



**Дисциплина**  
**«Ветеринарная  
радиобиология»**

**Лектор: к.б.н., доцент Рязанцева Лариса  
Тихоновна**

# «Ветеринарная радиобиология»

Тема лекции:

**Проблемы и задачи радиозэкологии. Миграция радионуклидов в биосфере, накопление их в кормах, особенности их перехода по кормовым цепочкам**



# ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ

**Радиоэкология** - это наука, изучающая распределение радионуклидов в биосфере, особенности жизнедеятельности организмов растений и животных в условиях с повышенной относительно фоновой радиоактивности.

Радиоактивные источники (радионуклиды) по происхождению делятся на естественные (природные) и искусственные. Естественные радионуклиды появились с момента зарождения планеты Земля, в недрах которой они представлены радиоактивными семействами U-238 ( $T_{1/2} = 4,5$  млрд. лет), U-235 ( $T_{1/2} = 704$  млн. лет). Во Вселенной радионуклиды космогенного характера в недрах звезд, Солнца представлены легкими по массе изотопами.

Искусственные радионуклиды появились в биосфере в результате испытаний и применения атомного оружия, аварий на АЭС и предприятий, использующих радиоактивные источники (металлургическая промышленность, производство ракетного топлива и т.д.). Следствием этого явилось образование радиоактивного облака, по ходу движения которого выпадали радиоактивные осадки, оставляя за собой радиоактивный след. В нем преобладают долгоживущие нестабильные изотопы.

Первичные радиоактивные осадки состоят из тяжелых крупных частиц (конгломератов), оседающих с пылью или дождем на расстоянии до нескольких сотен километров.

Вторичные осадки состоят из более мелких образований радионуклидов, которые поднимаются на несколько километров в средние слои атмосферы и относятся воздушными потоками на сотни и тысячи километров от места взрыва.

Глобальные (поздние) осадки состоят из пылевидных частиц, которые поднимаются в верхние слои атмосферы и с потоками воздуха циркулируют в течение 5 - 6 лет, выпадая в любой точке планеты. Следовательно, радиоактивное загрязнение носит при этом не локальный, а глобальный характер.

Загрязнение водоемов и почвы дает начало распространению радионуклидов по пищевой (биологической) цепи.

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

На миграцию радионуклидов по «пищевым» цепям влияют физико-химические свойства радионуклидов в почве, содержание в ней стабильных изотопов (химических аналогов), свойства самой почвы, коэффициенты накопления, биологические особенности растений и агротехника возделывания культур.

Нахождение радионуклидов в почвенной влаге и перемещение вместе с ней приводит к химическим реакциям с минеральными и органическими веществами, входящими в состав твердой фазы почвы и почвенной влаги, а это, в свою очередь, приводит к возникновению химических соединений радионуклидов, имеющих различную энергию связи. Для них характерна различная степень подвижности в почве: наибольшая – для растворимых в воде соединений, наименьшая – для необменно сорбированных твердой фазой почвы радионуклидов.

Выделяют следующие основные механизмы миграции радионуклидов в почвах:

- конвективный влагоперенос (перемещение радионуклидов с почвенной влагой в направлении внутрипочвенного стока);
- диффузионный перенос свободных и адсорбированных ионов;
- миграция на коллоидных частицах – лессиваж;
- миграция по корневым системам;
- роящая деятельность животных;
- хозяйственная деятельность человека.

При конвективном влагопереносе происходит смещение максимума концентрации радионуклидов с постепенным его уменьшением и своего рода размыванием по почвенному профилю. Это понятие объединяет в себе процессы, имеющие различную физическую природу.

Так, при интенсивном поступлении влаги в результате осадков, особенно в теплое время года, имеет место ярко выраженное перемещение водорастворимых форм в более глубокие почвенные слои вместе с влагой.

По мере уменьшения количества радионуклидов в почвенной влаге – часть их постоянно уходит с влагой в более глубокие слои – происходит изменение соотношения химических форм нахождения радионуклидов в поверхностном слое почвы.

При интенсивном испарении влаги в сухую и жаркую погоду к поверхности почвы происходит подток влаги с глубинных слоев, вместе с ним поднимаются и радионуклиды. Исключением в таком процессе являются болотные торфяные почвы – в них подобный подток влаги имеет место в очень незначительной степени.

Часть радионуклидов в виде свободных ионов почвенного раствора и сорбированных по ионообменному принципу мигрируют в почве в направлении градиента концентрации (то есть от зоны с повышенным содержанием радиоактивных веществ, от поверхностного слоя, в зону с меньшей концентрацией) в результате диффузионного механизма миграции. Этот вид миграции приводит к выравниванию концентрации радионуклидов по всему почвенному профилю с течением времени.

