

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.06 РАДИОЭКОЛОГИЯ

Специальность 36.05.01 Ветеринария

Специализация Ветеринарное дело

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций по радиоэкологии

1.1 Лекция № 1 Введение в предмет. Атом, его физическая характеристика.....	5
1.2 Лекция № 2 Ядерные реакции.....	6
1.3 Лекция № 3 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом.....	8
1.4 Лекция № 4 Естественные источники радиации.....	10
1.5 Лекция № 5 Искусственные источники радиации.....	11
1.6 Лекция № 6 Аномальные естественные и антропогенные территории повышенной радиоактивности.....	14
1.7 Лекция № 7 Поведение долгоживущих радионуклидов ядерно-энергетического происхождения в экосистемах.....	16
1.8 Лекция № 8 Техногенная радиоактивность среды и здоровье населения.....	19
1.9 Лекция №9 Радиационная гигиена.....	20
1.10 Лекция № 10 Радиоактивные отходы.....	22
1.11 Лекция № 11 Биологическое действие ионизирующих излучений.....	23

2 Методические указания по выполнению лабораторных работ

2.1 Лабораторная работа № 1 ЛР-1 Ядерные превращения (радиоактивные распады).....	25
2.2 Лабораторная работа № 2 ЛР-2 Единицы радиоактивности.....	27
2.3 Лабораторная работа № 3 ЛР-3 Закон радиоактивного распада.....	28
2.4 Лабораторная работа № 4 ЛР-4 Определение радиоактивности расчетным методом по формуле закона радиоактивного распада.....	30
2.5 Лабораторная работа № 5 ЛР-5 Методика определения радиоактивности по Н.В.Верховской.....	31
2.6 Лабораторная работа № 6 ЛР-6 Единицы доз ионизирующих излучений.....	33
2.7 Лабораторная работа № 7 ЛР-7 Мощность дозы и относительная биологическая эффективность ИИ.....	36
2.8 Лабораторная работа № 8 ЛР-8 Расчет доз от внешних источников излучения.....	38
2.9 Лабораторная работа № 9 ЛР-9 Расчет доз от внутренних источников излучения.....	39
2.10 Лабораторная работа № 10 ЛР-10 Основы дозиметрии.....	41
2.11 Лабораторная работа № 11 ЛР-11 Основы радиометрии.....	43
2.12 Лабораторная работа № 12 ЛР-12 Принцип устройства и работы радиометров.....	45
2.13 Лабораторная работа № 13 ЛР-13 Определение суммарной бета-активности в комбикорме.....	47

2.14 Лабораторная работа № 14 ЛР-14 Определение суммарной бета-активности в молоке.....	49
2.15 Лабораторная работа № 15 ЛР-15 Спектрометрический анализ объектов окружающей среды.....	51
3. Методические указания по проведению практических занятий (не предусмотрены РУП).....	53
4. Методические указания по проведению семинарских занятий (не предусмотрены РУП).....	55

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Введение в предмет. Атом, его физическая характеристика»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Содержание предмета
1. Физическая характеристика ЭЧ атома

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Содержание предмета

Радиационная экология – это один из новейших разделов радиационной биологии и медицины, исследующая взаимодействия радиационных факторов среды с отдельными составляющими экосистем (популяциями, сообществами, биоценозами) и экосистемами в целом, с целью выявления их закономерностей, прогнозирования и разработки мер профилактики патологических реакций экосистемного уровня.

Основателем радиационной экологии как науки следует признать российского ученого Н. В. Тимофеева-Ресовского, который в 1955 г. впервые выявил воздействие радиационных факторов на расслоение эволюционно согласованных внутрибиоценозных межвидовых взаимодействий. Однако возникновению этой науки предшествовал ряд других открытий и явлений, способствовавших возникновению и развитию ядерной физики — фундаментальной науки, и радиационной гигиены — прикладной, направленной на защиту прежде всего населения от неблагоприятного воздействия радиационных факторов.

1. История развития радиоэкологии

В истории развития радиоэкологии выделяют несколько этапов. На первом этапе (довоенные годы) основное внимание было обращено на изучение особенностей накопления тяжелых естественных радионуклидов (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и др.) растениями. Этот интерес был связан с разработкой биогеохимических методов поиска урана, а также с изучением закономерностей поглощения тяжелых элементов растениями. В конце 30-х годов были выполнены работы по изучению распространения в почвах тяжелых естественных радионуклидов. Инициатором и руководителем этих исследований был академик В.И.Вернадский, далее эти работы были продолжены его учеником академиком А.П.Виноградовым.

Второй этап развития радиоэкологии связан с проведением в 50-60-х годах интенсивных ядерных испытаний в атмосфере, сопровождающихся выпадением на земную поверхность большого количества искусственных радионуклидов, включающихся в биологический круговорот с участием растений, животных и человека. В этот период были изучены закономерности миграции в почвенно-растительном покрове Земли таких представителей продуктов деления, как ^{90}Sr и ^{137}Cs (основные долгоживущие искусственные радионуклиды в составе смеси осколков деления). Были определены параметры метаболизма этих радионуклидов в организме сельскохозяйственных

животных, а также оценены закономерности накопления искусственных радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства. Эти научные данные послужили основой для определения дозовых нагрузок на население и объективного анализа последствий загрязнения биосферы продуктами деления после ядерных испытаний. Одновременно явились основополагающей основой для заключения в 1963 году Московского договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой, что способствовало предотвращению радиоактивного загрязнения природной Среды в глобальных масштабах.

На третий этап своего развития радиоэкология вступила в конце 60-х годов, в период интенсивного роста ядерной энергетики и использования радиационных технологий в различных отраслях народного хозяйства. Появилось понятие - ядерный топливный цикл (ЯТЦ). На всех этапах ЯТЦ, начиная с добычи уранового сырья и кончая захоронением высокоактивных отходов, происходит высвобождение искусственных радионуклидов в окружающую среду. На этом этапе в радиоэкологии определились задачи, связанные с изучением миграции радионуклидов от предприятий ЯТЦ. На разных этапах ЯТЦ в биосферу поступают подвижные радионуклиды: свинец-210, полоний-210, радий-226, уран-238, стронций-90, йод-131, цезий-137, а также нуклиды с наведенной активностью (марганец-54, кобальт-60, цинк-65 и др.). При работе радиохимических заводов и захоронении высокоактивных отходов в окружающую среду, помимо продуктов деления и нуклидов с наведенной активностью, поступают долгоживущие трансурановые радионуклиды (нептуний-237, плутоний-239, америций-241 и другие), которые, не обладая высокой мобильностью в пищевых цепочках, тем не менее, относятся к числу очень высокотоксичных веществ.

Помимо предприятий ЯТЦ перед радиоэкологией важные задачи ставят и другие стороны хозяйственной деятельности человека, ведущие к увеличению естественного радиационного фона. Так, к числу источников увеличения содержания радионуклидов в сельскохозяйственной сфере можно отнести расширяющееся использование органических и минеральных удобрений и различных химических мелиорантов с повышенным содержанием радионуклидов.

Оценке роли естественного фона ионизирующих излучений, как важного экологического и гигиенического фактора, в настоящее время уделяется должное внимание. Это дает предпосылки к детальному изучению круговорота большого числа естественных радионуклидов в системе почва - сельскохозяйственные растения - сельскохозяйственные животные.

Основу для общей радиоэкологии в большей степени составляет сельскохозяйственная радиоэкология. Выдающаяся роль в становлении и развитии сельскохозяйственной радиоэкологии принадлежит академику ВАСХНИЛ В.М.Клечковскому. Под его руководством велись научно-исследовательские работы по изучению поведения радиоактивных продуктов деления в почвах. Их поступление в растения и накопление в урожае. В.М.Клечковский и его сотрудники описали физико-химические

закономерности взаимодействия большого набора искусственных радионуклидов с почвами, дали оценку количественным закономерностям накопления различных радионуклидов сельскохозяйственными растениями. В последующие годы он со своим коллективом проводит работы и на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий (Челябинская область, 1957). В целом Клечковским и созданной им школой отечественной сельскохозяйственной радиоэкологии были выполнены фундаментальные исследования по почвенной и агрономической химии основных искусственных радионуклидов. В первую очередь радиоактивных продуктов деления и нуклидов с наведенной активностью; их накоплению основными видами сельскохозяйственных растений; поведению в организме сельскохозяйственных животных.

1. Физическая характеристика ЭЧ атома

Общая физическая характеристика элементарных частиц.

Элементарная частица - это очень малая частица вещества, которой на современном уровне знаний нельзя приписать определенную внутреннюю структуру. Элементарные частицы, составляющие атом, различаются и характеризуются следующими основными физическими параметрами - массой покоя, энергией, спином, электрическим зарядом, продолжительностью жизни, скоростью движения.

Масса покоя - это мера количества вещества, содержащегося в данном теле. Массу покоя элементарных частиц выражают в атомных единицах массы (а.е.м.). Одна атомная единица массы - это 1/12 часть изотопа углерода-12 ($1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$).

Энергия - это свойство движущейся материи, она характеризует количественную меру движения материи, которая способна превращаться в работу. Энергию в ядерной физике выражают в электронвольтах (эВ). Один электронвольт - это такое количество энергии, которую приобретает электрон при прохождении электрического поля с разностью потенциалов в 1 вольт. Пользуются кратными величинами электронвольта (кэВ, МэВ). Энергия не существует сама по себе, она присуща материальным объектам. Таким образом, масса и энергия - это есть единая физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу. Иными словами, масса тела - это мера содержащейся в ней материи. Ее можно выразить в эквивалентных единицах энергии и наоборот:

$$1 \text{ а.е.м.} = 931 \text{ МэВ}; \quad 931 \text{ МэВ} = 1 \text{ а.е.м.}$$

Из соотношения Эйнштейна $E = mc^2$ следует, что тело массой m имеет эквивалентную энергию E и, наоборот, полной энергии некоторого материального объекта эквивалентна масса m . Это соотношение не утверждает, что масса и энергия суть одно и то же, оно лишь констатирует, что масса эквивалентна энергии, а энергия эквивалентна массе.

Всякий раз, когда у какого-либо тела или системы происходит изменение энергии, это изменение должно сопровождаться эквивалентным изменением массы (и наоборот), т.е. $\Delta E = \Delta mc^2$. Таким образом, теория относительности

Эйнштейна объединяет два закона - сохранения энергии и сохранения массы - в единый, всеобъемлющий закон: *общее количество массы-энергии в изолированной системе сохраняется постоянным.*

Из приведенного соотношения Эйнштейна вытекает, что даже небольшому количеству массы эквивалентна поистине колоссальная энергия. Но, к сожалению, массу-энергию данного вещества невозможно полностью превратить в полезную энергию. Мы не можем разрушить нейтроны и протоны – а можем высвободить энергию, лишь перегруппировав их так, чтобы полученная масса могла бы отличаться от первоначальной массы. Закон сохранения гласит - *полное число нейтронов и протонов в атоме остается неизменным.*

Перегруппировка протонов и нейтронов внутри ядра может происходить, например, в процессе деления, при котором тяжелое ядро (сталкиваясь при определенных условиях с нейтроном) расщепляется на два осколка. Разность между исходной и конечной массами высвобождается в виде кинетической энергии. (Однако общее число нейтронов и протонов остается неизменным).

Спин - это наличие у электрона дополнительного собственного импульса, который не связан с орбитальными моментами импульса. В объяснение этому добавим, что в классическом представлении электрон изображают в виде вращающегося (***spining***) вокруг своей оси заряженного шарика, и это механическое вращение (***spin***) создает собственный момент импульса. Однако представление об электроне, как о вращающемся шарике, оказалось несостоятельным. Позднее, многочисленными физическими опытами, было установлено, что электрон, помимо собственного механического момента, обладает и собственным магнитным моментом. Отношение этих моментов в 2 раза больше, чем для орбитальных моментов:

$$\frac{\mu_s}{M_s} = \frac{e}{2m_e c}$$

В свете современного представления спин - это внутреннее свойство, присущее электрону, подобно тому, как ему присущи заряд и масса. Спином обладают также протоны, нейтроны, фотоны и другие элементарные частицы, кроме мезонов. Модуль собственного момента импульса электрона определяется спиновым квантовым числом:

$$M_s = 1 / 2 \hbar \sqrt{3}$$

Электрический заряд. Элементарные частицы могут иметь положительный электрический заряд (протоны, альфа-частицы), могут иметь отрицательный заряд (электрон, бета-частицы), могут быть нейтральными (гамма-кванты, нейтрон, нейтрино).

Время жизни или *продолжительность жизни* элементарных частиц различная, некоторые из них устойчивы и жизнь их продолжается бесконечно долго (электроны), у других жизнь составляет доли секунды (позитроны).

Скорость движения у каждой элементарной частицы своя. Так альфа-частица вылетает из ядра со скоростью 17 тыс.км/с., бета -частица - 298 тыс.км/с., гамма-квант - 300 тыс.км/с.

В зависимости от массы покоя элементарные частицы делят на 4 класса:

1 класс - *фотоны* - это электромагнитные излучения, которые не имеют массы покоя. К ним относят гамма - и рентгеновские лучи.

2 класс - *лептоны* - это легкие по массе частицы. К ним относят электроны (e^-), позитроны(e^+), нейтрино (ν). Эти частицы не участвуют в сильных взаимодействиях.

3 класс - *пионы* - это средние по массе частицы. К ним относят, в первую очередь, π -мезоны.

4 класс - *барионы* - это тяжелые частицы. К ним относят протоны, нейтроны.

Уникальным свойством элементарных частиц является возможность их возникновения и исчезновения при различных взаимодействиях друг с другом. Элементарные частицы способны превращаться друг в друга, рождаться одна из другой, что и составляет основу *радиоактивности*.

В настоящее время насчитывается более 30 элементарных частиц атома. По мере изучения свойств атома число их постоянно увеличивается. Ведь только в 30-е годы стало известно о нескольких частицах, составляющих ядро.

1. 2 Лекция № 2 (2 часа).

Тема: «Ядерные реакции»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Виды ядерных реакций
2. Ядерные реакторы

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Виды ядерных реакций

Ядерной реакцией называется процесс сильного взаимодействия атомного ядра с элементарной частицей или с другим ядром, приводящий к преобразованию ядра. Другими словами - это искусственное преобразование атомных ядер. Сущность ядерных реакций состоит в том, что ядра-мишени стабильных атомов, подвергаясь бомбардировке элементарными частицами, захватывают эти элементарные частицы и получают дополнительную энергию. В результате чего образуется составное ядро с избытком энергии, т.е. возбужденное ядро. Переход ядра из возбужденного состояния в стабильное осуществляется путем излучения избыточной энергии в виде альфа-, бета-частиц и гамма-квантов, т.е. в дальнейшем происходит опять-таки процесс радиоактивного распада.

Существуют несколько разновидностей ядерных реакций: реакция нейтронного захвата, реакция с заряженными частицами; реакция деления, цепная реакция и реакция синтеза ядер.

На реакции деления ядер урана и плутония основана работа атомных электростанций.

Искусственное превращение одного химического элемента в другой используют для получения радиоизотопов, применяемых в промышленности, медицине, биологии и научно-исследовательской работе.

Любой процесс, в котором в ядре-мишени в результате бомбардировки его нуклонами, группами нуклонов или гамма-квантами появляются дополнительные нуклоны, называется **ядерной реакцией**. В результате этого часть нуклонов удаляется из ядра или происходит их перегруппировка.

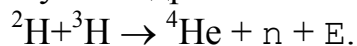
Реакция нейтронного захвата. Простейшая ядерная реакция (**захват нейтрона**) сводится к тому, что ядро с массовым числом A захватывает нейтрон и образует ядро с массовым числом $(A+1)$ с испусканием гамма-кванта.

Реакция деления ядер. В 1939 году немецкий физик-химик Отто Ган, осуществляя обстрел нейтронами ядер урана, установил, что среди продуктов поглощения ураном нейтронов оказался радиоактивный барий ($Z=56$), т.е. элемент ядра которого гораздо легче ядер исходного урана. Это оказалось загадкой. Впоследствии было установлено, что поглощение ураном нейтрона вызывает деление ядра урана на два легких осколка: $U(Z=92)+n \rightarrow Ba(Z=56) + Kr(Z=36)$. Впервые была открыта ядерная реакция нового типа.

Цепные реакции. При делении ядра, кроме двух осколков, в окружающую среду одновременно вылетают еще два-три нейтрона (в среднем - 2,46 нейтрона). Если они на своем пути встретят другие тяжелые ядра, способные к делению, то возникает саморазвивающийся цепной процесс деления. Для этого достаточно при каждом делении только двум нейтронам прицелено попасть в два новых ядра. В третьем акте деления будет участвовать уже 4, в четвертом - 8, а двадцатом - свыше миллиона, а в 60-м акте - 10^{12} ядер.

В атомной бомбе используются ^{235}U или ^{239}Pu , которые быстро делятся любыми нейтронами, а особенно интенсивно - тепловыми.

Реакция синтеза происходит при столкновении двух легких ядер и слиянии их в более тяжелое ядро. Ядрам, участвующим в реакции синтеза, необходимо преодолеть кулоновский барьер, поэтому для реализации такой реакции смесь реагирующих ядер должна быть нагрета до весьма высокой температуры (миллионы градусов). Наиболее эффективным в энергетическом отношении оказался синтез ядер дейтерия и трития, в результате которого образуется ядро гелия и выбрасывается свободный нейтрон



Это будущее науки.

2. Ядерные реакторы

Управляемая цепная реакция ядер тяжелых элементов осуществляется в ядерных реакторах. Они используются в экспериментальных целях в физических лабораториях, для мощных пучков нейтронов. В промышленности ядерные реакторы используют для получения электрической и тепловой энергии, а также для производства ядерного горючего и изотопов. Транспортные ядерные реакторы используются на атомных подводных и надводных кораблях.

Несмотря на широкую область применения, все ядерные реакторы имеют одинаковый принцип устройства.

Устройство реактора. Ядерный реактор состоит из четырех основных компонентов: топливо, замедлитель, охладитель и контрольный стержень. Во многих типах реакторов замедлитель и охладитель являются одним и тем же веществом. Топливо имеет форму длинных тонких стержней, которые размещены внутри замедлителя; это необходимо по двум причинам. Когда реактор работает на любом разумном уровне мощности, внутри топливных стержней вследствие деления ядер выделяется огромное количество энергии, при этом стержни делают тонкими, чтобы дать возможность охладителю быстро отводить от них теплоту. Тонкость стержней обеспечивает быстрый отвод от них теплоты и одновременно позволяет нейтронам, возникающим при делении, попадать в замедлитель, где они теряют свою скорость. После этого замедленные нейтроны вновь попадают в топливные стержни, вызывая новые реакции деления.

1. 3 Лекция № 3 (2 часа).

Тема: «Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Взаимодействие электромагнитных излучений с веществом
2. Взаимодействие корпускулярных излучений с веществом
3. Взаимодействие нейтронов с веществом

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Взаимодействие электромагнитных излучений с веществом

Существуют три основных механизма передачи энергии электромагнитными излучениями в веществе:

- 1) фотоэлектрический эффект;
- 2) эффект Комптона;
- 3) образование электронно-позитронных пар.

Фотоэффект имеет место при энергии фотонов (квантов) не более 0,05 МэВ. Такое взаимодействие характерно для рентгеновского излучения. Эффект Комптона (комptonовское рассеяние) имеет преобладающее значение при энергиях квантов более 0,05 МэВ. Образование электронно-позитронных пар характерно для гамма-квантов с энергией равной или более 1,01 МэВ. Показать схемы взаимодействия и показать проникающую способность в воздухе и в биологической ткани.

В основе взаимодействия ионизирующих излучений с веществом лежит механизм передачи ими энергии на ионизацию и возбуждение нейтральных атомов и молекул этого вещества.

В понятие "вещество" входят все окружающие нас предметы, в т.ч. воздух, растительные и животные организмы.

Взаимодействия излучений с веществом имеют свои особенности и зависят от их физической природы.

2. Взаимодействие корпускулярных излучений с веществом

Механизм передачи энергии всех заряженных частиц один и то же. При прохождении через вещество они постепенно теряют свою энергию в результате взаимодействия с электронами атома и с электрическим полем ядра. В процессе взаимодействия с электронами встречных атомов кинетическая энергия альфа - и бета-частиц затрачивается на ионизацию, т.е. на отрыв электронов от атомов.

Ионизация - это процесс превращения нейтральных атомов в электрически заряженные частицы - ионы. Показать проникающую способность в воздухе и в биологической ткани.

3. Взаимодействие нейтронов с веществом.

Нейтроны, будучи нейтральными ядерными частицами, беспрепятственно проникают вглубь атомов, сталкиваются с их ядрами, при этом могут **поглощаться** ядрами или **отталкиваться** от них.

В случае поглощения атомными ядрами нейтронов, возникают ядерные реакции. Процесс же **отталкивания** нейтронов от ядер встречных атомов называют упругим рассеянием. Оно характерно при встрече с ядрами легких элементов. Поэтому вещества, содержащие много водорода (графит, вода, парафин), используют для защиты от нейтронного излучения; в них нейтроны быстро растрачивают свою энергию и замедляются.

1. 4 Лекция № 4 (2 часа).

Тема: «Естественные источники радиации »

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Радиоактивные семейства
2. Частная характеристика естественных радионуклидов
3. Характеристика легких и тяжелых радионуклидов

1.4 .2 Краткое содержание вопросов:

1. Радиоактивные семейства

Все существующие источники ионизирующих излучений разделяются на две основные группы: естественные и искусственные.

Естественными их называют потому, что они образуются и существуют в природных условиях.

Искусственные радиоактивные источники это те, которые получает человек в результате ядерных реакций.

До 1934 года были известны только естественные радиоактивные источники, за счет которых живые организмы получают основную часть облучения. Биосфера Земли содержит более 80 естественных радионуклидов, которые делят на две категории: первичные и космогенные.

Первичные радионуклиды - это представители земной коры.

Космогенные радионуклиды образуются в основном в атмосфере в результате взаимодействия космического излучения (нейтронов, протонов и др.) с ядрами атомов кислорода, натрия, аргона, а затем поступают на земную поверхность с атмосферными осадками. Эта группа представлена 20

радионуклидами с периодами полураспада от нескольких минут (^{38}Cl) до сотен тысяч лет (^{26}Al). В радиологическом плане наиболее значимыми в этой группе являются - тритий, бериллий-7 (^7Be), углерод-14 (^{14}C), натрий-22 (^{22}Na) и натрий-24 (^{24}Na).

На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре.

2. Частная характеристика естественных радионуклидов

Различают 3 семейства естественных радиоактивных источников, находящихся в земной коре:

1 семейство - *урана-радия*, где родоначальником является уран-238 (^{238}U). После 14 последовательных радиоактивных превращений (распадов) из урана-238 образуется стабильный изотоп свинца – 206 (^{206}Pb).

2 семейство - *актино-урана*. Родоначальником семейства является уран-235 (^{235}U). После 11 радиоактивных превращений из урана -235 образуется стабильный изотоп свинца -207 (^{207}Pb).

3. Семейство - тория.

Родоначальником данного семейства является торий-232 (^{232}Th). После 10 последовательных радиоактивных превращений из тория-232 образуется стабильный изотоп свинца-208 (^{208}Pb).

Кроме того, существуют естественные радиоактивные изотопы, не входящие в состав семейств, их насчитывается несколько десятков. Наиболее важными из них являются: тритий (^3H); углерод-14 (^{14}C); калий-40 (^{40}K). Тритий и углерод-14 постоянно образуются в атмосфере в результате воздействия космических лучей на ядра азота. А затем, соединяясь с кислородом воздуха, тритий в виде сверхтяжелой воды, а углерод -14 в виде углекислого газа попадают в нижние слои атмосферы, почву, воздух, растения, живые организмы.

Калий-40 находится в смеси всех калиев, т.е. в любом из калиев имеется калий-40.

3. Характеристика легких и тяжелых радионуклидов

Природные или естественные радионуклиды по типу их поведения в почве делят еще на **легкие и тяжелые**.

В группу **тяжелых** естественных радионуклидов выделены нуклиды трех радиоактивных семейств - уран-235, уран-238 и торий-232. Все остальные естественные радионуклиды отнесены к легким.

Легкие естественные радионуклиды

Тритий (H-3) - радиоактивный изотоп водорода ($T_{1/2}$ - 12,34 года), массой 3,025 а.е.м. Распад трития сопровождается β -излучением с энергией 0,0186 МэВ. При взаимодействии космических излучений (γ - и нейтронное излучение высоких энергий) с азотом, кислородом и аргоном в атмосфере образуется

природный ^3H . В Мировом океане находится 65% природного ^3H , на земной поверхности и в наземной биоте - 27%. Антропогенный тритий образуется и поступает в окружающую среду при производстве ядерной энергии на двух этапах ядерного топливного цикла - при работе реакторов и при переработке отработанного топлива. Наряду с этим, источником поступления ^3H в окружающую среду являются испытания ядерного и термоядерного оружия. Около 99% количества природного ^3H превращается в тритированную воду - H_3HO . Следовательно, поведение трития в почве обусловлено закономерностями поведения воды. В целом поведение трития в биосфере полностью определяется поведением стабильных изотопов - протия и водорода. В виде H_3HO и других соединений тритий включается практически во все реакции, присущие биогеохимическому циклу водорода.

Углерод - имеет радиоактивный основной изотоп ^{14}C , который является β - излучателем с энергией 156 кэВ и периодом полураспада, равным 5730 лет. Поступает во внешнюю среду в результате космического излучения, а также в результате ядерных взрывов, производства ядерной энергии, сжигания ископаемого топлива, использования препаратов, меченных ^{14}C . Образующийся в биосфере углерод-14, соединяясь с кислородом, превращается в $^{14}\text{CO}_2$, который затем вступает в обычный геохимический цикл углерода. В почвах углерод-14 входит в состав гумуса, карбонатов и углеродсодержащих соединений почвы. По содержанию углерода-14 в почве определяют ее возраст.

