. Радиационная гигиена / Л.А. Ильин, В.Ф. Кириллов, И.П. Коренков – М.: Медицина, 1999. - 380 с.;
5. Ильин Л. А. Радиационная безопасность и защита: Справочник / Л.А. Ильин, В.Ф. Кириллов, И.П. Коренков – М.: Медицина, 1996. - 336 с.;
6. Киршин В. А. Радиобиологические эффекты у животных / В.А. Киршин [и др.] – Москва, 1999. – 123 с.;
7. Лысенко Н.П. Практикум по радиобиологии: учебное пособие / Н.П. Лысенко [и др.]. – М.: КолосС, 2007. – 399 с.
- 8.http://www.docme.ru/doc/1162854/169.savrasov-d.-a.radiacionnye-porazheniya-sel._skohozyaistve
9. <http://cyberleninka.ru/article/n/deystvie-ioniziruyuschih-izlucheniya-na-selskohozyaystvennyh-zhivotnyh#1>
- 10.http://studopedia.net/7_41753_yoda-tseziya-strontsiya-plutoniya-ameritsiya.html