В агробиогеоценозах основная масса радионуклидов более или менее равномерно распределяется в пахотном 25–30 см слое. На этой глубине отмечается ярко выраженная зона аккумуляции радиоактивных веществ, где проходит граница между пахотным и не нарушаемым слоем почвы. Имеется устойчивая тенденция увеличения количества обменных форм радионуклидов при интенсивной обработке почвы (проведение различных обработок, внесение удобрений) по сравнению с целинными землями. Для пахотных земель характерно и более или менее равномерное распределение радионуклидов по химическим формам нахождения в почве.

Для целинных земель радионуклиды распределяются в вертикальном профиле почвы по экспоненциальному закону с преобладанием в поверхностных слоях. По мере заглубления удельная активность их в почвенных слоях уменьшается многократно.

На лугах радионуклиды прочно удерживаются дерниной в верхнем пятисантиметровом слое, чему способствует большое количество гумуса. Из него они довольно медленно мигрируют.

Естественные радиоактивные элементы распределены в лесных почвах практически равномерно: несколько большая их доля характерна для иллювиального почвенного горизонта. Искусственные радионуклиды попали в почвы относительно недавно, поэтому распределяются по более сложным закономерностям.

В лесных экосистемах аккумулятором радионуклидов является подстилка в виде листового или хвойного опада.



# Основные пути поступления радионуклидов в растения

## Внекорневой путь поступления радионуклидов

В процессе осаждения на земную поверхность искусственные радионуклиды сильно задерживаются надземной фитомассой растений. Существование мелкодисперсной фракции выпадений (газов и аэрозолей) приводит к некоторому поступлению их непосредственно в органы и ткани растений. На это влияет плотность растительного покрова, морфология растений, размеры и агрегатное состояние радиоактивных выпадений, метеорологические условия в момент радиоактивных выпадений. До 100 % задерживают радиоактивные выпадения хвойные леса, особенно молодые (до 20 лет). Сильная степень задерживаемости характерна для луговых трав и полное отсутствие таковой для болот.

Период полупотерь или полуочищения, это время, в течение которого с поверхности растений удаляется 50 % радиоактивных частиц. Чем больше размер частиц, тем быстрее они удаляются с поверхности растений. В первые сутки теряется основная масса частиц, наиболее крупнодисперсных, выпавших на растения. В последующее время удаляются все более мелкие частицы. Значительную роль играет влажность окружающего воздуха, дисперсность частиц и физико-химические свойства радиоактивных элементов. Чем меньше размер частиц, тем легче они проникают через кутикулярный слой ассимилирующих органов.

## Корневой путь поступления радионуклидов

Минеральные макро- и микроэлементы, а вместе с ними и радионуклиды, растворенные в почвенной влаге, поглощаются корневыми системами. Поглощение их в ионной форме происходит по следующим трем стадиям:

- 1) Ионы благодаря диффузии относительно легко проникают в свободное пространство корневых волосков. Данный процесс связан с энергией, высвобождающейся при дыхании.
- 2) Поглощенные ионы проникают в проводящие ткани, причем одновалентные, делают это намного быстрее, чем с более высокой валентностью. Между внешней средой и свободным пространством устанавливается равновесное состояние.
- 3) Происходит восходящее движение ионов в сосудистой ткани к фотосинтезирующим органам. Скорость движения зависит от интенсивности транспирации.

В дальнейшем, образованные в результате фотосинтеза органические вещества, а вместе с ними и радионуклиды, перемещаются к активно растущим тканям. Таким образом, происходит перераспределение радиоизотопов в растении.

Выявлена корреляция между содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в растении с его содержанием в почве в кислоторастворимой форме.

## Количественные показатели накопления радионуклидов из почвы

Наиболее часто используемыми количественными показателями поступления радионуклидов в растения являются следующие:

1) Коэффициент биологического поглощения:

количество радиоизотопа в растении (мг/кг золы)

$$K_{бп} = \frac{\text{количество радиоизотопа в растении (мг/кг золы)}}{\text{количество радиоизотопа в почве (мг/кг почвы)}}$$

количество радиоизотопа в почве (мг/кг почвы)

Кроме того, данный показатель оказался совершенно неприменим для искусственных радиоизотопов – их в почве находится крайне мало – стотысячные доли микрограмма.