Калий имеет один радиоактивный изотоп K-40 . Калий-40 является β - излучателем с энергией 1,32 МэВ и периодом полураспада, равным 1,28 10^9 лет. При распаде калий-40 превращается в стабильный изотоп кальция-40. Калий-40 вносит основной вклад в естественную радиоактивность почв. Существует специальное понятие - калийный фон, отражающее вклад калия-40 в суммарное содержание радионуклидов. На практике применяется в качестве эталона для измерения суммарной β -активности. Поведение калия-40 в почве и звеньях биологической цепи полностью определяется поведением его стабильных изотопных носителей (калий-39, калий-41). Калий почвы представлен: калием почвенного раствора, обменным калием, труднообмениваемым калием и калием почвенных минералов. При нарушении равновесия, существующего между этими формами, ионы K^+ заново перераспределяются между указанными формами. Равновесие между калием почвенного раствора и обменным калием достигается за несколько минут. Равновесие между труднообмениваемым калием и первыми двумя устанавливается в течение нескольких дней или месяцев. Превращение калия почвенных минералов идет очень медленно и зависит от природы минералов. В почвенном растворе калий существует в виде ионов K^+ . Его концентрация варьирует от 0,1 до 200 мг/л. Количество обменного калия в почвах находится в пределах 40-50 мг/кг. Основные K-содержащие минералы почвы биотит, московит, ортоклаз, микролин и иллит. Фиксированный калий удерживается сетками глинистого минерала и недоступен для обмена с катионами раствора.

Тяжелые природные радионуклиды

Уран. Большая часть естественных радионуклидов содержится в горных породах, образующих толщу земной коры. Природный уран состоит из трех радиоактивных изотопов - уран-234, 235, 238. Наиболее важным в радиологическом и токсикологическом отношении является уран-238, который является α -излучателем с энергией 4,18 МэВ и периодом полураспада, равным 4,5 миллиарда лет. Содержание урана -238 в почве определяется прежде всего его концентрацией в материнской породе. В различных видах почв содержание урана - 238 колеблется в пределах от $3,4 \cdot 10^{-4}$ до $2,2 \cdot 10^{-4}$ %%. Так как уран- 238 находится в почвах в высоких массовых концентрациях, то его поведение существенно влияют химические свойства самого элемента. В почвах уран - 238 может присутствовать в виде растворимых в воде соединений, в виде адсорбированных на органических и глинистых коллоидах ионов и молекул, в форме оксидов и других трудно растворимых соединений. Распределение радионуклида между жидкой и твердой фазами почвы зависит от P_h почвенного раствора.

Сорбция урана - 238 твердой фазой почвы зависит от концентрации радионуклида в растворе и окислительно-восстановительного потенциала почвы.

Торий. Из шести радиоактивных изотопов тория наиболее важным является ^{232}Th . Торий-232 имеет период полураспада, равный примерно 14 млрд. лет, α -излучатель с энергиями 3,98МэВ и 4,0МэВ. Среднее содержание тория-232 в почвах русской равнины колеблется в пределах $8 \cdot 10^{-4}\%$ до $4,3 \cdot 10^{-4}\%$. Источником загрязнения внешней Среды торием-232 является применение фосфорных удобрений, где содержание этого изотопа достигает 25Бк/кг. Основным фактором, определяющим поведение тория-232, является его высокая концентрация в почвах. Сорбция тория в почвах зависит от ряда факторов: степени окисления тория, рН почвенного раствора, гидролиза и образования труднорастворимых полиядерных коллоидов, концентрации его в почвенном растворе.

Радий. Природный радий имеет 4 радиоизотопа. Главный из них - радий-226. Это α -излучатель с энергиями в пределах 4,6-4,8 МэВ, широко распространен в виде включений во многие образования. В процессе закрепления и распределения радия в компонентах почв исключительно важную роль играют носители - щелочноземельные элементы. Радий закрепляется твердой фазой почв, в результате ионного обмена. В почвах радий-226 обладает наибольшей миграционной способностью, по сравнению с другими тяжелыми естественными радионуклидами. Содержание подвижных соединений радия-226 в почве равно примерно 40%.

Полоний. Природный полоний (Po) имеет семь радиоизотопов. Долгоживущим из них является полоний-210, с периодом полураспада 138,4 суток. Полоний-210 - α -излучатель с энергией 5,29 МэВ. Закрепление и распределение в компонентах почв этого радиоизотопа исключительно важную

роль играют стабильные носители. На формообразовательные процессы полония-210 влияет pH почвы. Он способен образовывать большое число комплексных соединений и мигрировать вместе с ними в почвах.

Свинец. Природный свинец имеет 4 радиоактивных изотопа, наиболее важный из них ^{210}Pb . Это β -излучатель, с энергией 0,018 МэВ и периодом полураспада 19,4 года. Закрепление свинца в верхних горизонтах почв зависит от содержания органического вещества и идет более интенсивно в тех почвах, где содержание органического вещества выше. Сорбция свинца-210 почвами изменяется в зависимости от pH раствора, концентрации обменных катионов и характера органического вещества. В кислых почвах свинец-210 присутствует главным образом при незначительном содержании органических комплексов. В карбонатных почвах свинец-210 - малоподвижен, так как образуют преимущественно нейтральные комплексы и незначительные концентрации катионных форм. Твердой фазой почв свинец-210 может сорбироваться как в катионной так и анионной формах, может связываться глинистыми минералами, оксидами марганца, гидроксидами железа и алюминия, частицами карбоната кальция и органическим веществом. Органическим веществом почвы свинец-210 сорбируется очень прочно, закрепление глинистыми минералами носит обратимый характер.

Радон (Rn). Наибольший радиологический интерес представляют радон-222 и радон-220. Радон-222 является α -излучателем с энергией 5,48 МэВ и периодом полураспада - 3,8 суток. Радон-220 называют еще тороном, является α -излучателем с энергией 6,28 МэВ и периодом полураспада 54,5 секунды. Будучи инертными газами, эти радиоизотопы мало вовлекаются в круговорот из почвы, но играют существенную роль как источники внешнего облучения человека и животных.

1. 5 Лекция № 5 (2 часа).

Тема: «Искусственные источники радиации »

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Предприятия ЯТЦ
2. Крупнейшие аварии на ядерных объектах гражданского назначения
3. Аварии на ядерных установках и предприятиях военного назначения

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1. Предприятия ЯТЦ

Ядерный топливный цикл (ЯТЦ) включает в себя добычу урановой руды, обогащение урановой руды, переработку отработанного ядерного топлива, транспортировку ядерных материалов, радиоактивные отходы и их

захоронения, а также отходы при эксплуатации исследовательских ядерных установок гражданского назначения.

Различают два вида ЯТЦ - открытый (разомкнутый) и закрытый (замкнутый). В закрытом ЯТЦ осуществляется переработка отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с целью возврата в цикл невыгоревшего ^{235}U и почти всей массы ^{238}U , а также изотопов плутония, образовавшихся при работе ядерных реакторов.

Из 34 стран, имеющих ядерную энергетику 5 государств (Индия, Япония, Великобритания, Россия и Франция) перерабатывают или пытаются переработать ОЯТ на своих предприятиях. Большинство стран, включая Канаду, Финляндию, Германию, Италию, Нидерланды, Швецию, Швейцарию, Испанию, США, Китай и др., предпочитают либо хранить ОЯТ, пока не будет найден эффективный метод переработки, либо передают ОЯТ на переработку другим странам.

В настоящее время лишь Англия, Франция и Россия перерабатывают ОЯТ других государств. В концепции развития атомной энергетики в РФ отмечается, что до 2010 года ядерная энергетика может развиваться в открытом топливном цикле, поскольку учитывая значительные запасы уранового сырья России, нецелесообразно с экономической точки зрения расширять переработку отработанного топлива, по крайней мере, в ближайшие годы. В открытом ЯТЦ отработанное ядерное топливо считается высоко радиоактивным отходом.

2. Крупнейшие аварии на ядерных объектах гражданского назначения

Майл-Айленд (США, 1979г). Авария на АЭС с реактором типа ВВЭР произошла 28 марта 1979г. в г. Три-Майл-Айленд с населением около 60 тыс. человек. К моменту аварии второй блок АЭС находился в эксплуатации 3 месяца. В день аварии, когда этот блок работал на полной мощности, произошел сбой в работе оборудования из-за ошибок операторов, что повлекло за собой два выброса в атмосферу радиоактивных газа. Были выброшены ксенон-133 (активность 1 млрд. Ки), йод-В1 (15 Ки). (Выброс наиболее опасного в биологическом отношении йода-133 здесь был примерно в тысячу раз меньше, чем при аварии в Уиндскейле). По официальным данным индивидуальные дозы, полученные населением, проживающем в радиусе 7, 13, 80 км, за весь период аварии составила соответственно 84,71 и 1 мбэр.

Чернобыль (СССР – 1986). В ночь с 25 на 26 апреля 1986г на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), расположенной в 160 км к северу от Киева и в 15 км к северо-западу от Чернобыля (Киевская обл.), произошла крупнейшая в мировой истории авария, повлекшая за собой тяжелые последствия для людей и окружающей среды. Авария произошла на четвертом энергоблоке ЧАЭС, сопровождалась разрушением части активной зоны реактора, продолжительным горением графита и выбросом в атмосферу огромного количества радиоактивных продуктов деления. По функциональным оценкам суммарная

активность выброса составила 50 Ки (без инертных газов), что составило 4% общей активности топлива в реакторе. Это в тысячу раз больше, чем при аварии на АЭС Три-Майл-Айленде (США). В составе выброса преобладали короткоживущие радионуклиды и в первую очередь йод-131. Из долгоживущих радионуклидов преобладал Cs-137. Стронция-90 было значительно меньше (в отличие от Кыштымской аварии, 1957). Еще меньше было плутония-239, представляющего наибольшую опасность в долгосрочном плане и входящего в состав активных частиц. Большая высота радиоактивного выброса (до 2 км) и изменчивость метеорологической обстановки в период 26 апреля – 10 мая 1986 г (прежде всего изменение ветра на 360°) определили особенности выпадения. Радиоактивные выпадения были зарегистрированы на удалении более 2 тыс. км от места аварии, затронув территорию, по крайней мере 20 государств. Только на территории Белоруссии, Украины и России, пострадавших более всего, загрязнению Cs-137 с плотностью выпадений свыше 1 Ки/км² подверглась территория 131 тыс. км² с населением около 4 млн. человек, в т.ч. около 1 млн. детей. Наибольшее количество радионуклидов выпало в Белоруссии, оказалось загрязнено 6% территории страны, на которой проживало 2,1 млн. человек, или каждый пятый житель республики. По оценке экспертов Научного комитета ООН по действию атомной радиации, полная коллективная эквивалентная доза для населения всех стран мира, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие чернойбыльской катастрофы, составляет 600 тыс. человек. Основная угроза здоровью людей обусловлена воздействием доминирующих радиационных факторов йода-131, цезия-137 и стресса. У 1,5 млн. человек, проживающих в зонах наибольшего загрязнения йодом-131, дозы облучения щитовидной железы составили у 87% 30 сГр, у остальных свыше 30 и 100 сГр (при дозовом пределе 17,3 сГр). Стрессовые факторы, связанные с аварийной ситуацией и эвакуацией. Привели к росту сердечно-сосудистых заболеваний, прежде всего ишемической болезни сердца.

Для предотвращения развития аварии на ЧАЭС были приняты экстренные меры, которые заключались в тушении огня, глушение разряженного реактора, сооружении над ним защитного «саркофага». В отличие от экстренных мер, действия по защите населения были произведены с опозданием и недостаточно широко. Граждане СССР впервые услышали об аварии на следующий день из сообщений иностранного радио, а из собственных средств массовой информации только через неделю. О масштабах катастрофы – через 3 года. Эвакуация людей из города Припять началась с задержкой более чем на 12 часов. Снабжения населения йодными препаратами также было проведено с большим опозданием – почти через неделю, в то время как период полураспада йода-131 составляет 8 суток.

Выпавшие радиоактивные вещества оказали соответствующее воздействие на флору и фауну загрязненной территории. Так исследование динамики численности мышевидных грызунов на участках с различными уровнями ионизирующего излучения показали существенное снижение их численности в год аварии на наиболее загрязненных участках ближней зоны ЧАЭС, что можно

объяснить гибелью животных под действием облучения. В дальнейшем численность грызунов восстановилась за счет мигрантов. Осенью 1986 года происходило размножение животных, но при этом наблюдалась высокая эмбриональная смертность. Выявлены морфологические изменения и нарушения в системе крови и печени у мышевидных грызунов, отмечены и генетические нарушения.

3. Аварии на ядерных установках и предприятиях военного назначения

Хэнфорд (США). Хэнфордский ядерный комплекс (штат Вашингтон) расположен на берегах реки Колумбия. Он был построен в 1943 г. как секретный город-комбинат, для производства оружейного плутония. В период с 1944 по 1956 годы в результате его деятельности в атмосферу было выброшено около 530 тысяч Кюри (Ки). Именно здесь был произведен плутоний для атомной бомбы, сброшенной в 1945 г. на японский город Нагасаки.

Южный Урал (СССР). В 1949 году в Челябинской области был осуществлен пуск первого в стране промышленного комплекса по получению плутония и других делящихся материалов для изготовления ядерного оружия на базе которого впоследствии было создано производственное объединение «Маяк». Это стало точкой отсчета появления на территории области зон национального экологического бедствия.

Первая аварийная ситуация (1949 – 1956гг). Несовершенство, а подчас и полное отсутствие систем радиационного и технологического контроля привели в 1949-1956 годах к колоссальному сбросу в реку Теча, являющуюся частью речной системы Исеть-Иртыш-Тобол-Обь, 76 млн. м³ жидких радиоактивных отходов радиохимического производства суммарной активностью 2,7 млн.Ки, неконтролируемому выбросу радиоактивных аэрозолей в атмосферу. Радиационному загрязнению подверглись поймы реки Теча (протяженностью 240 км) и Исеть, причем в наибольшей степени в верховьях реки Теча, где максимальные дозы облучения населения достигали 170 сЗв. В результате этого повышенному облучению подверглись 124 тыс. человек, проживающих в прибрежной зоне рек Теча и Исеть Челябинской и Курганской областей. Было отселено 7,5 тыс. человек из 22 населенных пунктов.

Вторая аварийная ситуация (1957г.). В сентябре 1957 года конструкционные недостатки первых емкостей для хранения жидких высокоактивных отходов, образующихся в технологической цепочке создания ядерных боеприпасов, привели к перегреву одной из емкостей и последующему взрыву содержащихся в ней нитратно-ацетатных солей. Эта авария известна как Кыштымская. Она является одной из наиболее тяжелых аварий в мировой практике.

Уиндскейл (Великобритания, 1957). В Уиндскейле два реактора с газовым охлаждением и графитовым замедлителем использовались для получения плутония. Авария произошла 10 октября 1957г. Вследствие ошибки,

допущенной при эксплуатации, температура топлива в одном из реактивов резко возросла, и в активной зоне реактора возник пожар, продолжавшийся в течение четырех суток. Было повреждено 150 технологических каналов, что привлекло за собой выброс радионуклидов через 125-метровую трубу. Основное количество радиоактивных веществ было выброшено во внешнюю среду при попытке охладить реактор с помощью струи воздуха и затем при тушении пожара с помощью воды, подаваемой насосом в реактор. Активность попавших в окружающую среду радионуклидов составила: йод-131 – 20 тыс. Ки, теллур-132 – 1200 Ки, цезий-137 – 600 Ки, стронций-89 – 80 Ки, стронций-90 – 2 Ки. Суммарная активность составила около 22 тыс. Ки.

Томск-7 (Россия, 1993г). Авария на радиохимическом заводе Сибирского химического комбината в Томске-7 (Северске) произошла 6 апреля 1993 года. На заводе перерабатывались отходы, содержащие уран и плутоний. Метеорологическая ситуация в день аварии усугубила загрязнение, поскольку наблюдалось интенсивное вихревое перемешивание воздушных потоков, мокрый снег в сочетании с туманом, что способствовало осаждению аэрозолей на поверхности. В силу наличия двух источников выброса в окружающую среду, разрушение аппарата и залповый характер выброса общую суммарную активность выброса установить не представилось возможным. В целом в пределах дозы 20 мкР/ч и выше площадь загрязнения составила около 35 км². Максимально загрязненная площадь с мощностью дозы более 1 тыс. мкР/ч оказалась в пределах комбината и его санитарно-защитной зоны. Анализ проб почвы показал, что поверхностное загрязнение плутонием и стронцием-90 превышает глобальные выпадения от ядерных испытаний.

1. 6 Лекция № 6 (2 часа).

Тема: «Аномальные естественные и антропогенные территории повышенной радиоактивности»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Естественные территории повышенной радиоактивности
2. Аварийное радиоактивное загрязнение среды

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Естественные территории повышенной радиоактивности

Уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры.

В целом среднемировой радиационный фон колеблется в пределах 4- 24 мкР/час. Есть, однако, такие места, где уровни земной радиации намного выше. Бразилия- в 600 км от Сан-Паулу на морском курорте уровень радиации превышает средний примерно в 600 раз. Гурапари - небольшой город (Бразилия), здесь уровень радиации превышает средний примерно в 150-200 раз. Эти города стоят на песках, богатых торием.

В другой части света, на юго-западе Индии 70000 человек живут на узкой прибрежной песчаной полосе богатой торием. Уровень радиации здесь выше среднемирового в 50-100 раз.

Иран, город Рамсер, бьют ключи, богатые радием. Уровень радиации здесь превышает среднемировой в 400 раз.

Основную дозу облучения от естественных источников радиации земного происхождения организм получает за счет внутреннего поступления их с пищей, водой и воздухом.

Значительную дозу внутреннего облучения организм получает от нуклидов радиоактивного семейства урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов семейства тория-232.

Например, нуклиды, свинца-210 и полония-210, поступают в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения. Десятки тысяч людей на Крайнем Севере питаются в основном мясом северного оленя (карибу), в котором оба упомянутых выше радиоактивных изотопа присутствуют в довольно высокой концентрации. Эти изотопы попадают в организм оленей зимой, когда они питаются лишайниками, которые накапливают оба изотопа. А в другом полушарии люди, живущие в Западной Австралии в местах с повышенной концентрацией урана, получают дозы облучения, в 75 раз превосходящие средний уровень, поскольку едят мясо и требуху овец и кенгуру.

В последнее время особое внимание отводится радону. Он попадает в организм с вдыхаемым воздухом. Это тяжелый газ, в 7,5 раз тяжелее воздуха. В природе радон встречается в двух основных формах: в виде радона-222, члена радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и в виде радона-220, члена радиоактивного ряда тория-232. Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе различается. Поступая из грунта через фундамент и пол, высвобождаясь из строительных материалов, таких как гранит, пемза, глиноземы, радон в больших количествах скапливается в плохо проветриваемых помещениях. Уровень радиации в строениях из гранита и пемзы превышает естественный примерно в 500 раз. Высокой удельной радиоактивностью обладает и кальций-силикатный шлак, применяемый в качестве компонента бетона и других строительных материалов. Фосфогипс широко применялся при изготовлении строительных блоков, сухой штукатурки, перегородок и цемента. Главный источник поступления радона в закрытые помещения - это грунт. Особенно богаты радоном одноэтажные здания (коттеджи с подвалами).

Известны случаи применения в строительстве даже отходов урановых рудников (США, штат Колорадо).

Мероприятия, снижающие поступление радона в помещения: проветривание, облицовка стен пластиковыми материалами из полиамида, поливинилхлорида, полиэтилена, окрашивание, оклейка обоями и т.д.

Еще один источник поступления радона в помещения - вода и природный газ. Радоном богата вода из артезианских скважин и глубоких колодцев. При

кипячении радон из воды улетучивается. Много радона скапливается в ванных комнатах. При обследовании домов в Финляндии оказалось, что в ванных комнатах концентрация радона в 40 раз выше, чем в жилой комнате.

Космические лучи в основном приходят к нам из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Представлены они заряженными частицами.

Космические лучи могут достигать поверхности Земли или взаимодействовать с ее атмосферой, порождая вторичное излучение и приводя к образованию различных радионуклидов.

Нет такого места на Земле, куда бы ни падал этот невидимый космический душ. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Северный и Южный полюсы получают больше радиации, чем экватор.

Радиация за счет космических лучей увеличивается по мере подъема над уровнем моря. 12000 метров (максимальная высота полета трансконтинентального авиалайнера) уровень радиации возрастает, примерно в 25 раз и продолжает расти при дальнейшем увеличении высоты до 20000 (сверхзвуковые реактивные самолеты).

Природный радиационный фон создает основной вклад в общую дозу облучения населения. Годовая доза от естественных радионуклидов в среднем равна 2,2 мЗв и обусловлена присутствием радона в воздухе зданий и сооружений (1,0 мЗв); гамма-излучением радионуклидов, содержащихся в грунте и стройматериалах (0,5 мЗв); поступлением радионуклидов в организм с пищей и водой (0,4 мЗв) и наконец, космическим излучением (0,3 мЗв). В России действует контрольный уровень, равный 33 мкР/час над гамма-фоном открытой местности.

Естественная радиоактивность воздуха обусловлена наличием радионуклидов, возникающих в атмосфере в результате воздействия космического излучения, радиоактивных газов, поступающих из верхних слоев земной коры, и их дочерних продуктов, в результате жизнедеятельности человека.

Радионуклиды под воздействием космического излучения обязаны своим происхождением вторичному космическому излучению, имеющему в своем составе нейтроны различных энергий. Большая часть нейтронов, взаимодействуя с ядрами азота воздуха, дает начало радиоактивному углероду (^{14}C). Следует отметить, что подобного рода процессы наблюдаются только на высоте свыше 9000 м над уровнем моря. В результате воздействия космического излучения на азот атмосферы, на нашей планете ежегодно возникает примерно 10 кг углерода-14, а общее количество его в атмосфере планеты составляет примерно 80 т. Образующийся в верхних слоях атмосферы радиоактивный углерод, соединяясь с кислородом, дает двуокись углерода, которая включается в обычный для углерода цикл обмена его между атмосферой, почвой и органическим миром. За многовековой период радиоактивный углерод

равномерно распределился в стабильных изотопах, и равновесная концентрация в смеси изотопов составляет примерно 0,3 Бк на 1 г. Это соответствует концентрации радиоактивного углерода в атмосферном воздухе, равной $4,8 \times 10^{-5}$ Бк/л ($1,3 \times 10^{-15}$ Кл/л).

Другим радиоактивным изотопом, возникающим под воздействием космического излучения, является тритий, образующийся главным образом по реакциям $^{14}\text{N}(n, ^3\text{H})$, ^{12}C и $^{16}\text{O}(p, ^3\text{H})$ ^{14}O .

Вследствие тех же причин, которые привели к повсеместному распространению ^{14}C , содержание трития в окружающей среде в целом постоянно и очень мало, достигает отношения к стабильному водороду. Под воздействием космического излучения появляются также бериллий-7, бериллий-10, фосфор-32 и другие радиоактивные элементы. Последние вносят в дозу фонового облучения человека еще меньший вклад по сравнению с тритием, поэтому гигиенического значения они не имеют.

К радиоактивным газам, которые поступают из верхних слоев земной поверхности, относятся эманации, возникающие при распаде дочерних продуктов урана (^{222}Rn), тория (^{220}Th) и актиния (^{219}Ac). Скорость образования эманаций в породах зависит от содержания в них родоначальников радиоактивных рядов. Каждый из образующихся газообразных изотопов в той или иной степени диффундирует в атмосферный воздух. При этом, естественно, радон при всех прочих равных условиях имеет большую возможность выхода в атмосферу, чем торон или актинон, так как период полураспада его составляет 3,8 суток, тогда как для торона период полураспада равен 54 секунды, а для актинона - 3,9 секунды. Содержание эманаций в грунте с глубиной увеличивается и достигает постоянных величин на глубине 5 м. Скорость поступления радиоактивных эманаций в атмосферный воздух зависит от ряда причин: диффузии почвенных газов, в сторону убывающей концентрации, конвекционных потоков воздушных масс, в результате нагревания земной поверхности, за счет солнечной радиации, изменения барометрического давления, глубины промерзания почвы, толщины снежного покрова и так далее. Эксхалация эманаций возрастает при падении атмосферного давления и падает почти до 0 во время таяния снегов и образования льда. Отмечаются сезонные колебания в ходе эксхалации радона с минимумом зимой и максимумом летом. В результате непрерывного поступления радиоактивных газов из грунта в атмосферу наибольшие концентрации их обнаруживают в приземном слое, с высотой их содержание уменьшается.

В воздухе районов, горные породы которых содержат повышенное количество радионуклидов, концентрации эманаций увеличены, и наоборот, они уменьшаются над поверхностями, сложенными из обедненных радиоактивными изотопами материалов. Так, активность атмосферного воздуха над сушей по радону в среднем $4,8 \times 10^{-3}$ Бк/л ($1,3 \times 10^{-13}$ Ки/л), над океаном вблизи берегов - $3,5 \times 10^{-5}$ Бк/л (1×10^{-15} Ки/л). В атмосферном воздухе значительно меньше (в 10-100 раз) содержание торона, чем радона. Еще

меньший вклад в суммарную активность воздуха имеет актинон в результате короткой продолжительности его жизни и сравнительно малой распространенности материнского элемента-актиноурана. (Тверской, 1976).

Радиоактивные эманации при распаде дают начало коротко- и долгоживущим активным аэрозолям (изотопы полония, висмута и свинца). Кроме радиоактивных аэрозолей, возникающих в результате распада эманаций, в приземном слое атмосферы содержатся и другие радиоактивные частицы естественного происхождения:

- частицы, поднимаемые ветром с поверхности земли;
- частицы, образующиеся при высыхании капелек морской воды.

Следует также отметить, что в воздухе городов с интенсивным движением транспорта и развитой промышленностью радиоактивность пыли обусловлена калием, а радиоактивность дыма – изотопами калия и углерода. Наконец, наблюдениями последних лет было установлено, что относительное содержание углерода несколько снижено в атмосфере промышленных городов, чем сельских районов. Последнее объясняется тем, что в городах сжигается ископаемое топливо, в котором содержание радиоактивного углерода за счет его естественного распада меньше, чем в биосфере.

В таблице приведен уровень мощности экспозиционных доз излучения в зависимости от содержания в породах основных природных радионуклидов. Как видно из таблицы, в зависимости от содержания этих элементов в породах мощность излучения может колебаться в широких пределах. Как правило, осадочные породы содержат меньше природных радионуклидов, чем магматические породы, создавая тем самым меньший (в 2-3 раза) уровень мощности излучений.

В соответствии с НРБ-99, эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год производственных условиях. Средние значения радиационных факторов в течение года, соответствующие при монофакторном воздействии эффективной дозе 5 мЗв за год при продолжительности работы 2000 ч/год, средней скорости дыхания 1,2 м³/ч и радиоактивном равновесии радионуклидов уранового и ториевого рядов в производственной пыли составляют:

- мощность эффективной дозы гамма- излучения на рабочем месте- 2,5 мкЗв/ч;
- ЭРОА_{Rn} в воздухе зоны дыхания – 310 Бк/м³;
- ЭРОА_{Th} в воздухе зоны дыхания – 68 Бк/м³;
- удельная активность в производственной пыли урана- 238, находящиеся в радиоактивном равновесии с членами своего ряда- 40/f кБк/кг, где f- среднегодовая общая запыленность воздуха в зоне дыхания, мг/м³.

Антропогенное загрязнение естественными радионуклидами (торий-232, уран-238, уран-235, калий-40 и продукты их распада) может возникнуть при извлечении и переработке многих полезных ископаемых. В результате этих процессов в биосфере появляются участки с концентрацией радионуклидов, существенно превышающей естественный радиационный фон. Такие участки

относят к разряду малоактивных загрязнений. Однако участие в них некоторых долгоживущих естественных радионуклидов с очень большим периодом полураспада делает загрязнения подобного рода опасными, поскольку они могут существовать практически бесконечно. Подобная аномалия является постоянным источником высокоэнергетических короткоживущих радионуклидов, среди которых особую опасность представляют газообразные изотопы радона.(Алексахин, Архипов, Бархударов,1990)

Важным источником радионуклидов в биосфере является добыча, переработка и использование фосфатных удобрений. Осадочные фосфатные руды характеризуются высокой концентрацией урана-238 и радионуклидов его семейства со средней концентрацией 1500 Бк/кг и значительно более низкой концентрацией радионуклидов семейства тория-232. В зависимости от типа исходного сырья и технологических особенностей его переработки в удобрение, может переходить практически весь уран-238 и определенная часть радия-226, тория-228, тория-230, свинца-210 и полония-210. Концентрация этих радионуклидов во всех видах фосфатных удобрений независимо от разрабатываемых месторождений несколько выше, чем в пахотных почвах. При изготовлении удобрений концентрация радия-226 снижается почти во всех видах продукции, получаемой из фосфорного сырья, и, напротив, концентрация урана-238, тория-232 и тория-238 увеличивается в двойном суперфосфате, аммофосе и диаммофосе, но не более чем в 2 раза.

Одной из причин повышения радиоактивного фона в некоторых районах является использование более радиоактивных по сравнению с почвой геологических пород в качестве строительного материала (например: при повышенном содержании урана-238, тория-232 и калия-40 в таких традиционных строительных материалах, как строительный камень, песок, гравий и другие, или материалах, произведенных с использованием промышленных отходов).

Кроме того, естественные радионуклиды поступают в окружающую среду при сжигании угля в результате отапливания углем частных домов, а также применения угольной золы в производстве цемента и бетона в качестве наполнителя для дорожных покрытий и удобрения в сельском хозяйстве. По данным НКДАР ООН, при отапливании частных домов сжигается лишь 10% производимого в мире угля, однако за счет малой высоты дымовых труб и отсутствия системы золоулавливания вклад этого источника в суммарный выброс естественных радионуклидов в окружающую среду эквивалентен вкладу выбросов ТЭС. (Эстулин,1978).

2. Аварийное радиоактивное загрязнение среды

Аварийное загрязнение среды связано со всевозможными аварийными ситуациями на предприятиях ядерного топливного цикла и на ядерных предприятиях военного назначения. (Рассказать, привести примеры)

1. 1 Лекция № 7 (2 часа).

Тема: «Поведение долгоживущих радионуклидов ядерно-энергетического происхождения в экосистемах»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Поведение долгоживущих радионуклидов ядерно-энергетического происхождения в атмосфере
2. Поведение радионуклидов в почве
3. Поведение радионуклидов в воде

1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1. **Поведение долгоживущих радионуклидов ядерно-энергетического происхождения в атмосфере**

При поступлении в атмосферу радиоактивных продуктов, возникающих при испытании ядерного оружия, и попадании в атмосферный воздух радиоактивных отходов от тех или иных объектов выявлены некоторые общие закономерности в их поведении. Вместе с тем при испытаниях ядерного оружия значительная часть радионуклидов увлекается в верхние слои тропосферы и стратосферу, поэтому их поведение в этом случае в значительной степени обусловлено особенностями метеорологических процессов в атмосфере всей планеты. Какие же явления имеют место при взрывах ядерного оружия?

При взрыве ядерных устройств реакции деления и синтеза практически происходят за 10^{-7} с, при этом температура настолько высокая, что разрушаются все химические связи, происходит частичная, а у некоторых атомов и полная ионизация. Все устройство целиком превращается в газ, состоящий из нейтральных и ионизированных атомов. В этой стадии фиксируют быстро расширяющийся огненный шар, плотность газа в котором из-за высокой температуры значительно меньше плотности атмосферного воздуха. Это способствует быстрому подъему огненного шара до такой высоты, где его плотность становится равной плотности окружающего воздуха. Быстрый подъем шара создает на его пути область разрежения, в которую с большой скоростью перемещаются более плотные массы воздуха. Формируется мощный восходящий поток в виде вертикального столба - ножки гриба. Через несколько

миллисекунд после детонации наступает стадия особенно сильной генерации светового и теплового излучения, ведущая к потере энергии. По этой причине и вследствие почти адиабатического расширения огненного шара температура его снижается и начинается конденсация содержащихся в нем паров. При конденсации образуются радиоактивные аэрозоли различного размера. Так возникает радиоактивное облако в виде гриба. Ход этого процесса, химический состав и структура образующихся продуктов в значи-

тельной степени зависят от условий, в которых произведен взрыв, а также от вида и мощности взрывающего устройства.

Объем облака составляет примерно 100 км^3 на 20 кт тротилового эквивалента, или 5000 км^3 на 1 Мт тротилового эквивалента.

Крупные частицы под действием силы тяжести довольно быстро выпадают в районе взрыва, создавая местное, локальное загрязнение. Частицы микронного и субмикронного размера оседают медленно, оставаясь взвешенными в воздушных массах, входящих в состав облака. Выпадение этих частиц приводит к радиоактивному загрязнению в точках земного шара, удаленных на десятки тысяч километров от места испытаний, т.е. к глобальному загрязнению.

Продукты деления ядерных взрывов в значительной мере распределяются в зависимости от условий испытаний и мощности устройств, например при взрывах мегатонного класса, следующим образом: при воздушных взрывах на большой высоте 90% всех осколков увлекается в стратосферу, локальных загрязнений нет, при наземных взрывах 20% попадает в стратосферу, 80% выпадает в районе взрыва. При взрыве над поверхностью моря 30% попадает в стратосферу, 70% выпадает в виде местных осадков. При всех видах взрывов атомных зарядов килотонного класса практически вся активность остается в тропосфере или попадает в виде местных осадков.

При попадании мелких радиоактивных аэрозолей в состав радиоактивного облака в тропосферу происходит их разбавление в результате диффузии, горизонтального размывания в направлении движения ветра и смещения воздушных струй по вертикали.

При сопоставлении результатов исследований переноса радиоактивных аэрозолей с метеорологическими данными было установлено, что радиоактивные аэрозоли в тропосфере мигрируют в соответствии с законом перемещения воздушных масс. При этом скорость переноса вдоль параллели значительно больше, чем в меридиональном направлении, и, прежде чем тропосфера очистится от радиоактивных осколков, они успевают несколько раз обойти земной шар вдоль параллели. За это время распространение вдоль меридиана происходит на 10-20% от широты, на которой были проведены испытания. Насколько быстро переносятся в тропосфере радиоактивные частицы, можно проиллюстрировать следующими примерами: продукты взрыва, проведенного в штате Невада (США) 07.03.55, через 5 дней выпали в значительном количестве в окрестностях Ленинграда, после взрыва 13.02.60 в Сахаре радиоактивные продукты были обнаружены 17.02.60 в Крыму.

Расположение полосы максимальной загрязненности на широте проведенного испытания фиксируют только в средних широтах. При испытаниях в зоне экватора полоса максимального тропосферного выпадения смещается от широты места взрыва в сторону полюса. Был отмечен также переход продуктов ядерных взрывов в верхней тропосфере через зону экватора из северного полушария в южное.

Какие процессы способствуют выпадению мельчайших радиоактивных аэрозолей? Гравитационное оседание частиц, создающих глобальное загрязнение, не имеет значения, поскольку оно происходит крайне медленно. Скорость падения таких частиц в воздухе представлена на рис. 11.

Выпадение мелких частиц радиоактивных аэрозолей из тропосферы на земную поверхность происходит в результате иных процессов, к которым относятся:

- прилипание частиц аэрозолей к поверхности наземных предметов и почве (при обтекании их приземным слоем воздуха), в первую очередь растительности;
- коагуляция с частицами местной, нейтральной, нерадиоактивной пыли;
- захват аэрозолей элементами природных облаков (при их формировании);
- вымывание аэрозолей при осадках (захват частиц падающими каплями).

Первые два процесса связаны с так называемым сухим выпадением, другие - с атмосферными осадками.

В результате наблюдений за тропосферным переносом радиоактивных аэрозолей и их выпадением установлено, что очистка тропосферного воздуха зависит от метеорологических условий,

при этом решающая роль принадлежит осадкам. В умеренных широтах в среднем за год за все дни с осадками выпадало в 9 раз больше радиоактивных продуктов, чем за все дни без осадков.

В засушливых районах за каждый день с дождем выпадало также больше радиоактивных продуктов, чем за сухой день без осадков. Однако в этих зонах дней с осадками обычно мало, поэтому на них приходилась меньшая доля годового выпадения, чем во влажных районах.

При выпадении радиоактивных продуктов в отсутствии атмосферных осадков главная роль принадлежит турбулентному перемешиванию воздушных масс, при котором постоянно обновляется самый нижний, прилегающий к земной поверхности слой воздуха.

Сложное сочетание всех метеорологических факторов и содержания радиоактивных осколков в атмосферном воздухе свидетельствует о том, что величина выпадения в одном и том же пункте в разные дни могла меняться в 1000 раз.

Скорость очистки тропосферы от радиоактивных загрязнений при усреднении времени, необходимого для выпадения хорошо и слабо вымываемых осадками активных аэрозолей, имеет экспоненциальный характер с периодом полуочищения 20-40 дней. С практической точки зрения самым важным является твердо установленный факт быстрой очистки тропосферы от основной части попавших в нее радиоактивных продуктов ядерных взрывов под действием атмосферных осадков.

Экспериментальные взрывы малой мощности, дававшие только тропосферные загрязнения, играли незначительную роль в глобальных выпадениях. Преобладали по значимости испытания устройств мегатонного класса, при которых основная масса радиоактивных осколков поступала в стратосферу.

При ядерных взрывах большой мощности мельчайшие радиоактивные аэрозоли в составе радиоактивного облака попадают в

стратосферу. Облако захватывается стратосферными воздушными течениями и переносится в общем направлении вдоль параллели со скоростью около 100 км/ч, при этом оно вытягивается в направлении переноса (скорость перемещения в меридиональном направлении во много раз меньше). Наряду с этим происходит диффузия облака в перпендикулярных переносу направлениях. Гравитационное оседание мелких аэрозолей, как и в тропосфере, медленное. Так, например, на высоте 33-35 км скорость оседания частиц диаметром 10 мкм составляет 30 м/ч или 250 км/год. Для частиц диаметром менее 0,1 мкм броуновское движение преобладает над седиментацией. На меньшей высоте скорость оседания частиц снижается за счет повышения плотности атмосферы. В результате частицы определенного размера теряют способность к падению. На этом уровне создается седиментационное равновесие, частицы оказываются надолго включенными в воздушные массы стратосферы.

В расслоении аэрозолей разного размера большую роль играет солнечная радиация. При поглощении солнечного тепла пылинки увлекаются пузырьком теплого воздуха, окружающего нагретую пылинку, причем скорость их подъема тем больше, чем меньше размер пылинки. В ночное время это расслоение усиливается за счет более быстрой седиментации крупных частиц. Влиянием лучистой энергии можно объяснить и тот факт, что концентрация радиоактивных аэрозолей в стратосфере в экваториальных и умеренных широтах максимальна на высоте 20-25 км, хотя первоначальный уровень стабилизации радиоактивных облаков находится иногда ниже, а иногда и значительно выше указанных высот. При этом продукты деления обнаруживают в обоих полушариях с большей концентрацией над умеренными и высокими широтами, чем над экваториальной зоной. Концентрация этих продуктов в северном полушарии выше, чем в южном, т.е. имеется определенная зависимость от зон наиболее интенсивных испытаний.

Радионуклиды могут удерживаться в стратосфере от нескольких месяцев до нескольких лет. За это время короткоживущие изотопы распадаются, а количество долгоживущих элементов практически не изменяется (например, ^{90}Sr , ^{137}Cs). Таким образом, стратосфера является своеобразным резервуаром для накопления долгоживущих осколков деления с периодом полуочищения от 7 мес до 1 года.

Выпадению радионуклидов из стратосферы предшествует их переход из стратосферы в тропосферу. В настоящее время выдвигут ряд гипотез, которые пытаются объяснить механизмы их перехода на основании результатов оценки глобальных выпадений на территории нашей планеты с учетом сезонных колебаний и др.

Таким образом, максимум выпадений, по сравнению с максимумом загрязнения воздуха, смещен. По мнению многих исследователей, причина смещения заключается в том, что субтропический пояс 25-35° широты беден осадками. На этих широтах из-за недостатка осадков дают меньшее выпадение более загрязненные воздушные массы, чем менее загрязненные в поясе 40-50°, где атмосфера обильно очищается осадками. Экваториальная зона, несмотря на обилие осадков в ней, имеет слабо загрязненные воздушные массы, поэтому в этой зоне выпадения невелики.

Динамика глобальных выпадений также значительно изменяется в зависимости от сезона года. Максимум выпадений в Северном полушарии приходится на II квартал, а в Южном - на IV, т.е. в обоих полушариях - на весну и начало лета.

Из всех гипотез, объясняющих причины распределения глобальных выпадений по широтам, а также их зависимость от сезона года, наибольший интерес представляет гипотеза, разработанная отечественным ученым Д.Л. Симоненко, согласно которой во время полярной зимы граница тропосферы в районе полюса опускается.

В конце зимы и начале весны граница тропосферы поднимается, нижняя часть стратосферы вместе с присутствующими в ней радиоактивными аэрозолями оказывается включенной в тропосферу (рис. 16) и радиоактивные продукты при тропосферном переносе выпадают.

При попадании радиоактивных осколков в стратосферу в высоких широтах в начале весеннего сезона условия для перехода аэрозолей благоприятны только к следующему году.

При очистке околополярной тропосферы от радиоактивных аэрозолей создается градиент их концентрации, направленный от экватора к полюсу. Периодическое освещение и затемнение полярной стратосферы перемещают аэрозоли из экваториальной стратосферы в полярную, а затем и в приполярную тропосферу. В связи с этим широтное распределение радиоактивных выпадений и их сезонность можно объяснить перемещением воздушных масс в пределах тропосферы из полярных районов в умеренные широты, причем этот перенос происходит независимо от географического расположения испытательных полигонов. Этот вывод автора подтвердили результаты исследований в 1965 г., когда максимум загрязнений от испытаний, проведенных в экваториальном районе Северного полушария, был зафиксирован в северных и умеренных широтах.

Гипотеза освобождения стратосферы от радионуклидов, высказанная группой отечественных ученых, работавших на борту экспедиционного судна «Витязь» с 06.10.58 по 28.04.60, предполагает

подъем воздушных масс в районе экватора с их проникновением в нижнюю часть стратосферы; из стратосферы эти воздушные массы опускаются в районе 25-35° Южного и Северного полушарий в результате натекания их на холодный клин полярного воздуха.

Наблюдаемую картину загрязнений пытаются также объяснить турбулентной диффузией на границе тропо- и стратосферы. По этой гипотезе поступление продуктов взрывов должно быть более интенсивным там, где сильнее турбулентная диффузия. Зоной наибольшей стабильности в нижней части стратосферы является район экватора, поэтому попавшие в стратосферу в

районе экватора радиоактивные аэрозоли не могут выпадать в тех же широтах. Радиоактивные продукты с большой высоты над экватором в результате турбулентной диффузии как бы скользят по наклонной плоскости, входя в тропосферу на уровне 25-35°, и выпадают в более высоких широтах.

Рассмотренные выше, а также и другие предположения, трактующие процессы выпадения радиоактивных осколков, не дают исчерпывающего ответа на все вопросы, возникающие при попытках объяснить это сложное явление. По-видимому, дальнейшие исследования в этой области позволят выработать единое мнение о явлениях стратосферного переноса, необходимое для количественного расчета и прогнозирования радиоактивных загрязнений отдельных участков нашей планеты.

Характер поведения радионуклидов, поступающих в атмосферный воздух через дымовые трубы или трубы-шахты, зависит от их агрегатного состояния, дисперсности аэрозолей, метеорологических условий, рельефа местности, ряда технических параметров: высоты трубы, силы тяги в ней, температуры выбросов и др. Обычно при этом фиксируют те же самые процессы самоочищения, которые протекают в атмосфере при попадании в нее радионуклидов, возникающих при испытании ядерного оружия (разбавление в результате диффузии, горизонтальное размывание в направлении движения ветра и смещение воздушных струй по вертикали, седиментация крупных частиц, выпадение мельчайших аэрозолей за счет прилипания к поверхности наземных предметов, коагуляция с частицами нейтральной пыли и т.д.). Однако эти процессы происходят в приземных слоях атмосферы, поэтому распространение радионуклидов, входящих в состав отходов, имеет ограниченный, локальный характер.

Выбросы, поступающие в атмосферный воздух, поднимаются над срезом трубы в результате направленного вверх перемещения в трубе и всплывания их в более холодном окружающем воздухе. Почти мгновенно начинаются процессы перемешивания и увеличения объема факела выброса. Скорость разбавления факела в первую очередь зависит от вертикального температурного градиента, с его возрастанием увеличивается и коэффициент турбулентной диффузии.

В зависимости от типов вертикального распределения температуры формируются различные виды дымовых струй, например, струи волнообразные, конусообразные, веерообразные, приподнятые, задымляющие. *Волнообразная* струя возникает при неустойчивом градиенте температур, часто наблюдаемом при теплой солнечной погоде, способствующей нагреванию поверхности земли, *конусообразная* - при неустойчивой ветреной, облачной погоде, *веерообразная* - при температурной инверсии, *приподнятая* - чаще всего при заходе солнца в

момент возникновения температурной инверсии, *задымляющая* - чаще всего в утренние часы, когда исчезает ночная температурная инверсия.

Последняя форма струи самая неблагоприятная, так как в этом случае зона соприкосновения факела с поверхностью земли располагается на близком расстоянии от трубы и создается высокая степень загрязнения воздуха в приземном слое. В разбавлении выбросов важное значение имеет скорость ветра: чем она выше, тем быстрее происходит разбавление факела, а следовательно, уменьшается степень загрязнения приземного слоя воздуха.

В практике расчетов высоты трубы, предназначенной для удаления радионуклидов и их разбавления в атмосферном воздухе, пользуются понятием «эффективная высота трубы». Этот показатель получают сложением высоты самой трубы и высоты, на которую благодаря тяге в ней поднимаются выбросы. Чем больше эффективная высота трубы, тем дальше от трубы располагается зона прикосновения факела к земле и тем меньше концентрация в приземном слое воздуха веществ, входящих в состав выбросов.

Последнее обусловлено тем, что с увеличением эффективной высоты трубы возрастает сечение факела выброса в зоне его соприкосновения с поверхностью земли.

В настоящее время ряд ученых предложили формулы расчета эффективной высоты трубы, удовлетворяющие запросам практики, где учтены не только технические условия (объем выбросов, их температура, удельная активность и др.), но и метеорологические параметры (вертикальный градиент температуры и скорость ветра).

В результате процессов самоочищения атмосферы большая часть радионуклидов выпадает на поверхность земли (некоторое количество короткоживущих радионуклидов в форме аэрозолей и газов остается в атмосферном воздухе).

2. Поведение радионуклидов в почве

Почва обладает большой емкостью поглощения радионуклидов. Интенсивная сорбция их в почвах обеспечивает создание в наземной среде мощного депо радионуклидов.

В чрезвычайных ситуациях, связанных с попаданием долгоживущих радионуклидов в окружающую среду, аккумуляция радионуклидов растениями из почвы определяет масштабы включения радионуклидов в пищевые цепи - почва → растения → животные → человек. С этим связано важное значение звена почва - растения в общем цикле круговорота радионуклидов в наземной

среде. Поглощение радиоактивных веществ растениями из почвы во многом зависит от свойств почвы.

Почвы могут отличаться полифункциональностью, связанной с неоднородностью минералогического состава и присутствия органического вещества. Почва может быть полидисперсной системной.

Почвы способны образовывать растворимые комплексные соединения и способны взаимодействовать с минеральными частицами.

Почва содержит большое число микроорганизмов, которые поглощают радионуклиды.

Почва способна фиксировать некоторые ионы (необменная адсорбция).

Почва могут изменять свои свойства со временем, в зависимости от изменения климатических условий. Перечисленные особенности определяют распределение радионуклидов между жидкой и твердой фазами почвы, в зависимости от их физико-химических свойств. Это сопровождается следующими противоположно направленными процессами: соосаждением при образовании осадков и растворением осадков; адсорбции и десорбции; коагуляции и пептизации коллоидов.

Адсорбция радионуклидов из почвенного раствора твердой фазы может протекать как ионообменная адсорбция, хемосорбция, адсорбция молекулярных веществ и т.д.

Ионообменная адсорбция радионуклидов в катионной форме зависит от заряда ионов и радиуса гидротированных ионов, химической природы и структуры органических, минеральных и органо-минеральных почвенных коллоидов, объема и концентрации раствора. Адсорбция анионов зависит от заряда ионов, состава коллоидов и реакции Среды.

Необменное поглощение радионуклидов связано с минеральными почвенными коллоидами. Способность к необменной фиксации присуща катионам, радиусы которых близки или немного больше радиуса гексагональных пустот решеток минералов.

Распределение радионуклидов между жидкой и твердой фазами почв зависит от физико-химического состояния и свойств радионуклидов, характеристики сопутствующих микро- и макропримесей. К таким свойствам относят величину и знак заряда иона, форму соединений, способность к адсорбции, комплексообразованию, гидролизу и др.

Радионуклиды по типу поведения в системе почва - раствор делят на следующие группы:

1 группа: Zn, Cd, Co. Тип поведения в почвах - необменный. Адсорбируются почвенными минералами и образуют комплексы с органическими и органо-минеральными лигандами. Наиболее важным условием миграции является наличие органических лигандов.

2 группа. Na, Rb, Sr. Тип поведения - обменный. Основой механизм закрепления в почвах - ионный обмен. Для миграции необходимо присутствие в растворе других катионов.

3 группа. Cs. В макроконцентрациях тип поведения - обменный, в микроконцентрациях - необменный. В почвах закрепляется путем необменного поглощения.

4 группа. I, Ce, Pm, Zr, Nb, Fe, Ru. Тип поведения - многоформный. Наиболее вероятный механизм закрепления в почве - образование комплексов и коагуляция коллоидов. Группа характеризуется наличием поглощаемых твердой фазой химических форм и непоглощаемых миграционноспособных форм. Равновесие между ними зависит от изменения концентрации стабильных изотопных носителей, концентрации водородных ионов и присутствия мигрирующих коллоидов.

5 группа. Ag. Тип поведения - многоформный. Обладает свойствами 1,2, и 4 групп. Важным фактором миграции является наличие восстановительных барьеров.

Наряду с этим элементы по подвижности подразделяются на 4 группы:

- 1) очень малоподвижные (цинк, кадмий, кобальт);
- 2) малоподвижные (иттрий, церий, железо, цирконий, ниобий);
- 3) подвижные (натрий, рубидий, стронций, рутений);
- 4) сильноподвижные (сера, йод, анионы).

Радионуклиды, являясь изотопами химических элементов, характеризуются теми же химическими свойствами, что и стабильные изотопы этих элементов. Но при этом однонаправленность поведения радионуклидов и их стабильных аналогов в почве возможно в случае равновесного распределения их физико-химического состояния.

3. Поведение радионуклидов в воде

При поступлении в воду открытых водоемов в первую очередь фиксируют разбавление радионуклидов, поглощение их дном и тканями гидробионтов. Эффективность процесса разбавления в реках и замкнутых водоемах неодинакова. Степень и скорость этого явления в реках зависят от ряда гидрологических причин: соотношения объема загрязнений и расхода воды в реке, скорости течения, турбулентности водного потока, глубины, формы русла, рельефа дна и т.д. В реках горного типа максимальное разбавление радионуклидов происходит на малом расстоянии в течение нескольких минут, а на реках равнинного типа с выраженной струйностью течения протяженность участка, на котором заканчивается разбавление, может достигать десятков километров. Интенсивность разбавления в замкнутых водоемах (пруды, озера, водохранилища) значительно меньше за счет течений, волнового режима и в определенной степени процесса диффузии.