2) Коэффициент накопления:

концентрация радиоизотопа в растении (мкг/кг сух. в-ва)

$$K_{н} = \frac{\text{концентрация радиоизотопа в растении (мкг/кг сух. в-ва)}}{\text{концентрация радиоизотопа в почве (мкг/кг сух. в-ва)}}$$

концентрация радиоизотопа в почве (мкг/кг сух. в-ва)

или

удельная активность радиоизотопа в растении (Бк/кг)

$$K_{н} = \frac{\text{удельная активность радиоизотопа в растении (Бк/кг)}}{\text{удельная активность радиоизотопа в почве (Бк/кг)}}$$

удельная активность радиоизотопа в почве (Бк/кг)

3) коэффициент пропорциональности или коэффициент перехода:

$$K_n = \frac{\text{удельная активность радиоизотопа в растении (Бк/кг)}}{\text{плотность загрязнения радиоизотопом почвы (Бк/м}^2\text{)}}$$

Этот показатель и коэффициент накопления являются наиболее применимыми при оценке поступления радиоизотопов в растения. Поступление радионуклида зависит от содержания в почве его биологически активных химических аналогов.

Их все можно разделить на изотопные и неизотопные.

Изотопные аналоги – это стабильные нерадиоактивные изотопы для данного радиоактивного изотопа. Например, для  $^{90}\text{Sr}$  это стабильный  $^{88}\text{Sr}$ , для  $^{134,137}\text{Cs}$  это стабильный  $^{133}\text{Cs}$ . Существенно то, что стабильные изотопы искусственных радионуклидов находятся в почвах также в ультрамикроконцентрациях.

Неизотопные аналоги – это химические элементы, принадлежащие к одной и той же группе периодической системы Менделеева. Например, стронций, как кальций и магний принадлежит к группе щелочноземельных металлов, а цезий, как калий, натрий, литий – к щелочным. Этим определяется сходство их поведения и взаимодействия с большей частью химических соединений – их сходные химические свойства, сходное поведение в различных реакциях.

## **Основные пути поступления радионуклидов в организм водных и сухопутных животных**

Радиоактивное загрязнение биogeоценоза, аккумулированное его компонентами, является новым абиотическим фактором среды обитания. Специфическая особенность радиоактивного загрязнения среды обитания состоит в том, что радионуклиды действуют на все живые компоненты биogeоценоза; в результате концентрирования радиоактивных веществ в органах и тканях и вследствие облучения от источников, находящихся вне организма животного, они воздействует как изнутри, так и снаружи.

Популяции, обитающие в условиях повышенного естественного радиационного фона, обладают более высокой радиорезистентностью по сравнению с популяциями тех же видов из местообитаний с нормальным фоном радиации.

Существуют и научно определены (с помощью меченых атомов) три пути поступления радионуклидов в организм животных:

1. Алиментарный – основной.
2. Ингаляционный.
3. Кожный (2 %).

Всасывание радионуклидов у животных – это физиологический процесс активного/пассивного перехода органических и минеральных веществ через мембраны клеток из внешней среды обитания животного внутрь его организма.

Время наступления максимальной концентрации радионуклидов в крови после однократного орального поступления в организм  $^{137}\text{Cs}$  – 6–12 часов. Щелочные и щелочноземельные элементы всасываются 100 %, а тяжелые и редкоземельные элементы – 0,001–2,3 %.

Радионуклиды  $^{137}\text{Cs}$  дают с электролитами организма хорошо растворимые соединения, которые в значительных количествах проникают в кровь через клеточную стенку.

У растущих животных процессы всасывания радионуклидов протекают более быстро, чем у взрослых, что объясняется повышенной проницаемостью биологических мембран, потребностью организмов в минеральных веществах, идущих на построение организма. Снижение всасывание радионуклидов с возрастом можно объяснить уплотнением биологических мембран, уменьшением пор и проницаемости стенки ЖКТ.

Поступление радионуклидов через органы дыхания тоже не исключено, однако роль этого пути бывает второстепенной в сравнении с элементарным путем. Возможно проникновение  $^{137}\text{Cs}$  и через покровы, в частности, через кожу животных.

После прекращения поступления начинается вывод радионуклида из организма. Обычно, чем меньше масса тела, тем интенсивнее идет этот процесс. В основном радиоактивные продукты деления выводятся через желудочно-кишечный тракт. Это характерно для абсолютного большинства радионуклидов. В кале очень высока концентрация тех радионуклидов, которые плохо в нем абсорбируются. При условии установившегося равновесия содержания радионуклида в организме при хроническом его поступлении, концентрация в кале сопоставима с содержанием в рационе.

Выводятся радионуклиды из организма лактирующих животных с молоком.

Оказывает влияние на выведение радионуклидов внесение добавок минеральных элементов – аналогов того или иного радионуклида.

## Основные закономерности миграции радионуклидов

Особенности обитания популяций животных в загрязненном продуктами деления биогеоценозе до сих пор остаются малоизученным вопросом. В природных условиях действие ионизирующих излучений на организм в сочетании с другими экологическими факторами часто оказывается иным, чем при облучении в искусственно созданных условиях лабораторного эксперимента.