В морях и океанах скорость разбавления радиоактивных продуктов зависит в первую очередь от скорости перемещения (течения) водных масс и процессов их перемещения. Так, после испытаний ядерного оружия США в

районе Маршалловых островов в 1954 г. радиоактивные продукты, попавшие в воду, первоначально перемещались в Западном полушарии к Азиатскому материку, затем загрязнение распространилось к северу по течению Куро-Сиво. При этом продукты деления за 40 дней переместились на 192 км, продиффундировав на глубину 40-50 м. Разбавление введенной активности в 0,37 ТБк было таково, что средняя концентрация после 40 дней равнялась 5,5 кБк/л, а площадь загрязнения - примерно 40 км².

Одновременно с разбавлением радиоактивных изотопов в воде открытых водоемов происходит и их интенсивная сорбция дном и донными отложениями. В результате дно становится своеобразным депо долгоживущих элементов. Степень накопления дном радиоактивных продуктов зависит от структуры грунта. При возрастании ионообменной емкости грунта степень накопления изотопов возрастает. Так, при внесении в воду экспериментального пруда ⁹⁰Sr и активности воды 740 Бк/л коэффициент накопления (отношение удельной активности пробы к удельной активности воды) для песка был равен 20, для суглинка - 110. Существенную роль в накоплении дном радионуклидов играют их химические свойства. Слабо фиксируется грунтом дна ³⁵S, лучше - ³²P, ¹³⁷C и др. На количество радиоактивных продуктов в пробе влияет удельная активность воды - она возрастает с ее увеличением, хотя коэффициент накопления при этом уменьшается. Если дно состоит из плотных глинистых пород, распространение продуктов деления урана в глубину достигает лишь 15 см, на большей глубине резко уменьшается активность. Проникновение в глубину рыхлого дна, сложенного, например, из торфа, достигает 1,5 м и более. Подобная картина характерна и для песчаных грунтов.

При постоянстве концентраций радиоактивных изотопов в воде возникает устойчивое динамическое равновесие с содержанием их в донном грунте. При уменьшении активности воды обычно процесс десорбции радионуклидов и их поступление в воду замедляются. Таким образом, дно в этом случае может быть источником вторичного загрязнения воды.

Наряду с разбавлением радионуклидов в воде и сорбцией дном они накапливаются в гидробионтах в результате адсорбции и диффузии, поступления через органы дыхания и алиментарным путем.

Механизм накопления радионуклидов микрофлорой зависит от их химических свойств. Так, кальций для бактерий не является биогенным элементом, поэтому накопление радиоактивного стронция бактериями происходит за счет процесса физико-химической адсорбции атомов этого элемента на поверхности бактериальных клеток. В противоположность стронцию биогенный элемент ³²P ассимилируется бактериями в значительном количестве. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что при внесении в микробную взвесь

радионуклидов уже через несколько минут удельная активность бактериальных тел становится во много раз выше, чем таковая водной среды, при этом с увеличением концентрации микробных клеток процент извлеченных радиоактивных продуктов не возрастает. Таким образом, коэффициент накопления увеличивается при уменьшении числа микроорганизмов в водной среде. Кроме того, обнаружено уменьшение коэффициента накопления с возрастанием удельной активности воды. В зависимости от химических свойств радиоизотопов, вида микроорганизмов, удельной активности воды, ее pH и других условий коэффициент накопления для бактериальных клеток варьирует в широких пределах - от 100 до 4-6 млн и более.

Большая удельная поверхность тела у планктона, губок и некоторых других гидробионтов создает благоприятные условия для адсорбции ими значительного количества радиоактивных изотопов. Следует отметить, что скорость накопления планктоном радионуклидов значительна. Так, дафния накапливает 50-60% (предельное количество) радиоактивного стронция в течение 5 мин.

В последующем накоплении принимают участие и обменные процессы. Время, необходимое для максимального накопления радиоактивных продуктов зоопланктоном, составляет несколько часов.

У водных растений процесс накопления более медленный, так как главный путь поступления в них радиоактивных продуктов обусловлен процессами обмена. Предельное накопление в водорослях происходит в течение 7-30 сут. У рыб основной путь поступления радионуклидов в организм алиментарный, поэтому в данном случае существенное значение имеет уровень загрязнения низших организмов, являющихся кормом для рыб. Вместе с тем радиоактивные изотопы проникают в организм рыбы и через жабры. Значимость этого пути возрастает с повышением удельной активности. Время предельного накопления изотопов (при постоянстве концентрации) в теле рыб колеблется от 10 до 120 дней.

Коэффициент накопления радионуклидов тканями гидробионтов зависит от вида гидробионта, физико-химических свойств радиоизотопов, удельной активности воды, ее солевого состава, температуры и прочих условий. Водные организмы более интенсивно накапливают радиоизотопы биогенных элементов (фосфор, углерод и др.), а также элементы, родственные им по своим химическим свойствам. Как и для бактерий, коэффициенты накопления для гидробионтов уменьшаются с возрастанием удельной активности воды. Коэффициенты накопления у пресноводных организмов значительно выше, чем у обитателей морей и океанов (вместе с тем коэффициент накопления продуктов активации у морских гидробионтов выше, чем у пресноводных). Так, в 10 раз больше радиоактивного стронция накапливает рыба, обитающая в пресной воде, чем рыба морская.

Накопление радиоизотопов происходит более интенсивно молодью рыбы (за счет более высокого уровня обмена веществ), чем взрослыми особями. Оптимальный уровень температуры воды для ее обитателей обычно соответствует максимальному накоплению радиоактивных продуктов.

В зависимости от указанных условий коэффициент накопления радионуклидов для планктона составляет 250-7500 и более, для водорослей - 100-28 000, для рыбы - 4-130.

При снижении удельной активности воды накопленные радиоактивные элементы из организма гидробионтов выводятся, причем интенсивность этого процесса тем выше, чем выше концентрация радионуклидов в тканях. В среднем в течение 10 дней пребывания в чистой воде планктон и водоросли теряют 95-97% общего количества накопленных продуктов. Выведение радионуклидов из тканей и органов рыб происходит с различной скоростью. Так, даже через 3 мес пребывания рыбы в чистой воде ^{90}Sr обнаруживается в ее мышцах до 10%, а в костях до 50% от первоначального уровня.

При попадании радионуклидов в водоем наблюдают их миграцию на прибрежную территорию в результате метеорологических, гидрологических и биологических факторов. Важное место

в миграции радиоизотопов занимает деятельность человека. Роль метеорологического фактора заключается в переносе радиоактивных аэрозолей, возникающих в пределах зоны загрязнения водного бассейна. Загрязнение прилегающей территории возможно при разливах в период паводка (при этом почва активно адсорбирует радиоактивные продукты из воды). В процессе миграции радиоактивных элементов из водоема принимают участие прибрежные растения (ольха, ива и др.), насекомые, личиночная стадия которых протекает в водоеме, земноводные и водоплавающие птицы. Основную роль в рассеивании радиоизотопов из водоемов играет хозяйственная деятельность человека.

11.4. Поведение радионуклидов в подземных водах

Основными факторами, определяющими поведение радиоактивных изотопов, попадающих в подземные воды, являются пути их поступления и физико-химические свойства, а также местные гидрогеологические условия, включающие геологическое строение участка и окружающего района, условия питания, движения и дренирования подземных вод, их химический состав и гидродинамическую обстановку в водоносном горизонте. Сложная совокупность и переплетение указанных факторов обуславливают то многообразие в поведении и миграции радионуклидов, которое возможно в реальной обстановке.

По условиям формирования и поведения подземные воды подразделяют на два основных типа: не напорные (грунтовые) и напорные (артезианские).

Основная особенность грунтовых вод заключается в том, что они имеют непосредственное питание от атмосферных осадков и поверхностных вод. В свою очередь грунтовые воды по условиям возможного питания подразделяют на воды, приуроченные к участкам, удаленным от открытых водоемов, и на воды, находящиеся на участках, расположенных вблизи рек и других водоемов.

Напорные (артезианские) воды не питаются непосредственно атмосферными осадками, а пополняются из других водоносных горизонтов за счет медленной нисходящей или восходящей фильтрации подземных вод через толщу относительно водоупорных пород или за счет атмосферных осадков, но из весьма отдаленных областей питания. В областях питания артезианских вод, приуроченных к возвышенным формам рельефа, наряду с перемещением вод по водоносному пласту имеет место и нисходящая фильтрация их из одного водоносного горизонта в другой. В районах дренирования (пониженные участки долин основных рек, озерные впадины, морские побережья и др.) артезианские воды имеют восходящее движение из одного водоносного горизонта в другой.

В рыхлых осадочных породах (галечники, пески, глины) движение воды происходит по порам, образованным между отдельными зернами и частицами, из которых состоят эти породы. В пределах водоносного горизонта поры чаще всего распределены равномерно, поэтому движение воды также равномерное. Обычно в песках скорость перемещения подземных вод составляет от десятков сантиметров до 1-2 м в сутки, в глинистых породах - до нескольких миллиметров.

В трещиноватых скальных породах (известняки, песчаники, кварциты, граниты) вода движется по отдельным трещинам, которые распределены в породах неравномерно, в связи с этим могут встречаться локальные зоны повышенной трещиноватости, где проходят мощные потоки подземных вод. Скорость перемещения воды в этих породах может достигать нескольких километров в сутки.

На скорость движения подземных вод оказывает влияние не только состав горных пород, но и интенсивность водообмена. Интенсивность водообмена характеризует время, в течение которого вода, находящаяся в водоносном горизонте, полностью замещается новой, поступающей за счет инфильтрации атмосферных осадков, поверхностных вод и т.д. Полный водообмен водоносных горизонтов обычно происходит в течение сотен, тысяч лет и более, причем для более поверхностно залегающих горизонтов сроки полного водообмена меньше. На интенсивность водообмена также влияют проницаемость горных пород, рельеф местности. В горных районах, рельеф которых расчленен глубокими долинами, интенсивность водообмена выше, чем в равнинных районах со слабо развитой сетью оврагов. Наконец, питание подземных вод и водообмен водоносных горизонтов менее выражены в

засушливых областях, чем в зонах с влажным климатом. Таким образом, на миграцию радионуклидов в подземных водах в зависимости от гидрогеологических условий будет влиять соотношение скорости движения подземных вод к интенсивности их разбавления.

Подземные воды при их движении взаимодействуют с горными породами. Это взаимодействие сводится к процессам выщелачивания и растворения пород и, наоборот, к процессам сорбции породами ряда веществ, содержащихся в воде. Сорбция породами химических веществ в основном определяется ионообменными процессами и поглотительной способностью пород, заключающейся в том, что ряд веществ, находящихся в воде, может давать нерастворимые соединения при взаимодействии с элементами, содержащимися в горных породах. Радиоактивные изотопы, подобно макрокомпонентам природной воды, поглощаются горными породами. Однако этому процессу свойственны и особенности, определяющиеся чрезвычайно малой концентрацией радиоактивных продуктов (за исключением природного урана, который может содержаться в подземных водах в макроколичествах). Сорбционная способность горных пород составляет в среднем десятки миллиграмм-эквивалентов на 100 г природного сорбента, поэтому поглотительная емкость горных пород всегда намного выше возможного содержания в воде радионуклидов. Степень их поглощения породами зависит от химических свойств сорбирующих изотопов. Так, трехвалентный плутоний поглощается породой наиболее интенсивно, четырехвалентный плутоний - менее интенсивно, а двухвалентный - плохо. Четырехвалентный уран (в восстановительной среде) плохо растворим и практически не мигрирует в подземных водах, а шестивалентный высоко подвижен.

В ряде работ отечественных исследователей было отмечено, что с увеличением солевого состава раствора уменьшается поглощение сорбентами радионуклидов. Так, с повышением концентрации ионов натрия и калия снижается сорбция изотопов цезия и стронция.

Степень поглощения радиоактивных продуктов зависит от типа горных пород, т.е. от их минералогического, химического, механического состава, а также от структуры и сложения породы. В табл. 44 приведены коэффициенты распределения радиоизотопов между природными сорбентами и водой гидрокарбонатно-кальциевого состава (коэффициент распределения - отношение концентрации радиоактивного элемента в горной породе к равновесной концентрации этого элемента в растворе, находящемся в соприкосновении с данным природным сорбентом).

1. 8 Лекция № 8 (2 часа)

Тема: «Техногенная радиоактивность среды и здоровье населения»

1.8.1 Вопросы лекции:

1. Экосистемные реакции на радиационную деформацию среды
2. Нормы радиационной безопасности

1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1. Экосистемные реакции на радиационную деформацию среды

Исследования, выявляющие общие (интегративные) закономерности реакций экосистем на деформацию радиационного звена факторов стационарности среды, отсутствуют. Единичные работы этого ряда указывают на сходство радиогенных изменений с популяционными в их зависимости от техногенного фона радиационных воздействий. Это подтверждается, в частности, чрезвычайно большим видовым разнообразием флоры в условиях аномальных экологически чистых радиационных воздействий. Такое разнообразие – ключ к резервной стабильности и эволюции экосистем – превышает здесь этот показатель средних широт с нормальным радиационным фоном в 15 – 20 раз. Эти различия позволили выдвинуть положение (F. Soddy) о ключевой функции повышенного естественного радиационного фона в происхождении новых видов живого.

Все сельскохозяйственные злаковые мира произошли из восьми горных мест с высоким уровнем космического излучения. Считалось, что основным действующим началом здесь являлось ультрафиолетовое космическое излучение. Но сравнительная оценка генетических реакций в эксперименте позволила американскому биологу кандидату Нобелевской премии Дж. Миллеру прийти к выводу о ведущей роли в формировании этих эффектов нейтронного потока частиц.

Положения об исключительности естественного радиационного фона, в противоположность техногенному, также оказались, несостоятельными. Гибель растительности, грызунов в зонах атомного взрыва в Хиросиме, чернобыльской и кыштымской аварии непосредственно после состоявшихся инцидентов сменяется через полтора–два года бурным, превышающим дорадиационный период ростом и разнообразием живого.

Искусственное снижение радиационного фона в эксперименте ведет к противоположным реакциям – снижению скорости деления клеток, роста, размножения, что еще раз указывает на использование биотой «отобранных» в процессе эволюции радиационных воздействий в качестве фактора стационарности экосистем, колебания которого тем не менее требуют реорганизации экосистемных взаимодействий («ключ к замку») в биогеоценозах.

Помимо этой серии результатов, указывающих на био-, иммуностимулирующие функции фактора (А. М. Кузин), как правило, при его (не подчеркнутом в исследованиях) изолированном воздействии – в горных районах, территориях радиационных инцидентов, закрытых для

человеческой деятельности, аналогичных экспериментальных облучений – имеется ряд не менее достоверных наблюдений, фиксирующих противоположные радиогенные реакции в районах с мощным техногенным фоном среды. К числу таких реакций, названных *«эффектом Петко»*, относится широко рекламируемая деградация лесов вблизи АЭС, расположенных на территориях, крайне перенасыщенных тяжелыми металлами, оксидами азота, сернистым ангидридом и др., в непосредственной близости от Нью-Йорка, во Франции (в районах АЭС, расположенных в Бретани), в Германии (вблизи Франкфурта) и др. Реакции подчеркиваются выявляемой здесь повышенной частотой генетических дефектов новорожденных с последующей деградацией интеллекта, ростом детской преступности.

Системные исследования экологических реакций на радиационную загрязненность среды, близкую по составу к выбросам от АЭС, были впервые проведены Н. В. Тимофеевым-Ресовским. Наблюдения за сообществом биоценозов велись на грядках, в которые вносились радионуклиды ядерно-энергетического происхождения порядка 5 (малая радиоактивная загрязненность), 50 (средняя), 100 (высокая) мКи/м² или 0,5, 50, 100 кКи/км² почв соответственно. В микробассейны с озерной водой, водорослями, инфузориями вносилось от 3 до 600 мкКи/л с аналогичным составом и шагом роста радиоактивной загрязненности. Для всех трех видов сообществ (наземный фитоценоз, почвенный бактериоценоз и пресноводный перифитон) были получены принципиально сходные результаты. Малые радиоактивные воздействия (порядка 5 мкКи/л) как в почвенных, так и в водных биоценозах ведут к стимулу роста и достоверному увеличению биомассы, более выраженному в группах простейших, сапрофитной микрофлоры почв. Дальнейшее увеличение радиационных воздействий ведет к явному расслоению (рис. 4.3) реакций: продолжению роста и увеличению биомассы низших биологических видов, но при угнетении пролиферации высших форм растений, организмов.

2. Нормы радиационной безопасности

Последние «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99) — (СП.2.6.2.758-99) приняты в качестве юридического документа в нашей стране в 1999 г. В них предусмотрены следующие основные принципы радиационной безопасности:

1) принцип нормирования — непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

2) принцип обоснования — запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучения;

3) принцип оптимизации — поддержание на возможно низком и достижимом уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Нормы радиационной безопасности распространяются на следующие виды облучения персонала и населения:

при нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения;

в условиях радиационной аварии;

природными источниками ионизирующего излучения;

медицинское.

Требования по обеспечению радиационной безопасности сформулированы для каждого вида облучения. Суммарная доза от всех видов облучения служит только для оценки радиационной обстановки и медицинских последствий.

Требования НРБ-99 не распространяются на источники ионизирующего излучения, создающие годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв и коллективную годовую дозу не более 1 чел-Зв при любых условиях их использования, а также на космическое излучение на поверхности Земли и облучение, создаваемое ^{40}K , содержащимся в организме человека, на которые практически невозможно влиять.

Для количественной характеристики ионизирующей способности радиоактивного излучения в действующих ранее НРБ-96 использовалось понятие «экспозиционная доза». В последней редакции НРБ это понятие не применяется, соответственно не применяются и единицы его выражения (Кл/кг и рентген Р ($1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$)). В новых нормах для

характеристики этого показателя используют понятие «поглощенная доза», т. е. величина энергии излучения, переданная единице массы облучаемого вещества. Поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название — грей (Гр). Используемая ранее внесистемная единица «рад» равна 0,01 Гр.

Установлено, что биологическое действие одинаковых поглощенных доз разного вида излучений (α , β , γ и др.) на организм неодинаково.

Эффект лучевого воздействия на организм зависит не только от поглощенной дозы и ее фракционирования во времени, но и в значительной степени от удельной ионизации данного вида излучения. Чем выше удельная ионизация, тем больше биологическое действие такого излучения, тем больше взвешивающий коэффициент данного вида излучения. Взвешивающий коэффициент показывает, во сколько раз биологическое действие данного вида излучения больше, чем β -, γ - или рентгеновского излучения, при одинаковой поглощенной дозе.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы:

Гонады.....	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник (прямая, сигмовидная и нисходящая кишки)	0,12
Легкие.....	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа.....	0,05
Печень	0,05
Пищевод.....	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа.....	0,01
Клетки костных поверхностей.....	0,01

Остальные (надпочечники, головной мозг, слепая, восходящая и поперечно-ободочная кишки, тонкий кишечник, почки, мышечная ткань, поджелудочная железа, селезенка, вилочковая железа, матка) 0,05

Для выработки общей основы, позволяющей сравнивать все виды ионизирующих излучений в отношении возможного возникновения вредных эффектов от облучения, вводится понятие «эквивалентная доза».

Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы на взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, равный, например, 1 — для рентгеновского, гамма- и бета-излучений, 20 — для альфа-излучения, т. е. при одной и той же поглощенной дозе биологическое действие альфа-излучения будет в 20 раз больше, чем рентгеновского, гамма- или бета-излучений.

Доза эквивалентная, или эффективная, — это доза, ожидаемая при внутреннем облучении, за время с момента поступления радиоактивных веществ в организм. Если это время не определено, то его следует принять равным 50 годам для взрослых и 7 — для детей.

Доза эффективная или эквивалентная годовая — сумма эффективной или эквивалентной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной или эквивалентной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Эффективная доза (E) — мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности, равна сумме произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты.

Единица эффективной дозы — зиверт (Зв).

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы используются для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических (вероятностных)

эффектов радиации (генетические заболевания, злокачественные новообразования, лейкозы).

В основу различной радиочувствительности органов и тканей положен закон радиочувствительности Бергонье—Трибондо, по которому наиболее чувствительными к ионизирующему излучению являются наименее дифференцированные ткани, клетки которых интенсивно размножаются.

При воздействии на организм человека ионизирующая радиация может вызвать эффекты двух видов:

детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии развития плода и др.);

стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

В проявлении ранних *детерминированных эффектов* характерна четкая зависимость от дозы облучения радиационных повреждений разной степени тяжести — от скрытых, т. е. незначительных, без клинических проявлений, до смертельных.

Так, клинически значимое подавление кроветворения при *остром облучении* наблюдается с порогом 0,15 Гр поглощенной дозы во всем красном костном мозге. Пороговая доза для лучевой катаракты 0,15 Гр/год. Радиационные поражения кожи легкой, средней и тяжелой степеней тяжести развиваются при местном облучении соответственно в дозах 8—10, 10 — 20, > 30 Гр. Пороговая доза, вызывающая острую лучевую болезнь, 1 Гр. При дозах 3 — 5 Гр в результате повреждения стволовых клеток костного мозга 50 % облученных могут погибнуть (без лечения) в течение 60 сут. При дозах > 15 Гр летальный исход у всех облученных наступает в течение 5 сут.

Эффективность *хронического облучения* также зависит от мощности дозы. Например, доза облучения персонала 5 мЗв/год не позволяет выявить повреждений с помощью современных методов исследования.

Доза хронического облучения в течение нескольких лет 100 мЗв/год вызывает снижение неспецифической резистентности организма, а 500 мЗв/год может привести к развитию хронической лучевой болезни.

Таким образом, доказан и существует дозовый порог проявления детерминированных эффектов, которые, как правило, возникают при значительных дозах облучения, в основном вследствие гибели части клеток в поврежденных органах или тканях.

Не существует дозового порога *стохастических {вероятностных} эффектов*. Это означает, что возникновение стохастических эффектов теоретически возможно при сколь угодно малой дозе облучения. Величина дозы ионизирующего излучения влияет на вероятность стохастических эффектов, но не на тяжесть их. То есть чем выше доза облучения, тем больше

частота (вероятность) случаев проявления раковых заболеваний или наследственных дефектов в популяции людей, в том числе у каждого индивидуума.

Очень важно специальное понятие «коллективная доза облучения» — произведение двух величин: средней эффективной индивидуальной дозы в облученной когорте и численности людей, которые подверглись облучению. Обозначается коллективная доза в человеко-зивертах или человеко-греях (чел-Зв; чел-Гр).

Из определения коллективной дозы следует, что эта величина возрастает не только при увеличении индивидуальных доз, но и при увеличении числа облученных людей. При этом вероятность риска (частота стохастических эффектов) будет также возрастать.

Расчеты показывают, что при коллективной дозе облучения 1000 чел-Зв можно ожидать возникновения 60 злокачественных опухолей (излечимых и со смертельным исходом) в каждой из популяций людей.

Ограничение возникновения именно этих вероятностных эффектов после воздействия радиации является медико-гигиенической основой радиационной защиты и регламентации пределов доз облучения.

Исходя из того, что постулируется сугубо научное положение о том, что любая доза облучения в принципе опасна (беспороговое действие), общество обязано установить и принять *величину приемлемого риска* от дополнительного антропогенного радиационного воздействия на население и отдельных его членов. При этом в качестве главной цели следует добиваться того, чтобы уменьшить риск облучения отдельных лиц и населения в целом. Нужно стремиться к достижению минимально низких уровней облучения, достижимых с учетом экономических и социальных факторов (ведь следует признать, что современное общество без рисков является утопией: все виды человеческой деятельности или отсутствие таковой сопряжены с некоторым риском).

Последнее фундаментальное положение, лежащее в основе регламентации радиационного фактора, состоит в том, что предотвращение данного риска (на фоне химических, биологических и др.) может дискриминировать значимость другого вида риска, объективно определяющего гораздо больший ущерб общественному здоровью и отдельному индивидууму.

Нормами радиационной безопасности устанавливаются следующие группы облучаемых лиц:

группа А — персонал (лица, работающие с техногенными источниками излучения);

группа Б — лица из персонала, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия техногенных источников излучения;

все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

I — основные пределы доз (ПД);

II — допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего излучения), являющиеся производными от основных пределов доз:

пределы годового поступления (ППП),

допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА),

среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;

III — контрольные уровни. Речь идет о предельно допустимых выбросах (ПДВ) в атмосферу, предельно-допустимых сбросах (ПДС) отходов.

Основные пределы доз. Предел дозы (ПД) — это величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, при этом вероятность стохастических эффектов сохраняется на приемлемом уровне.

Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

Основные пределы доз (НРБ-99): (показать таблицу)

Основные пределы доз облучения не включают дозы природного и медицинского облучения, а также вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать основных пределов доз.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с ионизирующими источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения; эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв/мес, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 0,05 предела годового поступления для персонала. В документе отмечено, что администрация предприятия обязана перевести беременную женщину на работу, не связанную с источниками ионизирующего излучения, со дня информации о факте беременности до окончания грудного вскармливания ребенка.

Планируемое повышенное облучение при ликвидации аварии выше установленных дозовых пределов может быть разрешено только в тех случаях, когда нет возможности принять меры, исключая их превышение, и может быть оправданно только спасением жизни, предотвращением дальнейшего развития аварии и облучения большого количества людей. Планируемое повышенное облучение допускается только для мужчин старше 30 лет при их добровольном письменном согласии, знании возможных доз облучения и о риске для здоровья.

Планируемое повышенное облучение в дозе не более 100 мЗв/год допускается с разрешения территориальных органов госсанэпиднадзора, а

облучение в дозе не более 200 мЗв год — только с разрешения Госсанэпиднадзора Министерства здравоохранения России.

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

Производный от основных пределов доз норматив — *предел годового поступления* (ПГП), измеряемый в беккерелях в год — допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

Нормируются разные значения ПГП: в зависимости от радионуклида, для персонала (в воздухе рабочих помещений), для населения (в атмосферном воздухе, а также в воде и пище).

ПГП зависит в том числе от степени опасности радиоактивных элементов при попадании внутрь и определяется их *радиотоксичностью* — свойством радиоактивных изотопов вызывать большие или меньшие патологические изменения при попадании их в организм.

1. 9 Лекция № 9 (2 часа).

Тема: «Радиационная гигиена »

1.9.1 Вопросы лекции:

1. Открытые источники радиации
2. Закрытые источники радиации
3. Организации и нормативные документы, регламентирующие работу с радиоактивными веществами

1.9.2 Краткое содержание вопросов:

1. Открытые источники радиации

Источники ионизирующих излучений бывают открытого и закрытого типа.

Открытыми называются такие источники ионизирующих излучений, при использовании которых возможно попадание радиоактивных веществ в окружающую среду в виде газов, аэрозолей, а также в виде твердых и жидких радиоактивных отходов.

Открытый источник - радионуклидный источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем РВ в окружающую среду.

Наиболее опасна работа с открытыми источниками излучения и особенно с радионуклидами высокой радиотоксичности.

Открытые источники, в зависимости от радиотоксичности использованного радионуклида, разделяются на 5 групп: А, Б, В, Г, Д.

Группа А - элементы с особо высокой радиотоксичностью.

Группа Б - элементы с высокой радиотоксичностью.

Группа В - элементы со средней радиотоксичностью.

Группа Г - элементы с малой радиотоксичностью.

Группа Д - к этой группе относятся изотопы с наименьшей радиотоксичностью.

Показать диапазон активностей перечисленных групп.

Способы защиты при работе с источниками излучений зависят от их типа и способа облучения

Защита от внешнего облучения может быть достигнута расстоянием, временем, разведением и поглощением.

Каждый из этих способов может быть использован в отдельности или в комбинации с другими. Это зависит от вида источника, от физического состояния радионуклидов (твердые, порошкообразные, жидкие, газообразные), вида и энергии излучения, активности, периода полураспада, относительной радиотоксичности вещества, его количества и характера технологического процесса использования.

Опасность внешнего облучения представляют гамма-излучатели, меньше - бета-излучатели. При внутреннем облучении очень опасны бета-излучатели.

Для защиты от внешнего облучения приемлемы все названные четыре способа защиты. Однако наибольшее значение имеют расстояние и поглощение.

Расстоянием можно защититься, не имея других защитных приспособлений, но располагая устройствами для дистанционной работы, например шарнирные шипцы, универсальные манипуляторы, повторяющие точно движение руки и пальцев.

Второй способ защиты - временем, можно пользоваться в трех случаях:

- а) сокращение времени работы с источником излучения;
 - б) сокращение рабочего дня, рабочей недели;
 - в) использование времени физического распада (Тф, периода полураспада).
- Это имеет смысл при работе с короткоживущими радионуклидами. Через 5 Тф сохраняется 3% первоначальной активности, через 8 Тф остается 0,4% активности, а через 10 Тф - менее 0,1% активности.

Третьим способом защиты - разведением - пользуются, учитывая: водорастворимость радионуклидов. Путем разведения удельную активность радиоактивного вещества полагается снизить до уровней предельно-

допустимых концентраций, установленных для воды открытых водоемов. Только в таком случае они могут быть спущены в общую канализацию.

Четвертым способом защиты - *поглощением* пользуются в тех случаях, когда активность препарата превышает 0,1 мг-экв. радия.

Поглотителем (экраном), защищающим от альфа-излучений, служит небольшой слой воздуха между оператором и источником.

Материалом для экранов от бета-излучений служат вещества с небольшим атомным весом, чаще всего плексиглас.

Экранами для защиты от гамма-излучения могут быть только элементы с высоким атомным номером и с высокой плотностью: свинец, вольфрам. Свинец входит в состав свинцовых стекол, используемых в смотровых стеклах, например, рентгеновских кабинетов.

Меры индивидуальной защиты могут предохранить персонал радиологической лаборатории только от альфа- и бета-частиц, но не от гамма-излучений. Но среди мер, предупреждающих возможность попадания радионуклидов внутрь организма, меры индивидуальной защиты и личной гигиены занимают первенствующее место.

Требования к оборудованию радиологических лабораторий

Лаборатории, учреждения и предприятия, в зависимости от годового потребления радиоактивных веществ (в открытом виде), разделяются на три категории (класса): 1, 2 и 3, с годовым потреблением более 100, от 10 до 100 и до 10 Ки, соответственно.

Поскольку в обычных условиях радиохимическая экспертиза не связана с высокими активностями, то радиологическая лаборатория является внеклассным учреждением и работа ее может выполняться в общих помещениях, оборудованных в соответствии с требованиями, предъявляемыми к химическим лабораториям. Однако при организации, устройстве и оборудовании ее следует все же предусмотреть возможность работы по 3 категории (классу).

Радиологические лаборатории запрещено размещать в жилых зданиях, и, наоборот, при лаборатории не может быть допущено размещение жилья.

Для строящегося здания лаборатории участок следует выбирать с подветренной стороны по отношению к жилым постройкам. Особых санитарно-гигиенических требований к планировке помещений лаборатории 3 категории не предъявляется.

Пол лабораторных помещений надлежит покрыть гладким непористым, легко очищающимся материалом (пластикат, линолиум), края покрытий пола следует приподнять и закрутить для главного перехода к поверхности стен, допускается мраморный пол. Стены должны быть выкрашены маслянистой краской на высоту не менее 2 м. Отделка помещений и размещение оборудования должны исключать скопление пыли в углах и обеспечивать легкость уборки.

Все рабочие поверхности мебели следует покрыть пластикатом, тщательно заделав все стыки и швы, а остальные поверхности выкрасить перхлорвиниловой краской. Реактивы, посуду и инструменты следует хранить в стеклянном шкафу со стеклянными полками. Радиаторы отопительной системы надо разместить так, чтобы они не мешали удобству уборки и исключали возможность скопления пыли. Труба вытяжного шкафа должна быть выведена на 4 м выше окружающих зданий. Вентиляция должна быть только вытяжная, с включением перед входом в лабораторные комнаты. Необходима, наряду с холодной, и горячая вода. Управление водопроводными кранами - локтевое или педальное. Канализация - обычная.

2. Закрытые источники радиации

Закрытыми называются любые источники ионизирующего излучения, устройство которых исключает попадание радиоактивных веществ в окружающую среду при предвиденных условиях их эксплуатации и износа. При работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения персонал может подвергаться только внешнему облучению, поэтому все защитные мероприятия в данном случае осуществляются с учетом этого обстоятельства. Закрытые источники ионизирующего излучения по характеру действия могут быть условно разделены на две группы: а) источники излучения непрерывного действия; б) источники, генерирующие излучение периодически.

К первой группе относятся гамма-установки различного назначения, нейтронные, бета- и гамма-излучатели; ко второй - рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц (в последнем случае, при ускорении частиц до энергий, превышающих 10 МэВ, возможно образование искусственных радиоактивных веществ; при этом возникает потенциальная опасность поступления радиоактивных изотопов в организм).

3. Организации и нормативные документы, регламентирующие работу с радиоактивными веществами

Радиационная гигиена - это раздел гигиены, изучающий влияние ионизирующих излучений на здоровье человека с целью разработки мер противорадиационной защиты. Радиационная гигиена использует методы

гигиены, ядерной физики, радиохимии, радиобиологии, радиотоксикологии, математики и др. Объектами изучения радиационной гигиены являются - естественный фон ионизирующих излучений;

повышенный естественный фон, обусловленный использованием строительных материалов, минеральных удобрений, содержащих повышенные количества естественных радиоактивных элементов;

комплекс предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ); удаление и захоронение радиоактивных отходов;

суда (атомоходы) с ядерными энергетическими установками; выпадения радиоактивных продуктов ядерных взрывов;

радиоактивные излучения, применяемые в медицине, научно-исследовательской работе и т.п..

Широкое применение ядерной энергии во всех сферах деятельности человека способствовало созданию определенной сети организаций и нормативных документов, регламентирующих контакт и работу с радиационными веществами.

До 1950 года существовал Международный комитет по защите от рентгеновских лучей и радия.

В 1950 году на его основе была создана Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ). Эта организация регламентирует вопросы радиационной безопасности в международном масштабе. МКРЗ тесно сотрудничает с Международной комиссией по радиационным единицам (МКРЕ).

В 1957 году при ООН было создано международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). Главная цель МАГАТЭ - это препятствовать распространению ядерного оружия, контролировать работу атомных электростанций, не допускать применения атомной энергии в военных целях. В МАГАТЭ входят 35 стран в т.ч. и Россия.

При ООН параллельно с МАГАТЭ работает Научный комитет по радиационным проблемам.

МКРЗ разрабатывает рекомендации по защите от ионизирующих излучений. Рекомендации утверждаются Международным радиологическим конгрессом (МРК).

В каждой стране имеются национальные комиссии, которые на основании принятых конгрессом рекомендаций, издают соответствующие правила и

законы, присущие для их региона. Эти правила и законы определяют нормы безопасной работы с источниками ионизирующих излучений.

С учетом рекомендаций МКРЗ у нас в стране принимаются и публикуются "Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений" (ОСП) и "Нормы радиационной безопасности" (НРБ). Нормы радиационной безопасности (НРБ) предусматривают следующие основные принципы радиационной безопасности:

- не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риска возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному фону облучением;
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Нормы радиационной безопасности (НРБ) распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

облучение персонала и населения в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения; облучение персонала и населения в условиях радиационной аварии; облучение работников промышленных предприятий и населения природными источниками ионизирующего излучения; медицинское облучение населения.

При расчете допустимых доз внутреннего облучения, в зависимости от распределения РВ в организме, учитывают 3 группы критических органов:

- 1 *группа* - все тело, красный костный мозг, гонады (половые железы);
- 2 *группа* - мышцы, жировая ткань, щитовидная железа, органы ЖКТ, селезенка, почки, легкие, хрусталик глаза;
- 3 *группа* - кожа, костная ткань, кисти рук, стопы ног.

Критическим органом называется орган или ткань, в котором происходит наибольшее накопление радионуклида.

1. 10 Лекция № 10 (2 часа).

Тема: «Радиоактивные отходы »

1.10.1 Вопросы лекции:

1. Классификация радиоактивных отходов
2. Проблема захоронения радиоактивных отходов

1.10.2 Краткое содержание вопросов:

1. Классификация радиоактивных отходов

При эксплуатации атомных электростанций и экспериментальных реакторов формируются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные отходы. Радиоактивные газы и аэрозоли возникают в результате облучения газов и аэрозолей воздуха нейтронами в зоне реактора (например, ^{41}Ar , ^{19}O , ^{59}Fe , ^{31}Si и др.).

Источниками жидких радиоактивных отходов реакторов в качестве теплоносителя могут служить вода или любые растворы. В этом случае наведенная активность, возникающая в теплоносителе первого контура, обусловлена захватом нейтронов атомами элементов, поступающих в теплоноситель в результате коррозии элементов конструкций. Поэтому в теплоносителе обнаруживают ^{60}Co , ^{59}Fe и др. Кроме того, возможна диффузия продуктов деления из ТВЭЛ в теплоноситель.

Источником жидких отходов являются бассейны выдержки ТВЭЛ, используемые для подводного хранения отработавших ТВЭЛ. Такое хранение обеспечивает необходимую защиту и отвод тепла от ТВЭЛ. Вода бассейнов может загрязняться продуктами деления при нарушении целостности оболочек ТВЭЛ, примесями, имеющимися на оболочках, и другими материалами, попадающими в воду бассейна при разгрузке реактора. Наконец, жидкие радиоактивные отходы (сточные воды санитарных пропускников и спецпрачечных) образуются после дезактивации оборудования и помещений.

К твердым радиоактивным отходам реакторов могут быть отнесены отдельные элементы их конструкций, подвергавшиеся воздействию потоков нейтронов, спецодежда, обувь и др.

В настоящее время с целью предупреждения загрязнения окружающей среды радионуклидами допускается сброс отходов с такой активностью, уровень которой предупреждает возможность поступления в организм человека искусственных радионуклидов в количестве, превышающем предел их годового поступления для отдельных лиц из населения или предел дозы внешнего облучения от присутствия в воздухе радионуклидов аргона, криптона, ксенона и короткоживущих изотопов углерода, азота и кислорода.

Радиоактивные отходы по агрегатному состоянию подразделяются на жидкие, твердые и газообразные.

Жидкие радиоактивные отходы — органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы, не подлежащие дальнейшему использованию, в которых суммарная объемная активность радионуклидов превышает значения, приведенные в приложении **НРБ-99**.

Твердые радиоактивные отходы — отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего применения материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, а

также отвержденные жидкие радиоактивные отходы, в которых удельная активность больше:

Газообразные радиоактивные отходы — не подлежащие использованию радиоактивные газы и аэрозоли, образующиеся при производственных процессах.

Жидкие радиоактивные отходы с неизвестным радионуклидным составом по объемной активности делят на следующие категории:

Твердые радиоактивные отходы с неизвестным радионуклидным составом подразделяются на:

Твердые и жидкие радиоактивные отходы, содержащие короткоживущие изотопы с периодом полураспада не свыше 15сут, выдерживаются в течение времени, обеспечивающего снижение активности до величин, при которых они рассматриваются как неактивные.

2. Проблема захоронения радиоактивных отходов

Проблема утилизации радиоактивных отходов актуальна сегодня для всех ядерных стран. Но если атомные электростанции или научные реакторы находятся под постоянным наблюдением и возможность аварии на них сведена к минимуму, то иная картина наблюдается в военно-промышленном комплексе, где только в России сняты с вооружения более 100 кораблей и подводных лодок с атомными реакторами. Время неумолимо, и с каждым днем электрохимическая коррозия снижает физико-химические характеристики стоящих у берега на швартовых атомных субмарин. А сколько жидких и твердых отслуживших радиоактивных веществ ждут своей участи!

К сожалению, в мире до сих пор не найдены способы их полного, надежного и безопасного уничтожения. Принятая в ведущих ядерных державах технология утилизации опасных объектов, безусловно, устарела. Часть корабля, содержащую ядерную установку, отделяют от корпуса, затем без всякой предварительной обработки ее грузят на транспортное средство и под конвоем отправляют в специально отведенные места для захоронения. Об огромных материальных потерях говорить не приходится. Но главное — объект остается радиоактивным многие сотни лет. А значит, потомкам достанется ужасное наследство. Ведь никто не может исключить ситуацию, когда, скажем, естественные или искусственные сейсмические удары растревожат такой могильник и создадут реальную угрозу уничтожения человечеству да и всего живого на Земле без атомной войны. После удаления самого опасного фрагмента с судна снимают оборудование, изоляционные прокладки, разбирают оставшиеся конструкции. Затем корпус разрезают на листы определенных размеров. В ходе операции, которую проводят газовыми резаками, в окружающую среду выбрасывается большое количество токсичных веществ.

Конверсионные работы по ликвидации подобных объектов требуют много сил, средств и времени: в год удастся утилизировать не более четырех судов. Конечно, стоимость подвергнутых дальнейшей обработке и возвращенных в оборот материалов — ценных марок стали, алюминия, свинца, цинка, меди и

других – позволяет компенсировать затраты, связанные с этими процессами. Но главная задача не решена: ведь количество радиоактивных узлов непрерывно растет, и, стало быть, стремительно накапливаются соответствующие твердые и жидкие отходы. Российские ученые давно ищут выход из создавшегося положения. С этой целью в Санкт-Петербурге был создан концерн. В него вошли Центр стратегических исследований РАН, Инженерная академия, Технологический университет, Санкт-Петербургский университет, Физико-химический институт, Балтийский завод, Военно-морская академия им. Н.Г.Кузнецова, Первый Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны и другие научно-технологические предприятия и организации. В результате проведенных в них многолетних исследований и экспериментов разработана и представлена правительству России уникальная программа утилизации ядерных объектов. Она не имеет аналогов в мировой практике конверсионных работ по ликвидации специальных плавучих средств. В чем ее особенность?

Мы предлагаем подвергать обработке сам ядерный реактор. Разработанный отечественными учеными способ его дезактивации, соответствующий нормам, принятым в России и МАГАТЭ, позволит полностью снять с корпуса установки остаточную активность. Это делает процесс высокорентабельным: по прогнозам, стоимость “спасенных” материалов и других материалов и оборудования не только полностью перекроет затраты на внедрение данной технологии, но и принесет 4-5 кратную прибыль. Обработка части корабля, содержащей ядерную установку, полностью автоматизирована: ее планируют выполнять с помощью роботов-манипуляторов, тем самым обезопасив от облучения операторов. Они будут наблюдать за ходом работ на экранах мониторов. Кроме того, российские специалисты создали технологию дезактивации и жидких радиоактивных отходов из контуров и монжуса реактора. В обеспеченной надежными средствами защиты установке происходит одновременно очистка газов и контейнеризация твердой фракции. И если раньше большое количество жидких элементов отправляли в могильник, но теперь они могут быть возвращены в производство и вновь использованы в научных реакторах, на АЭС, в других отраслях промышленности. Это даст огромный экономический эффект, а также резко уменьшит объем веществ, подлежащих захоронению. Найден и новаторский метод “разделки” корпуса судна. Предварительное охлаждение в специальной камере до -70°C снижает прочность металла в 50-100 раз, что значительно облегчает его дальнейшую обработку. Затем на корпус набрасывают металлическую сетку с заданным размером ячеек. На ней в местах пересечения проволоки находятся точечные пиротехнические зарядные устройства. При подаче напряжения на сетку за несколько секунд весь корпус осыпается на поддон. При этом, в отличие от традиционного способа “разделки”, вредные вещества в окружающую среду не выделяются: осыпавшийся металл тут же транспортируют из рабочей зоны, после чего проводят его сортировку. В итоге время на обработку

заметно сокращается, и в зависимости от класса корабля составит вместо 2-4 месяцев всего 7-10 дней.

Поскольку процесс значительно ускорится, существенно возрастет и “оборачиваемость” рабочей площадки – по этому показателю предлагаемая технология опережает принятую в США в 10 раз. Напомним, сегодня в любой стране, имеющей в своем арсенале атомные суда, успевают переработать 3-4 в год. Если учесть, что общее число списанных кораблей у нас перевалило за 100, а к 2000 г. их будет около 200, становится очевидным: без новых подходов утилизация может затянуться на столетия.

Итак, разработанная Российским концерном технология дезактивации ядерных объектов не только прогрессивна, но и высокоактивна. По расчетам специалистов, она вполне способна на порядок сократить затраты на проведение подобных работ. Далее, появляется реальная перспектива решить на ее основе аналогичные задачи для атомных электростанций, избавиться от миллиардных расходов на вынужденное поддержание на плаву списанных судов, загрузить переполненные сейчас хранилища смертельных отходов за счет более компактного захоронения. Кроме того, она может стать прибыльной отраслью экономики и от выполнения иностранных заказов, и от продажи ноу-хау за рубежом. Подготовленный комплект документации окажется полезным при подготовке проекта по конверсии, который ускорит утилизацию опасных объектов в мировом масштабе. По нашему мнению, в самое ближайшее время необходимо создать международный центр по утилизации плавучих средств для снижения стоимости и ускорения этих работ у нас и других ядерных державах.

1. 11 Лекция № 11 (2 часа).

Тема: « Биологическое действие ионизирующих излучений»

1.11.1 Вопросы лекции:

1. Механизмы действия радиации на живые организмы
2. Реакции организма. Критические системы

1.11.2 Краткое содержание вопросов:

1. Механизмы действия радиации на живые организмы

Фундаментальной задачей, составляющей предмет радиобиологии, является вскрытие общих закономерностей биологического ответа на ионизирующее воздействие, на основе которых можно овладеть искусством управления лучевыми реакциями организма.

Задача эта довольно трудна и, прежде всего потому, что для ее решения необходимо, по меткому выражению Н.В.Тимофеева-Ресовского, понять и преодолеть основной радиобиологический парадокс, состоящий в крайнем несоответствии между ничтожной величиной поглощенной энергии и крайней степенью выраженности реакций биологического объекта, вплоть до летального исхода. В чем же заключается существо этого парадокса?

Несмотря на большие различия в радиочувствительности отдельных видов, облучение в дозе 10 Гр убивает практически всех млекопитающих. Что же представляет собой такая доза по суммарной энергии, поглощенной в теле при облучении? Много это или мало? Если выразить эту дозу в единицах измерения тепловой энергии, то окажется, что организм человека нагреется лишь на 0,001 градуса, это меньше чем от стакана выпитого горячего чая.

Для объяснения основного радиобиологического парадокса было предложено более десятка различных гипотез, теорий, взглядов; часть из которых утратила свое значение в силу экспериментальной недоказуемости, другая - в какой-то мере признается. Но основу их большинства составляют два основополагающих механизма - прямое и косвенное действие ионизирующих излучений, которые рассматриваются на молекулярном уровне.

Под прямым действием излучений принято считать радиационно-химические превращения молекул, возникающие под непосредственным действием радиации в месте поглощения ее энергии.

Прямое действие радиации представляет собой сложную последовательность событий, происходящих от момента передачи энергии излучения макромолекуле и до появления стойких структурных и функциональных изменений. Условно этот процесс можно поделить на четыре стадии:

- 1) электрическое взаимодействие;
- 2) физико-химические изменения;
- 3) химические изменения;
- 4) биологические эффекты.

При электрическом или физическом взаимодействии проникающие в ткани альфа - или бета-частицы теряют свою энергию вследствие электрических взаимодействий с электронами тех атомов, вблизи которых они проходят. Гамма-излучение и рентгеновские лучи передают свою энергию веществу несколькими способами (фотоэффект, эффект Комптона, образование электронно-позитронных пар), что в конечном счете также приводит к электрическим взаимодействиям. В момент электрических взаимодействий за триллионные доли секунды после того, как проникающее излучение достигнет соответствующего атома в ткани организма, происходит процесс *ионизации*. Ионизация - это превращение нейтральных атомов (молекул) вещества в электрически заряженные ионы.

Таким образом, на первой, или физической, стадии энергия излучения переносится веществу, в результате возникают возбужденные и ионизированные молекулы, неравномерно распределенные в пространстве.

В момент *физико-химических изменений* и свободный электрон, и ионизированный атом обычно не могут долго пребывать в таком состоянии и в течение следующих *миллиардных* долей секунды участвуют в сложной цепи реакций, в результате которых образуются новые молекулы, включая и такие чрезвычайно реакционные, как свободные радикалы.

Таким образом, вторая физико-химическая стадия состоит из различных типов реакций, приводящих к перераспределению возбужденными молекулами избыточной энергии, в результате появляются разнообразные активные продукты: ионы, радикалы. Облученные молекулы, находящиеся в различных электронно-возбужденных состояниях, в течение физико-химической стадии имеют много возможностей для дальнейших превращений. Поэтому в веществе, состоящем даже из одного типа молекул, облучение генерирует ионы и радикалы с широким спектром химических свойств.

Химические изменения наступают в течение следующих миллионных долей секунды. Образовавшиеся свободные радикалы реагируют как друг с другом, так и с другими молекулами и через цепочку реакций, еще не изученных до конца, могут вызывать химическую модификацию важных в биологическом отношении молекул, необходимых для нормального функционирования клеток организма.

Биологические эффекты могут произойти как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться либо причиной немедленной гибели клеток, либо вызвать такие изменения в них, которые могут впоследствии привести к раку.

2. Реакции организма. Критические системы

Лучевые реакции клеток

Выяснение механизма действия ионизирующей радиации на клетку - одна из основных проблем современной радиационной биофизики. Радиочувствительность биологических объектов, прежде всего, рассматривается на уровне клетки, которая является как бы ареной, где возникают начальные процессы лучевого поражения организма.

Еще в начале века были описаны различные реакции клеток на облучение - от временной задержки роста и размножения до полной дегенерации и лизиса.

В 1909 году французские ученые Бергонье и Трибондо, обобщив к тому времени экспериментальный материал, сформулировали правило, что чувствительность клеток к облучению прямо пропорциональна интенсивности идущих в них процессов клеточного деления и обратно пропорциональна степени их дифференцировки. Согласно этому правилу наиболее радиочувствительными являются быстрообновляющиеся клетки.

В результате облучения повреждаются абсолютно все внутриклеточные структуры. В облученной клетке можно зарегистрировать множество самых разнообразных реакций - задержку деления, угнетение синтеза ДНК, повреждение мембран, вакуолизацию цитоплазмы и т.п. Степень выраженности этих реакций зависит от того, на какой стадии жизненного цикла клетки произведено облучение. Поэтому необходимо вспомнить современное представление о клеточном цикле.

Сам клеточный цикл состоит из интерфазы и митоза. Интерфаза - это стадия жизненного цикла клетки между двумя последовательными делениями, собственно митозами.

Митоз - это стадия деления клетки.

Около 35 лет назад было установлено, что синтез ДНК в клетке происходит в интерфазе. Это позволило разделить интерфазу на три периода:

G_1 - предсинтетический;

S - синтез ДНК;

G_2 - постсинтетический;

M - митоз (профаза, метафаза, анафаза, телофаза).

В активно обновляющихся тканях, таких, как эпителий ворсинок кишечника, костный мозг, в быстрорастущих опухолях, продолжительность клеточного цикла составляет от 10 до 48 часов. Митоз завершается в течение 30-60 минут, остальное время приходится на интерфазу.