Радиоактивные изотопы, проникая в организм, могут надолго задерживаться в нем и вызывать облучение различных органов и тканей. В условиях длительного поступления живые организмы выступают в качестве аккумуляторов радиоактивных веществ, в результате чего концентрация активности в организме нередко становится выше, чем в окружающей среде.

На суше накопление радиоактивных изотопов животными пропорционально плотности загрязнения биогеоценоза продуктами радиоактивного распада, в частности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Степень увлажненности сухопутных ценозов, также может оказывать определенное влияние на уровень концентрации радиоизотопов в популяциях животных. Крупные травоядные млекопитающие, обитающие в высокогорных условиях, накапливают радионуклиды в больших количествах, чем животные, живущие на равнине.



Подвижность животных, определяющая характер пребывания вида на территории, будет существенно влиять на степень их контакта с загрязненным биогеоценозом. В этом случае более высокие концентрации радиоактивных элементов могут быть обнаружены у мелких оседлых животных, имеющих небольшие индивидуальные участки, а самые низкие концентрации – у мигрирующих животных, случайно попадающих на загрязненный участок. Наряду с проблемой миграции радионуклидов по пищевым цепям, существует еще проблема переноса или концентрирования на небольшом участке радиоактивных веществ мигрирующими животными. Вынос некоторого количества радионуклидов с локально загрязненного участка с высоким уровнем радиации в «чистые» биогеоценозы и включения в биологический круговорот возможен, но они, очевидно, невелики.

Таким образом, плотность связей популяций разных видов с загрязненным биогеоценозом и излучателями, аккумулярованными его компонентами, зависит от различий в их экологии, особенностей распределения по трофическим уровням и физико-химических свойств радиоактивных выпадений. В основном, этими факторами определяется количество радионуклидов в организме разных видов и во внутривидовых группах.

Особенность перехода радионуклидов между звеньями «пищевой» цепи определяет соответствующий **коэффициент дискриминации** (от лат. discriminatio - «различение») или различимости. Для Sr-90 и Cs-137 он рассчитывается по формулам:

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

Для более полной характеристики радиационной ситуации на территории хозяйства, в котором проводится отбор проб, обязательно рассчитывают коэффициент дискриминации. Он показывает передвижение, распространение и аккумуляцию (накопление) радионуклидов во всех звеньях биологической цепи.

В «пищевых» цепях, переходя от звена к звену, радионуклиды количественно изменяются, что можно рассчитать по выше приведенным формулам.

Отношение содержания Sr 90 к Ca в биологических объектах получила название *стронциевой единицы* (с.е.).

$$1 \text{ с.е.} = 10^{-12} \text{ Ки Sr}^{90} \text{ на } 1 \text{ г Ca.}$$

Аналогично этому было введено понятие *цезиевой единицы* (ц.е.) - единицы содержания радиоизотопа Cs137 в биологических объектах, соответствующей содержанию 1 мКи Cs137 на 1 г калия, входящего в состав данного объекта:

$$1 \text{ ц.е.} = 10^{-6} \text{ Ки Cs}^{137} \text{ на } 1 \text{ г K.}$$

При наличии дискриминации радиостронция или радиоцезия в пользу соответственно кальция или калия этот коэффициент меньше единицы. Если же он больше единицы, это свидетельствует об интенсивном депонировании радионуклидов в каждом последующем звене «пищевой» цепи.

Это может быть следствием радиоактивного загрязнения окружающей среды, когда идет выброс радионуклидов из почвы с земной массой накопления их. В обычных условиях это происходит при дефиците химически родственных элементов, выступающих в качестве конкурентов кальция и калия.

Стронций и кальций, цезий и калий являются химически родственными и в биологических средах ведут себя сходным образом. Однако, при миграции по звеньям «пищевой» цепи «почва...-...человек» оба элемента аккумулируются в разной степени: в большей - стабильные изотопы. Это, по-видимому, связано с тем, что в обменных процессах, в первую очередь, принимают участие необходимые для организма стабильные изотопы, а при их недостатке в процесс вступают их радиоактивные изотопы-аналоги. В этом проявляется принцип конкурентности.

Критерием допустимой и, как полагают, безопасной для человека концентрации искусственных радионуклидов в продуктах растительного и животного происхождения и в питьевой воде, служат допустимые пределы СанПиН («Санитарные правила и нормы»).

Расчеты предельно допустимых концентраций (ПДК) для продуктивных животных должны исходить из ПДК для человека как потребителя продуктов животного происхождения. Причем радионуклиды, поступающие в организм животных с кормом, могут не оказывать влияния на их продуктивность.

Животные легко переносят большие дозовые нагрузки I131, Sr90 и Cs137, чем человек. Однако мясомолочная продукция от таких животных не может быть использована, так как имеет концентрацию радионуклидов, превышающих ПДК для человека.