В малообновляющихся или дифференцированных тканях, таких, как ЦНС, большинство клеток находится в стадии G_1 , длительность которой в этих тканях измеряется неделями, месяцами и даже годами, поэтому данные клетки находятся в состоянии покоя, т.е. не делятся длительное время.

У быстроделющихся клеток первая реакция на облучение - это задержка их вступления в митоз. Опыты с клеточными культурами показали, что выраженность задержки деления зависит от периода клеточного цикла: наибольшая задержка митоза наблюдается при облучении клеток в S - периоде и G_2 . Задержка носит дозовый характер: чем больше доза облучения, тем продолжительнее задержка. Работами с мечеными атомами ^{32}P , 3H , ^{14}C и другими доказано наличие стадий клеточного цикла и определена их продолжительность. Например, под действием радиации в сублетальных дозах 0,25-1,0 Гр клеточный цикл удлиняется в 1,5-2 раза. Исследованиями клеток в различные фазы митоза установлено, что наибольшую чувствительность к ионизирующим излучениям имеет клетка в стадии профазы. Но через определенный промежуток времени, также зависящий от величины дозы, клетки вступают в митоз. Но при этом часть клеток облученной популяции, вступив в митоз, не в состоянии разделиться, в результате чего образуются гигантские клетки. Их размеры могут в сотни раз превосходить размеры необлученных клеток. В конечном итоге гигантские клетки погибают, вероятно, из-за нарушения оптимального соотношения поверхности клетки и ее объема. Основная же часть облученных клеток проходит митоз и делится. Однако сразу же после первого деления появляются погибшие клетки. Еще больше клеток гибнет после второго, третьего и последующих митозов. Существенная особенность митотической гибели состоит в том, что облученные клетки в течение определенного промежутка времени сохраняют метаболическую активность, но не продуцируют жизнеспособное потомство. До первого постлучевого митоза погибшие клетки, как правило, не появляются, а летальность повреждений выявляется в последующих митозах.

Особенности гибели быстроделющихся клеток подчеркивают термины,

которые в разное время были приняты для ее обозначения: митотическая гибель, отсроченная гибель, гибель при делении, репродуктивная гибель.

Репродуктивная (митотическая) форма лучевой гибели клеток наиболее распространена в природе, имеет несколько видов или разновидностей:

- гибель после первого деления;
- гибель в последующих делениях;
- гибель части делящихся клеток из популяции;
- формирование нежизнеспособных гигантских клеток (2-3 деления и они погибают).

Таким образом, задержка деления клеток предшествует их гибели.

Возможные причины задержки клеточного деления под действием радиации следующие:

- происходит разрушение веществ, стимулирующих митоз;
- нарушается проницаемость клеточных мембран;
- накапливаются вещества, тормозящие деление клетки (аденозинтрифосфорная кислота -АТФ);
- нарушение синтеза нуклеиновых кислот.

Основной причиной митотической (репродуктивной) гибели клеток являются структурные повреждения хромосом. Повреждения обнаруживаются на разных стадиях митоза в виде хромосомных перестроек, называемых хромосомными абберациями.

Возникающие при облучении хромосомные абберации весьма разнообразны, их основные виды следующие:

- фрагментация хромосом;
- формирование хромосомных мостов;
- образование кольцевых хромосом;
- образование дицентриков;
- появление внутривхромосомных обменов;
- появление межхромосомных обменов.

Такие абберации, как мосты, механически препятствуют делению клеток; появление ацентрических фрагментов приводит к неравномерному разделению хромосом и утрате генетического материала.

Интерфазная гибель клеток, в отличие от митотической гибели, характерна для дифференцированных и высокодифференцированных клеток. Она наступает до вступления клетки в митоз. Происходит непосредственно “под лучом” или вскоре после облучения в больших дозах. В диапазоне 10 Гр и выше интерфазная гибель наступает в первые часы после облучения и может быть зарегистрирована в виде различных дегенеративных изменений клеток. Интерфазной гибели предшествует ряд закономерных физиологических и морфологических изменений, а именно, нарушение ядерного фосфорилирования, изменения проницаемости ядерной, митохондриальной и цитоплазматической мембран, угнетения дыхания, дегградация комплекса ДНК.

Под микроскопом через 2-6 часов можно наблюдать клетки костного мозга с резким пикнозом ядра.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1 (2 часа).

Тема: «Ядерные превращения (радиоактивные распады)_»

2.1.1 Цель работы:

2.1.2 Задачи работы:

1. Характеристика альфа-распада
2. Характеристика электронного бета-распада
3. Характеристика позитронного бета-распада

2.3.1 Цель работы: Изучить закономерности радиоактивных распадов естественных и искусственных радионуклидов.

2.3.2 Задачи работы:

1. Понятие об изотопах. Стабильные и нестабильные изотопы
2. Типы радиоактивного распада
3. Единицы радиоактивности
4. Практическое выполнение примеров

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе. 1. Методические указания.

2. Таблицы «Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева».

3. Микрокалькуляторы.

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Понятие об изотопах. Стабильные и нестабильные изотопы.

Изотопы - это разновидности одного химического элемента, которые имеют одинаковый порядковый номер (заряд ядра), но разное массовое число. Следовательно они отличаются числом нейтронов.

Существует другая формулировка определения изотопа - разновидности одного и того же химического элемента, у которых при одинаковом числе **протонов** в ядре находится разное число **нейтронов**, называются изотопами.

У приведенных изотопов заряд ядра одинаковый - 53, т.е. число протонов одинаковое, число нейтронов у всех разное, соответственно $N = 72, 74, 78$.

Следовательно, число протонов в ядре определяет тип атома, т.е. его химические свойства, а число нейтронов определяет физические свойства изотопа.

Большинство химических элементов имеют двоякого рода изотопы - стабильные и нестабильные. Известно, примерно, 300 стабильных и 1200 нестабильных изотопов. *Нестабильные изотопы* - это изотопы, у которых

не хватает внутриядерных сил для сохранения прочности ядра. Ядро может самопроизвольно превращаться в ядро изотопа другого элемента. Процесс самопроизвольного превращения нестабильных ядер в стабильные называется *радиоактивным распадом*. Неустойчивые изотопы, подверженные подобному превращению, называются радиоактивными изотопами (радиоизотопами) данного элемента. Радиоактивные изотопы известны для всех химических элементов. Нестабильные ядра всех изотопов называются *радионуклидами*.

У естественных и искусственных изотопов любых химических элементов различают 2 категории ядерных превращений: **радиоактивный распад и ядерные реакции**.

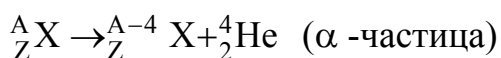
Радиоактивному распаду подвергаются только нестабильные (радиоактивные) естественные и искусственные изотопы. Естественными они называются потому, что встречаются в природе, а искусственные это те изотопы, которые образуются в результате ядерных реакций.

2. Типы радиоактивного распада

Существуют следующие основные типы распада нестабильных ядер:

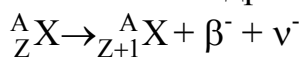
- 1) альфа-распад (α -распад);
- 2) электронный бета-распад (β^- -распад);
- 3) позитронный бета-распад (β^+ -распад);
- 4) электронный К-захват (e^- К-захват);

Альфа-распад наблюдается внутри ядер, для которых массовое число более 200, т.е. у природных радионуклидов - урана, радия, тория и т.д. При альфа-распаде 2 протона и 2 нейтрона объединяются и образуют ядро атома гелия, которое называется альфа-частицей. Когда энергия альфа-частицы внутри ядра становится достаточной, чтобы преодолеть ядерные силы, она вылетает из ядра. При альфа-распаде исходное ядро теряет 2 протона и 2 нейтрона, следовательно, массовое число уменьшается на 4, а заряд (порядковый номер) на 2 единицы. Исходное атомное ядро превращается в ядро нового элемента, расположенного в периодической системе Менделеева на две клетки левее:



Излучение при альфа-распаде представляет собой поток положительно заряженных альфа-частиц. Энергия α -частиц, испускаемых естественными радиоактивными элементами, лежит в пределах 4,0-9,0 МэВ. Альфа-частицы движутся со скоростью 17- 20тыс.км/с. Пробег этой частицы в воздухе составляет от 2 до 10 см; в биологических тканях - несколько десятков микрон.

Электронный бета-распад (β -распад) испытывают природные и искусственные радионуклиды с избытком нейтронов в ядре. Внутри ядра один из нейтронов распадается на протон и электрон. При этом протон остается внутри ядра, а электрон (бета-частица) с очень большой скоростью выбрасывается из ядра.

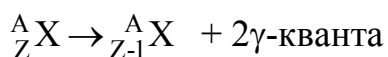


Излучение при бета-распаде представляет из себя поток электронов ядерного происхождения. *Ядерного происхождения !* Энергия бета-частиц имеет пределы от 0,05 МэВ до 3-12 МэВ.

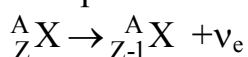
Позитронный бета-распад (β^+ -распад) наблюдается в ядрах с избытком протонов у искусственных радионуклидов. При этом протон превращается в нейтрон с образованием внутри ядра положительно заряженного электрона. Эту частицу называют **позитроном**. Нейтрон остается в ядре, а позитрон вылетает из него. Вылетевший из ядра позитрон не уходит за пределы атома, а превращается в новый вид энергии. Он срывает с электронной оболочки "лишний электрон", образуется пара "позитрон+электрон", которые аннигилируют и превращаются в 2 гамма-кванта с энергией 0,511 МэВ.

Таким образом, при позитронном распаде за пределы исходного атома вылетает не позитрон, а гамма-кванты, другими словами - гамма-излучение.

При позитронном распаде исходное ядро превращается в ядро нового элемента, расположенного в периодической системе Менделеева на одну клетку (на один номер) левее исходного. Массовое число остается без изменения.



Электронный e^- К-захват наблюдается у искусственных радионуклидов с избытком протонов в ядре. Ядро атома захватывает электрон с ближайшего К-слоя электронной оболочки, в результате чего один из протонов ядра превращается в нейтрон с выделением нейтрино. Освободившееся место электрона на К-слое занимает электрон с более высокого энергетического уровня. При этом атом испускает рентгеновское излучение. При электронном захвате исходное ядро превращается в ядро нового элемента, расположенного в периодической системе Менделеева на один номер левее исходного. Массовое число остается без изменения.



3. Единицы радиоактивности (активности)

Самопроизвольный распад нестабильных ядер можно измерить и придать ему количественную оценку. Количество радиоактивных веществ не измеряется единицами массы, такими как мг, г, кг и т.д. Мерой количества радиоактивных веществ (РВ) является **активность**.

Активностью называется число распадов ядер атомов, происходящих самопроизвольно в единицу времени. В международной системе единиц (СИ) за единицу активности принято одно ядерное превращение в секунду или 1 распад/секунду. Эта единица получила название беккерель - Бк.

$$1 \text{ расп/с} = 1 \text{ Бк}$$

Дольных величин у единицы *беккерель (Бк)* нет, есть кратные:

$$\text{кБк (килоБк)} = 1000 \text{ расп/с};$$

$$\text{МБк (мегаБк)} = 1000000 \text{ расп/с}.$$

Внесистемной единицей а к т и в н о с т и, но широко используемой, является кюри (Ки). Численному значению 1 Ки соответствует

радиоактивность 1 г чистого радия, в котором за 1 секунду распадается 37 миллиардов ядер ($3,7 \cdot 10^{10}$). Следовательно, 37 млрд. распадов в секунду содержится в единице **кюри** (Ки).

37 млрд. расп/с = 1 Ки

Кюри - это большая единица, поэтому пользуются ее дробными величинами:

Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ расп/с

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

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

нанокюри (нКи) = 10^{-9} Ки = 37 расп/с

На практике чаще пользуются числом распадов в минуту:

1 Ки = $2,22 \cdot 10^{12}$ расп/мин

мКи = $2,22 \cdot 10^9$ расп/мин

1 мкКи = $2,22 \cdot 10^6$ расп/мин

нКи = $2,22 \cdot 10^3$ расп/мин

1 пКи = 2,22 расп/мин.

А к т и в н о с т ь, выраженная в единицах активности (Бк или Ки) и отнесенная к единице массы, объема, площади, называется удельной активностью (Бк/кг, Ки/кг, Бк/л, Ки/л). Удельная активность характеризует предельно допустимую концентрацию (ПДК) радиоактивного вещества в продуктах питания и объектах зооветеринарного надзора.

4. Практическое выполнение примеров

1. Написать цепочку распада урана-238, урана-235, тория-232.

2. Написать формулу и пример радиоактивного распада для следующих радионуклидов:

^{239}Pu - альфа-распад; ^{82}Br - β^- ; ^{74}Br - β^+ ; ^{125}I - $e\text{K}$ захват;

^{129}I - β^- ; ^{131}I - β^- ; ^{60}Co - β^+ ; ^{40}K - β^- ; ^{45}K - β^- ; ^{134}Cs - β^- ; ^{137}Cs - β^- ; ^{14}C - β^- ;

^{32}P - β^- ; ^{42}K - β^- ; ^{222}Ra - α ; ^{223}Ra - α ; ^{224}Ra - α ; ^{226}Ra - α .

2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

Тема: «Единицы радиоактивности»

2.2.1 Цель работы:

2.2.2 Задачи работы:

1. Несистемная единица радиоактивности – кюри

2. Системная единица радиоактивности – беккерель

3. Связь между активностью и массой радионуклида

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методические указания.

2. Таблицы «Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева».

3. Микрокалькуляторы.

2.2.4 Описание (ход) работы:

1. Несистемная единица радиоактивности – кюри

Самопроизвольный распад нестабильных ядер можно измерить и придать ему количественную оценку. Количество радиоактивных веществ не измеряется единицами массы, такими как мг, г, кг и т.д. Мерой количества радиоактивных веществ (РВ) является **активность**.

Активностью называется число распадов ядер атомов, происходящих самопроизвольно в единицу времени.

Внесистемной единицей активности, но широко используемой, является кюри (Ки). Численному значению 1 Ки соответствует радиоактивность 1 г чистого радия, в котором за 1 секунду распадается 37 миллиардов ядер ($3,7 \cdot 10^{10}$). Следовательно, 37 млрд. распадов в секунду содержится в единице **кюри** (Ки).

$$37 \text{ млрд. расп/с} = 1 \text{ Ки}$$

Кюри - это большая единица, поэтому пользуются ее дробными величинами:

$$\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с}$$

$$\text{милликюри (мКи)} = 10^{-3} \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ расп/с}$$

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

$$\text{нанокюри (нКи)} = 10^{-9} \text{ Ки} = 37 \text{ расп/с}$$

На практике чаще пользуются числом распадов в минуту:

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

$$\text{мКи} = 2,22 \cdot 10^9 \text{ расп/мин}$$

$$1 \text{ мкКи} = 2,22 \cdot 10^6 \text{ расп/мин}$$

$$\text{нКи} = 2,22 \cdot 10^3 \text{ расп/мин}$$

$$1 \text{ пКи} = 2,22 \text{ расп/мин.}$$

Активность, выраженная в единицах активности (Бк или Ки) и отнесенная к единице массы, объема, площади, называется удельной активностью (Бк/кг, Ки/кг, Бк/л, Ки/л). Удельная активность характеризует предельно допустимую концентрацию (ПДК) радиоактивного вещества в продуктах питания и объектах зооветеринарного надзора.

2. Системная единица радиоактивности – беккерель

В международной системе единиц (СИ) за единицу активности принято одно ядерное превращение в секунду или 1 распад/секунду. Эта единица получила название беккерель - Бк.

$$1 \text{ расп/с} = 1 \text{ Бк}$$

Дольных величин у единицы *беккерель (Бк)* нет, есть кратные:

$$\text{кБк (килоБк)} = 1000 \text{ расп/с};$$

$$\text{МБк (мегаБк)} = 1000000 \text{ расп/с.}$$

3. Связь между активностью и массой радионуклида

Между активностью (А) и массой радионуклида (m) существует взаимосвязь, которая выражается следующей формулой:

$$A = \frac{0,693}{T_{1/2}} \cdot \frac{N_A}{M} \cdot m$$

Величины, содержащиеся в формуле, имеют следующие размерности:

A – активность (Бк);

$T_{1/2}$ – период полураспада (с);

m – масса (г);

M (г/моль) – атомная масса изотопа;

N_A – число Авогадро, $= 6,022 \cdot 10^{23}$ 1/моль (число атомов в 1 моле вещества).

Из формулы видно, что с уменьшением постоянной скорости распада (λ), а следовательно, с увеличением периода полураспада ($T_{1/2}$) масса радиоизотопов (m), при одинаковой активности (A), будет возрастать.

Например, масса йода-131 с активностью в 1 Ки и периодом полураспада равным 8,06 суток будет составлять 0,008 мг. Масса урана-238, с той же активностью (1Ки), но периодом полураспада $4,5 \cdot 10^9$ лет, составит около 3 тонн.

Практическое выполнение примеров

1. Рассчитать массу следующих радиоизотопов с активностью в 1 Ки (йод-125, стронций-89, стронций-90, цезий-137, цезий-134, натрий-24, фосфор-32, углерод-14). Приложение – таблица периодов полураспада (стр.12).

2. Предел годового поступления радия-226 через органы дыхания в условиях профессионального облучения составляет $1,3 \cdot 10^3$ Бк. Рассчитать массу радионуклида, опасную для здоровья.

2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

Тема: «Закон радиоактивного распада»

2.3.1 Цель работы: Научить студентов использовать закон радиоактивного распада на практике

2.3.2 Задачи работы:

1. Стабильные и нестабильные изотопы
2. Постоянная скорость распада
3. Графическое выражение закона радиоактивного распада
4. Математическое выражение закона радиоактивного распада
5. Применение графического выражение закона радиоактивного распада на практике

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методические указания.
2. Таблицы «Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева».

3. Микрокалькуляторы.
4. Таблица периодов полураспада

.....

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Стабильные и нестабильные изотопы

Большинство химических элементов имеют двоякого рода изотопы - стабильные и нестабильные. Известно, примерно, 300 стабильных и 1200 нестабильных изотопов. *Нестабильные изотопы* - это изотопы, у которых не хватает внутриядерных сил для сохранения прочности ядра. Ядро может самопроизвольно превращаться в ядро изотопа другого элемента. Процесс самопроизвольного превращения нестабильных ядер в стабильные называется *радиоактивным распадом*. Неустойчивые изотопы, подверженные подобному превращению, называются радиоактивными изотопами (радиоизотопами) данного элемента. Радиоактивные изотопы известны для всех химических элементов. Нестабильные ядра всех изотопов называются *радионуклидами*.

У естественных и искусственных изотопов любых химических элементов различают 2 категории ядерных превращений: **радиоактивный распад и ядерные реакции**.

Радиоактивному распаду подвергаются только нестабильные (радиоактивные) естественные и искусственные изотопы. Естественными они называются потому, что встречаются в природе, а искусственные это те изотопы, которые образуются в результате ядерных реакций.

2. Постоянная скорость распада

У каждого радионуклида есть своя постоянная скорость распада. Скорость распада невозможно изменить (увеличить или уменьшить) никакими пока известными и возможными факторами - физическими или химическими (любая температура, механическое воздействие, электрическая энергия, токи высокой частоты и т.д.). Скорость распада не зависит от того, где находится радиоактивное вещество - на поверхности земли или на поверхности любых других предметов, глубоко под землей или под водой, внутри организма человека или животного, она постоянна.

Постоянная распада (λ) для определенного радиоактивного изотопа показывает какая доля его ядер распадается в единицу времени. Размерность постоянной распада выражают в обратных единицах времени (с^{-1} , мин^{-1} , ч^{-1} и т.д.).

Постоянная распада (λ) связана с периодом полураспада ($T_{1/2}$) следующим уравнением:

$$\lambda = \frac{-0,693}{T_{1/2}} \quad T_{1/2} = \frac{-0,693}{\lambda}$$

Между постоянной скоростью распада и периодом полураспада существует обратная связь. Чем больше период полураспада, тем меньше постоянная скорость распада и наоборот.

3. Графическое выражение закона радиоактивного распада

Количество любого радиоактивного вещества со временем уменьшается в результате радиоактивного распада, который совершается самопроизвольно под действием внутриядерных процессов. Для каждого радиоизотопа скорость распада его ядер постоянна, неизменна и характерна только для данного изотопа. Темп и характер распада не зависит от количества радиоактивного вещества и не изменяется от воздействия физических или химических факторов.

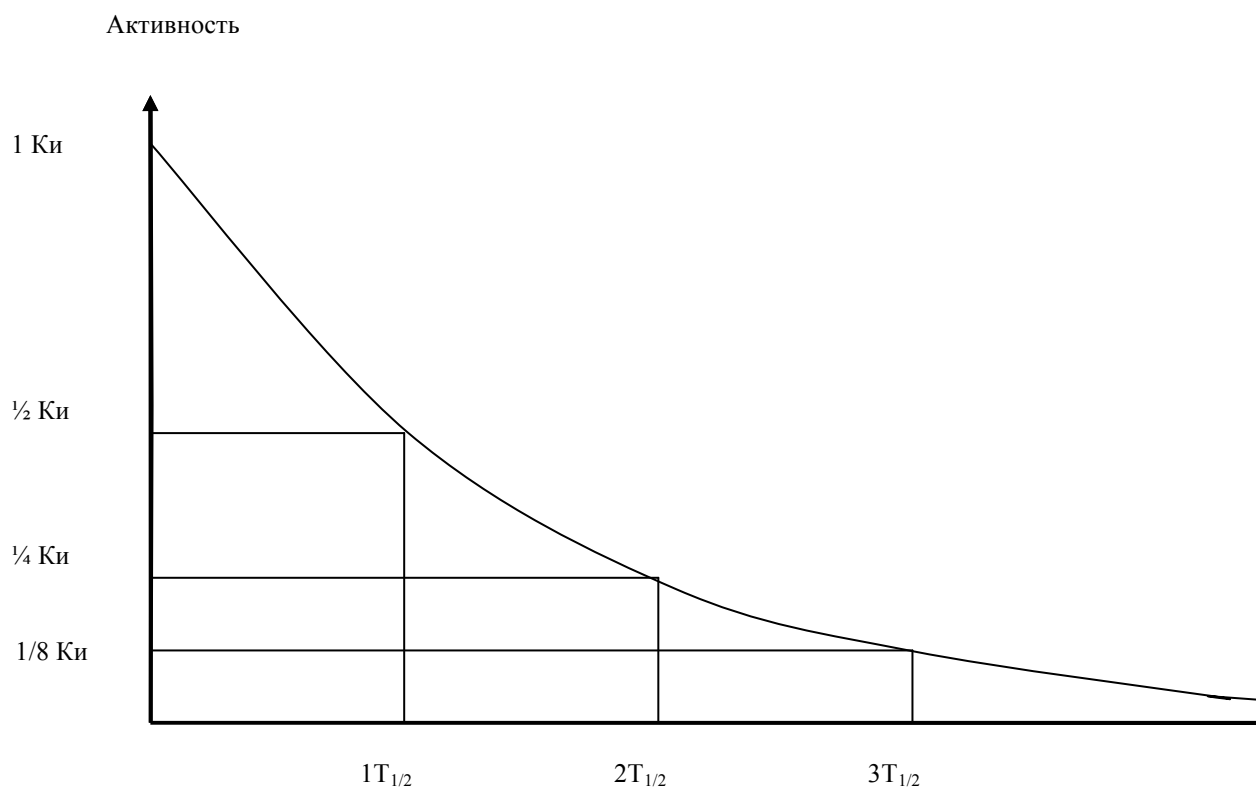
Ядра атомов в данном количестве радиоактивного вещества распадаются не одновременно. Однако, благодаря большому числу ядер, в каждую единицу времени распадается, в среднем, определенная (одинаковая) доля их и рано или поздно каждый атом радиоактивного вещества распадется и испустит в окружающую среду тот или иной вид излучения. Вероятность радиоактивного распада, как и многих других явлений в природе, подчиняется статистическим закономерностям.

Все радиоактивные изотопы распадаются в одном и том же порядке и подчиняются закону радиоактивного распада.

Закон радиоактивного распада заключается в том, что за единицу времени распадается всегда одна и та же часть имеющихся в наличии ядер атомов радиоактивного вещества.

Закон радиоактивного распада выражают **графически и математически**.

Графическое выражение закона радиоактивного распада представляет из себя экспоненциальную кривую.



4. Математическое выражение закона радиоактивного распада

В дифференциальном виде закон радиоактивного распада имеет следующее математическое выражение:

$$dN = -\lambda N dt$$

На основании чего можно определить активность:

$$A = \frac{-dN}{dt} = -\lambda N$$

Если принять, что $\frac{N_t}{N_0} = \frac{1}{2}$

получим, $\frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$

Из формулы получаем, что $\ln 2 = -\lambda T_{1/2}$, или

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

В интегральном виде закон радиоактивного распада выражается уравнением:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

N_t - искомое количество РВ (искомая активность);

N_0 - начальное (исходное) количество радиоактивного вещества (начальная активность);

e - основание натуральных логарифмов, равное 2,72;

λ – постоянная распада;

t - время, в течение которого распадалось радиоактивное вещество.

Если известна активность радиоизотопа на какой-то определенный момент времени, то по этой формуле можно легко рассчитать, какова была или будет его активность по прошествии любого периода времени.

5. Применение графического выражение закона радиоактивного распада на практике

Преподаватель дает не менее пяти ситуационных задач по вычислению радиоактивности с помощью закона радиоактивного распада.

2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа).

Тема: «Определение радиоактивности расчетным методом по формуле закона радиоактивного распада»

2.4.1 Цель работы: Научить студентов пользоваться математической формулой закона радиоактивного распада для вычисления радиоактивности на любой момент времени

2.4.2 Задачи работы:

1. Решение ситуационных задач по определению радиоактивности в кормах
2. Решение ситуационных задач по определению радиоактивности в мясной и молочной продукции

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Периодическая таблица химических элементов Менделеева
2. Калькуляторы
3. Таблица периодов полураспада радиоактивных изотопов

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. Решение ситуационных задач по определению радиоактивности в кормах

Преподаватель предоставляет не менее пяти задач по вычислению радиоактивности кормов на любой момент времени, загрязненных различными радионуклидами.

2. Решение ситуационных задач по определению радиоактивности в мясной и молочной продукции

Преподаватель предоставляет не менее пяти задач по вычислению радиоактивности загрязненного молока и мяса различными радионуклидами на любой момент времени.

2.5 Лабораторная работа №5 (2 часа).

Тема: «Методика определения радиоактивности по Н.В.Верховской»

2.5.1 Цель работы: Научить студентов пользоваться упрощенной формулой закона радиоактивного распада для вычисления радиоактивности на любой момент времени

2.5.2 Задачи работы:

1. Расчет радиоактивности в радиоактивных препаратах
2. Расчет радиоактивности в мясной и молочной продукции

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Периодическая таблица химических элементов Менделеева
2. Калькуляторы
3. Таблица периодов полураспада радиоактивных изотопов
4. Таблица поправочного коэффициента по Н.В.Верховской

2.5.4 Описание (ход) работы:

1. Расчет радиоактивности в радиоактивных препаратах

Преподаватель предоставляет не менее пяти задач по вычислению радиоактивности радиоактивных препаратов на любой момент времени, загрязненных различными радионуклидами

2. Расчет радиоактивности в мясной и молочной продукции

Преподаватель предоставляет не менее пяти задач по вычислению радиоактивности загрязненного молока и мяса различными радионуклидами на любой момент времени по Н.В.Верховской

2.6 Лабораторная работа №6 (2 часа).

Тема: «Единицы доз ионизирующих излучений»

2.6.1 Цель работы:

2.6.2 Задачи работы:

1. Экспозиционная доза ионизирующих излучений. Единицы измерения.
2. Поглощенная доза ионизирующих излучений. Единицы измерения.
3. Практическая работа по переводу несистемных единиц доз в системные единицы.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методические указания
2. Микрокалькуляторы
3. Таблица дольных и кратных значений
4. Таблица «Радиационные величины и единицы».

2.6.4 Описание (ход) работы:

1. Экспозиционная доза ионизирующих излучений. Единицы измерения.

При измерении количества рентгеновского и гамма-излучения, действующего на объект, определяют так называемую, экспозиционную дозу излучения. Она характеризует ионизационную способность рентгеновских и гамма-лучей в воздухе.

Специальной (несистемной) единицей дозы рентгеновского и гамма-излучения в воздухе принят рентген (Р).

1 рентген - это такая доза рентгеновского или гамма-излучения, при которой в 1 см³ воздуха (0,001293 г) при температуре 0°C и давлении 760 мм ртутного столба образуется $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов.

На образование одной пары ионов в воздухе затрачивается, в среднем, энергия, равная 34 эВ. Таким образом, энергетический эквивалент рентгена в 1 см³ воздуха составляет $2,08 \cdot 10^9 \cdot 34 = 7,1 \cdot 10^4$ МэВ = 0,114 эрг/см³ или в 1 г воздуха 88 эрг ($0,114 : 0,001293 = 88$ эрг).

Дольные и кратные величины рентгена: миллирентген (мР) = 10^{-3} Р, микрорентген (мкР) = 10^{-6} Р, кило рентген (КР = 10^3 Р, мега рентген (МР = 10^6 Р.

По международной системе единиц (СИ) за единицу экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения принят Кулон/килограмм. 1 Кл/кг - это такая экспозиционная доза, при которой сопряженная корпускулярная единица на 1 кг сухого атмосферного воздуха производит ионы, несущие заряд в 1 кулон электричества каждого знака.

$$1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

Это есть такая экспозиционная доза, при которой в каждом килограмме воздуха образуются ионы, заряд которых (для ионов одного знака) равен 1 Кл.

2. Поглощенная доза ионизирующих излучений. Единицы измерения.

Доза, выраженная в рентгенах и Кл/кг, не учитывает энергию излучения, которая поглощается облучаемым объектом, поэтому для определения эффекта облучения в любой среде и, в частности, в живых организмах введено понятие поглощенной дозы облучения.

Поглощенная доза облучения - это есть величина, равная энергии любого ионизирующего излучения, характеризующая эффект облучения в биологических тканях. (Поглощенная доза облучения характеризует степень поражения живого организма).

Несистемной единицей поглощенной дозы облучения является рад (radiation absorbed dose) - поглощенная доза лучей.

Единица рад - это поглощенная доза любого вида ионизирующего излучения, при котором в 1 г массы вещества поглощается энергия излучения, равная 100 эргам ($1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг}$).

По международной системе единиц (СИ) за единицу поглощенной дозы облучения принят Грей (Гр). 1 Гр равен 1 Джоулю, поглощенному в 1 кг вещества (Дж/кг).

$$\text{Следовательно, } 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад; } 1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр.}$$

Единица рад не исключает использование рентгена, так как до сих пор дозиметрические приборы отградуированы в рентгенах, поэтому при облучении биологических объектов, дозу измеряют в рентгенах, а затем расчетным путем находят поглощенную дозу в радах. При пересчете рентген в рад для любого живого организма дозу, измеренную в рентгенах, умножают на средний коэффициент, равный 0,93 и получают дозу в радах.

$$\text{Например: } 100\text{Р} \cdot 0,93 = 93 \text{ рад} = 0,93 \text{ Гр (приблизительно к 1 Гр).}$$

3. Практическая работа по переводу несистемных единиц доз в системные единицы.

Каждому студенту преподаватель дает не менее десяти примеров, которые он должен выполнить по завершению работы.

2.7 Лабораторная работа №7 (2 часа).

Тема: « Мощность дозы и относительная биологическая эффективность ИИ»

2.7.1 Цель работы: Подчеркнуть знание мощности дозы излучения (уровня радиации на местности) для мониторинга окружающей среды

2.7.2 Задачи работы:

1. Мощность излучения экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз. Единицы измерения
2. Относительная биологическая эффективность ионизирующих излучений
3. Эквивалентная доза ионизирующих излучений. Единицы измерения.
4. Практические задачи по определению доз облучения и суммарных величин эквивалентной дозы

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методические указания
2. Микрокалькуляторы
3. Таблица дольных и кратных значений
4. Таблица «Радиационные величины и единицы».

2.7.4 Описание (ход) работы:

1. **Мощность излучения экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз.**

Единицы измерения

В биологическом отношении очень важно знать не просто дозу излучения, которую получил облучаемый объект, а дозу, полученную в единицу времени.

Так, поглощенная доза в 700 рад (7 Гр), полученная человеком в течение 1-2 часов неминуемо приведет его к смерти в течение 15-20 дней. Эта же доза, полученная человеком в течение года, приведет совершенно к другим последствиям, т.е. человек останется жить, но облучение вызовет ряд нежелательных эффектов, связанных с заболеванием некоторых жизненноважных систем организма. Эта же доза 7 Гр, полученная человеком в течение 30 лет может не вызвать явных нарушений, но обострит предрасположенность как к инфекционным, так и неинфекционным заболеваниям.

В связи с этим введено понятие **мощности** дозы излучения или **уровня** радиации.

Существуют следующие определения мощности дозы излучения.

Мощностью дозы излучения (P) называется доза (D), создаваемая или полученная в единицу времени (t) - $P = D/t$.

Мощность дозы излучения - приращение дозы ионизирующего излучения, отнесенное к единице времени, за которую это увеличение

произошло. Мощность дозы ионизирующего излучения (Р) вычисляют по формуле

$$P = dD/dt, \text{ где:}$$

dD - приращение дозы ионизирующего излучения, dt - промежуток времени, в течение которого оно происходит. Следовательно, чем больше мощность дозы излучения, тем короче время облучения.

$$\text{Отсюда } t = D/P$$

Например:

1) Мощность дозы гамма-установки с источником излучения ^{60}Co составляет 0,07 Гр/мин. Доза 7 Гр будет получена облучаемым объектом в течение 100 минут (1 ч. 40 мин).

2) Мощность дозы гамма-установки с источником излучения ^{137}Cs составляет 0,7 Гр/мин. Доза 7 Гр будет получена облучаемым объектом в течение 10 минут.

Внесистемная единица мощности экспозиционной дозы - рентген в секунду (Р/с). На практике используется рентген в час (Р/ч).

В СИ единица мощности экспозиционной дозы – ампер/кг (А/кг) или кулон/кг в секунду – Кл/(кг · с).

Внесистемная единица мощности поглощенной дозы рад в секунду (рад/с). На практике используется рад в час (рад/ч).

В СИ единица мощности поглощенной дозы – грей в секунду (Гр/с), на практике используется грей в час (Гр/ч).

Внесистемная единица мощности эквивалентной дозы бэр в секунду (бэр/с). На практике пользуются бэр в час (бэр/ч).

В СИ единица мощности эквивалентной дозы зиверт в час (Зв/ч).

Мощности перечисленных доз на практике могут измеряться в дольных величинах. как показателей дозы, так и показателей времени (мР/ч; мкР/ч; мР/мин; мкР/мин и т.д.).

Мощность экспозиционной дозы в воздухе принято называть **уровнем радиации** на местности или **гамма-фоном**.

Для измерения мощности дозы излучения существуют специальные приборы, которые называются рентгенометрами (ДП-5, СРП-68-01 и т.п.). Не надо путать дозу излучения с мощностью дозы излучения !

2. Относительная биологическая эффективность ионизирующих излучений

Одинаковые дозы различных видов излучения оказывают на организм разное биологическое действие. Это связано с удельной ионизацией излучения.

Удельной ионизацией называется количество пар ионов, создаваемых частицей или гамма-квантом в веществе на единицу пути пробега (линейная) или в единице объема вещества (объемная). Удельная ионизация, производимая α -частицами в десятки тысяч раз больше, чем от рентгеновских лучей, γ -лучей и β -частиц.

Например, α -частица на 1 см пути пробега в воздухе образует от 100 до 250 тысяч пар ионов, а β -частица только 50-100 пар ионов на 1 см пути. Чем выше удельная ионизация, тем больше эффект облучения. Поэтому одна и та же поглощенная доза различного вида излучения приводит к разной степени поражения организма. В связи с этим введено понятие относительной биологической эффективности (ОБЭ) излучения.

Для определения биологического эффекта облучения, по отношению к различным видам излучения, выведен экспериментальным путем взвешивающий коэффициент относительной биологической эффективности.

Взвешивающий коэффициент показывает во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем γ -излучения или рентгеновского излучения при одинаковой поглощенной дозе в организме.

Например, доза нейтронов, с энергией от 10 кэВ до 0,1 МэВ, в 10 рад (0,1Гр) вызовет в данной биологической системе (организме) такой же эффект, как доза γ -излучения в 100 рад (1Гр). Так при изучении лучевых катаракт на кроликах было показано, что поглощенная доза γ -лучей, при которой катаракты развиваются, равняется, примерно, 200 рад (2 Гр), а при воздействии нейтронов с указанной выше энергией - 20 рад (0,2 Гр).

Взвешивающие коэффициенты (ВК) для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (E_n - энергия нейтронов)

3. Эквивалентная доза ионизирующих излучений. Единицы измерения.

Из приведенного выше примера следует, что поглощенная доза нейтронов может быть эквивалентна поглощенной дозе γ -излучения только с учетом взвешивающего коэффициента относительной биологической эффективности. Так в радиационной дозиметрии появилось новое понятие “эквивалентная доза”.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения - величина оценки степени поражения организма, вызываемой различными видами ионизирующих излучений, которая учитывает их взвешивающий коэффициент ОБЭ. Специальной единицей эквивалентной дозы является **бэр** (биологический эквивалент рада).

1 бэр - это такая поглощенная доза любого вида ионизирующего излучения, которая по своему биологическому действию эквивалента 1 раду γ - или рентгеновского излучения. Эквивалентная доза облучения Дэкв (расчетная) определяется как произведение поглощенной дозы, выраженной в радах, данного вида излучения на соответствующий взвешивающий коэффициент (ВК).

$$Д_{\text{экв}} (\text{бэр}) = D_{\text{рад}} \times \text{ВК}$$

4. Практические задачи по определению доз облучения и суммарных величин эквивалентной дозы

Преподаватель дает студентам для выполнения не менее десяти задач по указанной теме.

2.8 Лабораторная работа № 8 (2 часа).

Тема: «Расчет доз от внешних источников излучения »

2.8.1 Цель работы: Научить студентов рассчитывать дозы облучения от внешних источников излучения

2.8.2 Задачи работы:

1. Практическая работа по расчету доз от радионуклидов с учетом их гамма-постоянной

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методические указания
2. Микрокалькуляторы
3. Таблица дольных и кратных значений
4. Таблица «Радиационные величины и единицы».
5. Справочные таблицы для вычисления доз облучения.
6. Нормы радиационной безопасности.

2.8.4 Описание (ход) работы:

1. Практическая работа по расчету доз от радионуклидов с учетом их гамма-постоянной

1. Порядок вычисления доз облучения при внешнем гамма-облучении организма.

При освоении данного вопроса необходимо законспектировать материал методических указаний и знать ряд закономерностей, основными из которых являются следующие:

1. Доза облучения, при прочих равных условиях, прямопропорциональна мощности дозы излучения и времени его воздействия:

$$Д = Р \cdot t, \text{ где:}$$

Д – доза облучения;

Р – мощность дозы излучения;

t – время облучения.

Например: мощность дозы гамма-излучения на местности (уровень радиации) 25 мР/час, а время нахождения на этой территории крупного рогатого скота 12 часов. Доза облучения, полученная животными, будет равна: $25 \text{ мР/ч} \cdot 12 \text{ ч} = 300 \text{ мР}$ или 0,3 Р.

Если увеличится мощность дозы излучения или время облучения, то следовательно увеличивается и доза внешнего облучения.

2. Доза облучения от внешних источников (точечных) прямо пропорциональна мощности дозы излучения и обратно пропорциональна квадрату расстояния до него, т.е.

$$Д = \frac{Р \cdot t}{R^2}, \text{ где:}$$

Д – доза облучения в рентгенах (Р);

Р – мощность дозы излучения в Р/ч;

t – время облучения, часы;

R – расстояние до источника излучения в см.

Например: мощность дозы излучения от точечного источника ^{226}Ra активностью 1 мКи (1мг ^{226}Ra) на расстоянии 1 см, равна 8,4 Р/ч (это есть гамма-постоянная радия-226, K_γ). Следовательно, доза полученная на расстоянии 1 см от источника в течение 1 часа будет равна 0,084 Р.

Существует зависимость между активностью (A) радиоактивных веществ и мощностью дозы излучения, создаваемой их гамма-излучением. Поэтому в известной вам формуле

$$D = \frac{P \cdot t}{R^2}$$

мощность дозы излучения (P) можно заменить выражением ($K_\gamma \cdot A$) и формула примет следующий вид:

$$D = \frac{K_\gamma \cdot A \cdot t}{R^2}, \text{ где:}$$

D – доза облучения, Р;

K_γ – гамма-постоянная данного радиоизотопа ($\text{Р} \cdot \text{см}^2/\text{ч} \cdot \text{мКи}$)
(находится по специальным таблицам);

A – активность данного изотопа, мКи;

t – время облучения, часы;

R – расстояние до источника излучения, см.

Например: Определить дозу облучения, полученную на расстоянии 0,5 м от точечного источника кобальта-60, активностью 1 мКи в течение 2 часов. Гамма-постоянная (K_γ) кобальта-60 равна 12,9. Ответ: 0,010 Р

Если активность источника выражена в миллиграмм-эквивалентах радия, то указанная формула примет следующий вид:

$$D = \frac{8,4 \cdot M \cdot t}{R^2}, \text{ где:}$$

8,4 – гамма-постоянная радия, Р/ч;

M – активность источника, мг-экв. радия;

остальные обозначения такие же, что и в предыдущих формулах.

3. Доза облучения может быть уменьшена с помощью поглощения излучения материалами защитных экранов. При использовании защитных экранов в знаменатель выше приведенных формул должен быть введен коэффициент ослабления излучения данным экраном ($K_{\text{осл.}}$). Значение этого коэффициента зависит от вида излучения, его энергии, материала экрана и толщины. Коэффициент ослабления различных видов излучения и для различных материалов находят в специальных таблицах или рассчитывают. Для гамма-излучения его можно рассчитать по следующей формуле:

$$K = \frac{h}{2d_{\text{пол}}}, \text{ где:}$$

$K_{\text{осл.}}$ – коэффициент ослабления излучения;

h – толщина защитного слоя материала, см;

$d_{\text{пол}}$ – слой половинного ослабления материала, см. Это такая толщина слоя материала, которая ослабляет интенсивность излучения в 2 раза ($d_{\text{пол}}$ – находят в специальных таблицах).

Пользуясь этими тремя основными закономерностями можно проводить защиту от облучения следующими методами:

1. Защита расстоянием – основана на использовании так называемого закона «обратных квадратов»: доза обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника излучения до облучаемого объекта.

2. Защита временем. Время как фактор защиты используют в трех вариантах.

Перый – путем сокращения времени непосредственной работы с источником излучения. Зная с каким радиоактивным препаратом предстоит работать, можно заранее определить безопасное время работы с ним.

Второй – сокращение рабочего дня и рабочей недели; увеличение срока отпуска; временный перевод сотрудника на работу, не связанную с ионизирующим излучением.

Третий – время используется для уменьшения активности радионуклида за счет физического распада до безопасной концентрации. Этот вариант применим для короткоживущих радионуклидов.

Преподаватель дает студентам не менее десяти задач по вычислению доз от внешних источников излучения.

2.9 Лабораторная работа №9 (2 часа).

Тема: «Расчет доз от внутренних источников излучения»

2.9.1 Цель работы: Научить студентов рассчитывать дозы облучения от внутренних источников излучения

2.9.2 Задачи работы:

1. Практическая работа по расчету доз от альфа-, бета-, и гамма-излучающих радионуклидов, попавших внутрь организма

2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Справочные таблицы для вычисления доз облучения.
2. Таблицы предельно-допустимых доз облучения.
3. Нормы радиационной безопасности.

2.9.4 Описание (ход) работы:

1. Практическая работа по расчету доз от альфа-, бета-, и гамма-излучающих радионуклидов, попавших внутрь организма

Для вычисления поглощенных доз облучения при поступлении радиоизотопов внутрь организма, в зависимости от вида излучения, рекомендуется использовать ряд формул.

Выписать их на доске.

Дать радиоизотопы для вычисления внутреннего облучения.

Для удобства вычисления доз облучения начертите в тетрадях следующую таблицу. Преподаватель вам даст наименование изотопов, которые вы внесете в таблицу и сделаете расчеты.

Наименование радиоизотопа	Кол-во	Вид	К _у и	Критически й орган	Тэфф	Доза об-
---------------------------	--------	-----	------------------	--------------------	------	----------

	изотопа	излучения	энергия излучения, МэВ		(сутки)	лучения рад, бэр
Первый						
Второй						
Третий						

2.10 Лабораторная работа № 10 (2 часа).

Тема: «Основы дозиметрии»

2.10.1 Цель работы: Ознакомить студентов с задачами и методами дозиметрии

2.10.2 Задачи работы:

1. Методы дозиметрии окружающей среды
2. Дозиметрические приборы.
3. Принцип работы дозиметрических приборов

2.10.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Видео показ современных дозиметрических приборов
2. Рентгенометрический прибор СРП-68-01

2.10.4 Описание (ход) работы:

1. Методы дозиметрического контроля окружающей среды, дозиметрические приборы, принцип работы дозиметрических приборов

Ионизирующие излучения невидимы и поэтому могут быть обнаружены и измерены по тем физическим и химическим процессам, которые происходят при взаимодействии излучения с веществом. К этим процессам относятся фотохимические реакции, люминесценция, ионизация.

Различают следующие основные методы дозиметрического контроля: **фотографический, люминесцентный, ионизационный, калориметрический, колориметрический, химический, и др.**

Индивидуальный фотоконтроль (фотографический метод). Для измерения количества излучения используется дозиметрическая фотопленка, помещенная в светонепроницаемую кассету. При воздействии излучения на фотопленку в фотоэмульсии происходят фотохимические процессы, аналогичные действию дневного света, пленка засвечивается.

После проявления и закрепления фотопленки наблюдается ее почернение (чем больше доза излучения, тем больше степень почернения фотопленки). После проявления степень почернения пленки измеряют фотометрами и денситометрами и сравнивают с имеющимися стандартами.

Индивидуальный люминесцентный контроль (люминесцентный метод). Работа этих дозиметров основана на использовании специальных люминесцентных веществ (фтористый литий, йодистый калий или натрий). Эти люминесцентные вещества в виде таблеток помещают в светонепроницаемую, кассету. Люминисцирующие вещества при действии ионизирующих излучений способны накапливать энергию возбуждения, а затем выделять ее в виде света. По яркости вспышки света судят о величине дозы облучения. Величина вспышки света измеряется с помощью фотометров.

Индивидуальный контроль с помощью дозиметров конденсаторного типа (ионизационный метод). Доза излучения измеряется с помощью небольших металлических и пластмассовых ионизационных камер. Ионизационная камера представляет собой заполненную воздухом полость, внутри которой находятся 2 электрода. На эти электроды подается электрический заряд (перед работой камера заряжается). Дозиметры, в которых используются ионизационные камеры, представляют собой небольшие приборы карманного типа, напоминающие по форме авторучку.

Для зарядки этих дозиметров, т.е. для подачи на электроды напряжения, используют зарядные устройства. После зарядки такой прибор используют в зоне повышенного уровня радиации. Полученная доза облучения определяется с помощью измерительного устройства или по шкале, расположенной в самом дозиметре. *Принцип работы ионизационной камеры* основан на ионизации и сводится к следующему: на центральный электрод (анод) и корпус камеры (катод) с помощью зарядного устройства подается заряд порядка 100 вольт, таким образом ионизационная камера представляет собой цилиндрический конденсатор, где центральный электрод заряжен положительно (+), а корпус (-) и разность потенциалов между ними - 100 вольт.

Под действием ионизирующего излучения, попавшего в объем ионизационной камеры, происходит образование положительно и отрицательно заряженных ионов из нейтральных молекул воздуха, находящегося в объеме камеры. Эти ионы по законам физики будут направляться к (+) и (-) электродам камеры, в результате будет происходить снижение первоначально поданного напряжения, т.е. конденсатор постепенно будет разряжаться. Чем больше излучения попадет в ионизационную камеру, тем больше разрядится конденсатор. Таким образом, о полученной дозе облучения судят по степени снижения первоначально поданного напряжения на ионизационную камеру, чем больше снизилось напряжение на электродах ионизационной камеры, тем больше полученная доза излучения. Измерение напряжения с помощью измерительного устройства дает величину полученной дозы облучения.

Калориметрический метод основан на том, что энергия излучения, поглощенная веществом, превращается в тепло. Количество тепла измеряют

с помощью специальных приборов калориметров. Метод используется для высоких доз излучения.

Колориметрический метод основан на изменении цвета некоторых прозрачных пластмасс (полистерол) и некоторых сортов стекол (фосфатные, активированные серебром). Эти стекла изменяют цвет под воздействием излучения. Интенсивность цвета (окраски) имеет прямую зависимость от дозы излучения.

Химический метод. Излучения, воздействуя на вещества, вызывают образование химически активных атомов и радикалов. Определение величины излучения производится по количеству продуктов химических реакций. На этом принципе основана работа ферросульфатного дозиметра. В нем используются соли двухвалентного железа Fe^{++} . В процессе облучения в растворе накапливаются ионы трехвалентного железа Fe^{+++} . В результате изменяется окраска раствора, по интенсивности окраски определяют дозу излучения. Химическими дозиметрами измеряют большие дозы излучения, порядка миллионов рентген. Используются дозиметры для мощных источников излучения (в ядерных реакторах).

Индивидуальные дозиметрические приборы делятся на две группы:

1-я - не прямо показывающие (КИД-2 и др.). Это приборы, с помощью которых полученная доза излучения определяется после выхода из зоны облучения. Для этого используются специальное измерительное устройство, которое входит в комплект прибора.

2-я – прямо показывающие (ИД-1 и др.) Это приборы, с помощью которых полученная доза определяется непосредственно в зоне облучения по шкале, расположенной в самом дозиметре. Специального измерительного устройства для этих дозиметров не нужно.

Сцинтилляция - кратковременная световая вспышка, возникающая при прохождении заряженной частицы через некоторые люминесцирующие вещества, называемые сцинтилляторами. Сцинтилляторами могут служить многие кристаллы фосфора (сернистый цинк, йодистый натрий), органические кристаллы (антрацен, стильбен), растворы и пластмассы. Сцинтилляционные счетчики частиц широко применяются при работе с ионизирующими излучениями.

Принцип работы сцинтилляционного счетчика

Это прибор, предназначенный для детектирования ионизирующих частиц. Он состоит из сцинтиллятора, в котором частицы вызывают вспышку люминесценции, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ),

преобразующего световую вспышку в импульс электрического тока, электронной системы, регистрирующей эти электрические импульсы.

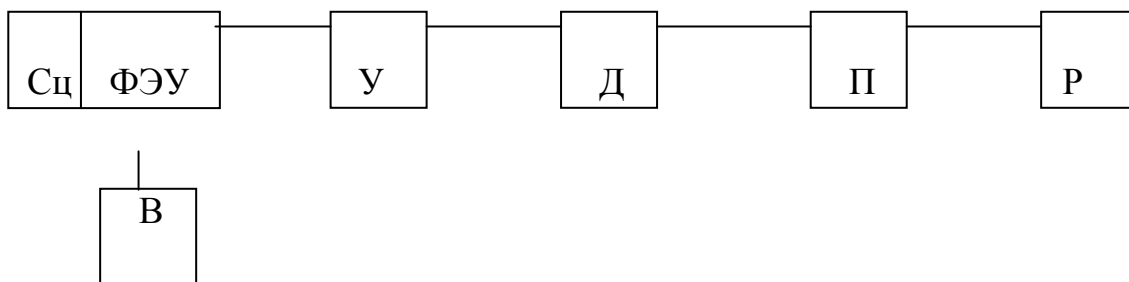


Схема устройства сцинтилляционного счетчика.

Сц - сцинтиллятор; ФЭУ - фотоэлектронный умножитель;

В - высоковольтный источник питания; У - электронный умножитель; П - пересчетный прибор; Д - дискриминатор, не пропускающий малые шумовые сигналы; Р - регистратор, счетчик импульсов.

Сцинтилляционные счетчики применяются также для детектирования γ -квантов и нейтронов. При этом регистрируются не сами кванты и нейтроны, а возникающие при их упругих и неупругих столкновениях с атомами сцинтиллятора ионизирующие частицы - электроны, ядра отдачи и осколки расщепляющихся ядер. При переходе атомов из ионизированного и возбужденного состояния в основное высвечивается энергия в виде вспышки света (сцинтилляции), которые могут быть зарегистрированы различными способами. Наиболее распространенный способ заключается в преобразовании энергии света в электрический сигнал с помощью оптически связанного со сцинтиллятором фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). ФЭУ состоит из фотокатода, анода и диодов. В сцинтилляционном счетчике ФЭУ работает в импульсном режиме. Под действием светового импульса, возникшего в сцинтилляторе, из фотокатода за счет фотоэффекта выбиваются электроны, которые собираются электрическим полем и направляются на первый диод, ускоряясь до энергии, достаточной для выбивания вторичных электронов из следующего диода. Умножение числа электронов происходит при попадании потока первичных на диод.

Выбитые при ударе электроны фокусируются на последующем диоде, из которого они вновь выбивают примерно удвоенное количество электронов и т.д.

Таким образом, лавина электронов возрастает от катода к аноду, происходит преобразование очень слабых световых вспышек, возникающих в сцинтилляторе, в регистрируемые электрические импульсы. Сцинтилляционные счетчики обладают более высокой эффективностью счета (до 100%) и разрешающей способности по сравнению с газоразрядными счетчиками. Разрешающая способность сцинтилляционных

счетчиков достигает 10^{-5} - 10^{-8} . Указанные характеристики зависят от примененного сцинтиллятора.

По составу сцинтилляторы делятся на неорганические и органические, а по агрегатному состоянию - на твердые, пластические, жидкие и газовые. Из неорганических сцинтилляторов для регистрации β - и γ -излучения используют йодистый натрий или йодистый цезий, активированный талий, вольфрам кальция. Для регистрации нейтронов применяют сцинтилляторы из йодистого лития, а для α -частиц и осколков деления - сцинтилляторы на основе сернистого цинка, активированного серебром. Из органических сцинтилляторов используют монокристаллы антрацена, стильбена, паратерфинила, пластмассы, жидкие фосфоры и инертные газы. Весь сцинтилляционный счетчик заключен в светонепроницаемый кожух, чтобы исключить попадание постороннего света на фотокатод и диоды ФЭУ. Умножитель защищен от внешних электрических и магнитных полей, которые нарушают фокусировку электронов.

Назначение, устройство прибора СРП-68-01

СРП-68-01 - сцинтилляционный рентгенометрический прибор, предназначенный для поиска радиоактивных руд по их γ -излучению. Но в 1986 году прибор был успешно применен при ликвидации последствий аварийного выброса Чернобыльской АЭС в сельскохозяйственном производстве. Он использовался и используется до сих пор для определения степени загрязнения радиоактивными веществами животных, продуктов животного и растительного происхождения, любых видов кормов, воды и других объектов ветеринарно-санитарного контроля.

Прибор СРП-68-01 позволяет производить измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения в пределах от 0 до 3000 мкР/ч и потока γ -излучения в пределах от 0 до 10000 имп/с.

Принцип работы прибора основан на преобразовании энергии γ -излучения в электрическую энергию с последующим ее измерением. Функцию преобразователя выполняет сцинтилляционный счетчик (детектор). Он включает в себя сцинтиллятор (кристалл йодистого натрия) и ФЭУ, который преобразует световую энергию в электрическую, она выводится на измерительный стрелочный прибор.

Прибор состоит из измерительного пульта и блока детектирования - зонда, соединенных между собой гибким кабелем. В нижней части измерительного пульта, расположен отсек питания. Прибор питается от девяти элементов типа 343.

На лицевой панели измерительного пульта расположены:

измерительный стрелочный прибор, который имеет две шкалы - верхнюю с градуировкой от 0 до 100 и нижнюю с градуировкой от 0 до 30; переключатель пределов измерений, который в верхнем положении позволяет измерять плотность потока γ -излучения от 0 до 10000 имп/с на

следующих поддиапазонах от 0 до 100, от 0 до 300, от 0 до 1000, от 0 до 3000, от 0 до 10000 имп/с.

В нижнем положении прибор измеряет мощность экспозиционной дозы γ -излучения от 0 до 3000 мкР/ч, на следующих поддиапазонах

от 0 до 30,

от 0 до 100,

от 0 до 300,

от 0 до 1000 и

от 0 до 3000 мкР/ч;

переключатель режима работы, имеющий положение

“Выкл”,

“Бат”,

“2,5”,

“5”,

“Контр”;

ручка установки порога обрабатывания сигнализации “Уров”.

Слева внизу измерительного пульта располагается контрольный радиоактивный источник, который закрывается крышкой на резьбе.

Справа сверху измерительного пульта располагается разъем для подключения самописца типа Н - 381.

Блок детектирования (зонд) представляет собой герметичный цилиндр, в передней части которого располагается сцинтилляционный счетчик, состоящий из кристалла йодида натрия и фотоэлектронного умножителя.

Провести измерения мощности дозы гамма-излучения прибором СРП-68-01.

2.11 Лабораторная работа №11 (2 часа).

Тема: «Основы радиометрии »

2.11.1 Цель работы: Ознакомить студентов с методами радиометрии и правилами отбора проб .

2.11.2 Задачи работы:

1. Методы радиометрического контроля

2. Правила отбора проб для радиометрии

2.11.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Радиометры ДП-100

2.11.4 Описание (ход) работы:

1. Методы радиометрического контроля

Измерить радиоактивность исследуемых проб можно абсолютным, расчетным и относительным (сравнительным) методами.

Абсолютный метод основан на применении прямого счета всех частиц или гамма-квантов, испускаемых радиоактивным веществом в результате распада ядер атомов. Для этого используются, так называемые, 4 π (четыrehпийные) счетчики, у которых телесный угол, под которым попадает излучение в счетчик, равен 360°, а исследуемая проба помещается внутрь счетчика.

Одним из таких счетчиков является газопоточный счетчик. Во время работы через него пропускают инертный газ (гелий, неон) или пропан-бутан (обычный баллонный). Помещая исследуемую пробу внутрь этого счетчика улавливают и считают все 100% излучений.

При определении скорости счета на радиометрах с использованием обычных торцовых или цилиндрических газоразрядных счетчиков, регистрируются не все частицы или гамма-кванты, которые испускаются во внешнюю среду при распаде ядер атомов. Число зарегистрированных импульсов составляет лишь некоторую, причем меньшую часть истинного числа распадов ядер атомов. При прочих равных условиях скорость счета радиометрических приборов прямо пропорциональна радиоактивности исследуемой пробы. Но в связи с тем, что не все излучения попадают в газоразрядный счетчик, то при определении радиоактивности необходимо учитывать ряд факторов и вносить поправки, влияющие на эффективность счета.

Расчетный метод определения радиоактивности

Суть расчетного метода заключается в определении скорости счета от исследуемой пробы и вычислении активности по формуле, включающей ряд поправок.

Формула для определения радиоактивности расчетным методом:

$$A_{пр.} = \frac{N_{общ} - N_{фона}}{2,22 \cdot 10^{12} \cdot K \cdot S \cdot \varphi \cdot \alpha} = K_i$$

, где:

K - поправка на ослабление излучения. Эта поправка учитывает ослабление излучения в воздухе, отделяющем пробу от счетчика и ослабление излучения в стенках счетчика.

S - поправка на самоослабление. Она учитывает ослабление излучения в самой пробе. Поправка на самоослабление вводится при измерении мягкого бета-излучения. В случае среднего и жесткого бета-излучения эта поправка вводится только при значительной толщине пробы.

φ - поправка на рассеянное излучений. Эта поправка учитывает рассеяние излучений в материале подложки, на которую наносится исследуемая проба и в стенках свинцового экрана. Причем, чем выше атомный номер материала, тем больше будет рассеянных излучений. Поэтому внутренняя часть свинцового экрана делается из алюминия или органического стекла. Подложки, на которые наносят исследуемые пробы изготавливают из тонкой алюминиевой фольги, пластмассы или органической пленки.

α - поправка на телесный угол. Она характеризует ту часть радиоактивного излучения, которая направлена в сторону чувствительного объема счетчика. Излучение от радиоактивного источника распространяется в телесном угле, равном 4π , т.е. 360° . На счетчик (от пробы, находящейся вне его) излучение может попасть из телесного угла, равного не более 2π , т.е. равного 180° , а практически из еще меньшего угла. В счетчик попадает, в лучшем случае, 20% частиц, испускаемых пробой. Могут быть введены и

другие поправки. Например: поправка на разрешающую способность, на схему распада радиоизотопа, на геометрию счета и т.д. и т.д.

Указанные поправки находят в специальных таблицах или вычисляют по специальным формулам.

Определение радиоактивности относительным (сравнительным) методом основано на сравнении скорости счета от препарата с известной активностью (эталона) со скоростью счета исследуемой пробы, активность которой определяется.

Для более точного определения радиоактивности необходимо соблюдать следующие условия:

1. Эталон и исследуемая проба должны содержать одинаковые радиоактивные изотопы.
2. Эталон и исследуемая проба должны иметь одинаковые геометрические параметры, т.е. площадь, форму, толщину.
3. Подложки эталона и пробы должны быть изготовлены из одного и того же материала и иметь одинаковую толщину.
4. При измерении активности эталон и проба устанавливаются в одном и том же положении.

Порядок определения радиоактивности относительным методом

1. Определяется скорость счета внешнего радиоактивного фона.
2. Определяется скорость счета от пробы.
3. Определяется скорость счета от эталона.

Определение скорости счета проводится в течение 3 минут.

Результаты выражаются в имп/мин.

Радиоактивность вычисляется по следующей формуле:

$$A_{пр} = A_{эт} \cdot \frac{(N_{пр} - N_{ф})}{(N_{эт} - N_{пр})} = K_{и}, \text{ где:}$$

$A_{пр}$ - радиоактивность исследуемой пробы в кюри

$A_{эт}$ - радиоактивность эталона в кюри

$N_{пр}$ - скорость счета исследуемой пробы в имп/мин

$N_{эт}$ - скорость счета эталона в имп/мин;

$N_{ф}$ - скорость счета фона в имп/мин.

Благодаря простоте выполнения и большой точности этот метод нашел широкое применение в практической работе и в научных исследованиях с использованием радиоактивных изотопов.

2. Правила отбора проб для радиометрии

-В обычных условиях и при аварийных ситуациях для отбора проб определяют контрольные пункты (хозяйства, поля и т.д.)

-При аварийных ситуациях в летний период пробы молока из каждого контрольного пункта берут 2-3 раза в месяц. Одновременно отбирают пробы используемых кормов.

-Траву отбирают непосредственно как на ферме (при стойловом содержании животных), так и пастбищах при выпасе.

-Пробы мяса, костей, органов животных отбирают либо в хозяйствах, либо на мясокомбинатах от партий животных, поступивших из контролируемых пунктов.

-При исследовании яиц контролю подвергаются также и компоненты рациона птиц.

-На исследования во всех случаях рекомендуется отбирать среднюю пробу.

-Перед отбором кормов, мяса, молока, яиц измеряют гамма-фон прибором СРП-68-01 соответственно почвы, скирды, бурта, туш животных, цистерн молока (через открытую часть емкости), партии яиц. Данные гамма-фона записывают в сопроводительном документе.

-Отбор трав для контроля ведут как в низинных, так и на горных пастбищах и сенокосах, удаленных от дорог не менее чем на 200 м.

- Траву срезают на трех участках, расположенных по треугольнику и отстоящих друг от друга примерно на 100 метров.- Средние пробы сена, соломы, мякины, силоса, корнеклубнеплодов и концентратов берут при их закладке на зиму и помещают в мешок, целлофан, восковую бумагу или бумажные пакеты.

-Воду берут из рек, прудов и озер у берегов в местах водопоя животных.

-Мясо берут из нежирной части туши, а для исследования костей – последние ребра. Мясо и кости туш животных разного вида и возраста исследуют отдельно.

-Рыбу берут целыми экземплярами (при массе до 0,5 кг) или отдельными частями (голова с частью тушки).

-При отправке в лабораторию скоропортящихся проб (мясо, рыба) их заворачивают в чистую марлю (мешковину), обильно смоченную 5-10%-ным раствором формалина, или инъецируют его в толщу продукта.

-Молоко перед взятием пробы тщательно перемешивают. Из большой тары пробы берут с поверхности и из глубины. Можно надоить молоко от разных коров выборочно в чистые стеклянные емкости (бутылки).

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

-Прием и предварительную обработку доставленных в радиологическую лабораторию проб проводят в специальном помещении.

-Присланный материал перед взятием средней пробы тщательно перемешивают. В целях концентрации пробы проводят минерализацию, т.е. озоление.

-Вначале на радиометрах определяют суммарную бета-активность, которая отражает удельную радиоактивность (Ки/кг, Ки/л или Бк/кг, Бк/л)

объекта ветеринарного надзора. Для определения суммарной бета-активности используют один из методов радиометрии, чаще сравнительный (относительный).

В дальнейшем для выяснения изотопного состава радионуклидов в кормах и других объектах осуществляют радиохимический анализ. Радиохимический анализ позволяет определить радиоизотопный состав, т.е. определить, какими радионуклидами загрязнен объект.

2.12 Лабораторная работа № 12 (2 часа).

Тема: «Принцип устройства и работы радиометров »

2.12.1 Цель работы: Ознакомить студентов с принципом устройства радиометров и научить порядку работы на радиометре ДП-100

2.12.2 Задачи работы:

1. Схема устройства радиометров
2. Принцип работы газоразрядных счетчиков
3. Радиометр ДП-100. Порядок работы.

2.12.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Радиометры ДП-100 – 4 шт.
2. Пробы для определения удельной радиоактивности
3. Таблицы ПДУ загрязнения объектов ветеринарного надзора радиоактивными веществами
3. Весы чашечные – 1 шт.
4. Разновесы (набор) – 1 шт

2.12.4 Описание (ход) работы:

1. Схема устройства радиометров

Радиометры имеют следующую рабочую блок-схему устройства: детектор, усилитель импульсов, пересчетное устройство, регистрирующее устройство, блок питания.

2. Принцип работы газоразрядных счетчиков

При помощи счетчиков возможно зарегистрировать каждую отдельную частицу или γ -квант.

Для того чтобы счетчик работал, на него необходимо постоянно подавать высокое напряжение от 390 до 2000 вольт.

При попадании в объем счетчика частица вызывает ионизацию газа, находящегося внутри счетчика. Под влиянием высокой разности потенциалов между электродами (анодом и катодом) и пониженного давления в счетчике, отрицательные ионы (электроны) с большой скоростью устремляются к потенциально заряженному аноду и на своем пути производят дополнительную ионизацию встречных молекул газа. Таким образом, происходит лавинообразное нарастание числа электронов,двигающихся к аноду. Когда эта лавина электронов, а их образуется от одной попавшей в счетчик частицы около 10^9 , достигает положительно заряженного электрода (за очень короткое время 10^{-7} с) в результате возникает электрический разряд, т.е. происходит спад напряжения в виде импульса при помощи пересчетного (счетного) устройства.

Ввиду того, что счетчик постоянно находится под напряжением (на него подается от 390 до 2000 вольт) вновь восстанавливается первоначальная разность потенциалов и счетчик готов принять, а пересчетное устройство зарегистрировать следующую частицу.

Положительно заряженные ионы, которые образуются в результате ионизации газа, нейтрализуются в счетчике за счет паров метилового спирта.

Определение рабочего напряжения газоразрядных счетчиков

Для того чтобы газоразрядный счетчик регистрировал излучения на него необходимо подавать постоянно рабочее напряжение. Рабочим напряжением называется оптимальное напряжение, подаваемое на газоразрядный счетчик, при котором производятся все измерения на радиометре.

Рабочее напряжение определяется для каждого газоразрядного счетчика, а для этого снимают счетную характеристику. Счетная характеристика выражает зависимость числа регистрируемых счетчиком импульсов от подаваемого на него напряжения.

Для снятия счетной характеристики под газоразрядный счетчик помещают радиоактивный препарат. Затем постепенно увеличивают напряжение до появления первых импульсов на неоновых лампах. После появления первых импульсов, подаваемое на счетчик напряжение, увеличивают скачкообразно через каждые 50 вольт и определяют скорость счета в имп/мин при каждом установленном напряжении. Чем больше подаваемое напряжение на газоразрядный счетчик, тем больше скорость счета.

Увеличение напряжения и подсчет импульсов прекращают при резком возрастании или резком снижении скорости счета. Затем по результатам измерений строят график зависимости скорости счета от подаваемого напряжения. На горизонтальной оси координат откладывают подаваемое напряжение в вольтах, а на вертикальной оси - скорость счета в имп/мин.

На счетной характеристике находят плато счетчика.

Плато счетчика - это участок счетной характеристики, на котором скорость счета практически не зависит от подаваемого напряжения.

Берется одна треть протяженности плато, поэтому разность (в числителе) делится на 3.

Протяженность плато - это есть разность между напряжением конца плато и напряжением начала плато, выраженная в вольтах. Для торцовых счетчиков протяженность плато должна быть 150-300 вольт, а для цилиндрических 50-100 вольт.

Если такое требование не выполняется, то на таких счетчиках работать нельзя, их бракуют.

3. . Радиометр ДП-100. Порядок работы.

Включение ДП-100

1. Проверить правильность подключения блоков, газоразрядного счетчика и заземления.

2. Переключатель питания установить в положение «Выкл».

3. Переключатель «Стаб.пределы» должен стоять в положении «390».
4. Переключатель рода работ поставить в положение «Работа». При этом стрелка прибора контроля питания должна находиться в пределах 4,75-7В.

5. Регулятор высокого напряжения «Плато» вывести влево до отказа.

6. Подключить радиометр к сети и установить переключатель питания в положение «Сеть». При этом загорится индикаторная лампочка.

7. Прогреть радиометр в течение 10 минут.

Проверка работы пересчетной схемы (ПС)

При проверке работы ПС регулируемое высокое напряжение на прибор не подается.

1. Переключатель рода работ перевести в положение «Проверка ламп». При этом все лампочки пересчетной схемы должны гореть.

2. Переключатель рода работ перевести в положение «Контроль».

3. Нажатием на кнопку электромеханического счетчика установить на нуль его стрелки.

4. Нажатием пусковой кнопки на часах включить пересчетную схему и секундомер. Продолжать счет в пределах одного круга большой стрелки электронно-механического счетчика.

5. Остановить работу прибора нажатием пусковой кнопки на часах.

6. Сравнить показания электромеханического счетчика с показаниями горящих лампочек пересчетной схемы. При правильной работе радиометра показания электронно-механического счетчика и пересчетной схемы должны совпадать. Допускается отклонение ± 1 импульс.

Измерение скорости счета импульсов естественного фона

1. Переключатель рода работ перевести в положение «Работа».

2. В свинцовый домик поместить чистую фоновую подложку.

3. Нажатием кнопки «Пуск» на часах запустить радиометр для измерения скорости счета естественного фона.

4. Измерение фона провести трижды по 10 мин. и определить среднее арифметическое значение скорости счета импульсов из трех измерений:

$$\frac{n_1 + n_2 + n_3}{30}$$

5. Переключатель питания перевести в положение «Выкл» и отключить радиометр от сети.

2.13 Лабораторная работа № 13 (2 часа).

Тема: «Определение суммарной бета-активности в сене люцерны »

2.13.1 Цель работы: Научить определять радиоактивность в исследуемых образцах

2.13.2 Задачи работы:

1. Подготовка проб к радиометрии

2. Определение счета от фона, пробы и эталона

3. Расчет радиоактивности по формуле сравнительного метода радиометрии

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Радиометры ДП-100 – 4 шт.

2. Пробы для определения удельной радиоактивности

3. Таблицы ПДУ загрязнения объектов ветеринарного надзора радиоактивными веществами

3. Весы чашечные – 1 шт.

4. Разновесы (набор) – 1 шт

5. Эталон KCl

2.13.4 Описание (ход) работы:

1. Подготовка проб к радиометрии

1. Подготовка проб к радиометрии.

Подготовка проб к радиометрии заключается в их обработке и измельчении. Пробы пищевых продуктов обрабатываются также как и на первом этапе приготовления пищи. Корнеклубнеплоды, овощи, фрукты, ягоды, а также мясо и рыбу моют в проточной воде, у рыбы удаляют чешую и внутренности, с колбасных изделий удаляют оболочку. Подготовленные продукты и корма измельчают с помощью мясорубок, мельниц, ножей, ножниц. Жидкие продукты перемешивают. После измельчения и перемешивания отбирается проба для радиометрии – методом квартования (объяснить). Затем пробы с определенной навеской или без взвешивания, помещают на подложки и проводят радиометрию.

(Если радиоактивность исследуемых объектов низкая, то производят ее концентрацию путем озоления. Жидкие продукты сначала выпаривают, а затем озоляют).

2. Определение счета от фона, пробы и эталона

1. Включить радиометр и прогреть 10 мин.

2. Проверить работу пересчетной схемы.

3. Измерить фон от пустой алюминиевой подложки

4. Сделать навеску пробы 200 мг, высыпать ее на подложку и равномерно распределить

5. Измерить число имп/мин от пробы. Время измерения – 10 минут

6. Сделать навеску эталона 200 мг, высыпать ее на подложку и равномерно распределить по всей длине.

7. Измерить число имп/мин от эталона KCl с известной активностью

3. Расчет радиоактивности по формуле сравнительного метода радиометрии

Рассчитать радиоактивность пробы по формуле.

$$A_{пр} = A_{эт} \cdot \frac{(N_{пр} - N_{ф})}{(N_{эт} - N_{пр})} = K_{и}$$

где:

$A_{пр}$ - радиоактивность исследуемой пробы в кюри

$A_{эт}$ - радиоактивность эталона в кюри

$N_{пр}$ - скорость счета исследуемой пробы в имп/мин

$N_{эт}$ - скорость счета эталона в имп/мин;

$N_{ф}$ - скорость счета фона в имп/мин.

Результат сравнить с ПДУ. Сделать заключение.

2.14 Лабораторная работа № 14 (2 часа).

Тема: «Определение суммарной бета-активности молока»

2.13.1 Цель работы: Научить студентов определять радиоактивность в исследуемых образцах

2.13.2 Задачи работы:

1. Подготовка проб к радиометрии
2. Определение счета от фона, пробы и эталона
3. Расчет радиоактивности по формуле сравнительного метода радиометрии

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Радиометры ДП-100 – 4 шт.
2. Пробы для определения удельной радиоактивности
3. Таблицы ПДУ загрязнения объектов ветеринарного надзора радиоактивными веществами
3. Весы чашечные – 1 шт.
4. Разновесы (набор) – 1 шт
5. Эталон KCl

2.13.4 Описание (ход) работы:

1. Подготовка проб к радиометрии

Подготовка проб к радиометрии заключается в их обработке и измельчении. Пробы пищевых продуктов обрабатываются также как и на первом этапе приготовления пищи. Корнеклубнеплоды, овощи, фрукты, ягоды, а также мясо и рыбу моют в проточной воде, у рыбы удаляют чешую и внутренности, с колбасных изделий удаляют оболочку. Подготовленные продукты и корма измельчают с помощью мясорубок, мельниц, ножей, ножниц. Жидкие продукты перемешивают. После измельчения и перемешивания отбирается проба для радиометрии – методом квартования (объяснить). Затем пробы с определенной навеской или без взвешивания, помещают на подложки и проводят радиометрию.

(Если радиоактивность исследуемых объектов низкая, то производят ее концентрацию путем озоления. Жидкие продукты сначала выпаривают, а затем озоляют).

2. Ход работы. Определение счета от фона, пробы и эталона

1. Включить радиометр и прогреть 10 мин.
2. Проверить работу пересчетной схемы.
3. Измерить фон от пустой алюминиевой подложки
4. Сделать навеску пробы 200 мг, высыпать ее на подложку и равномерно распределить
5. Измерить число имп/мин от пробы. Время измерения – 10 минут
6. Сделать навеску эталона 200 мг, высыпать ее на подложку и равномерно распределить по всей длине.
7. Измерить число имп/мин от эталона KCl с известной радиоактивностью

3. Расчет радиоактивности по формуле сравнительного метода радиометрии

Рассчитать радиоактивность пробы по формуле.

$$A_{пр} = A_{эт} \cdot \frac{(N_{пр} - N_{ф})}{(N_{эт} - N_{пр})} = K_{и}$$

где:

$A_{пр}$ - радиоактивность исследуемой пробы в Кюри ($K_{и}$)

$A_{эт}$ – известная радиоактивность эталона в Кюри ($K_{и}$)

Нпр - скорость счета исследуемой пробы в имп/мин
Нэт - скорость счета эталона в имп/мин;
Нф - скорость счета фона в имп/мин.
Результат сравнить с ПДУ. Сделать заключение.

2.16 Лабораторная работа № 16 (4 часа).

Тема: Спектрометрический анализ объектов окружающей среды

2.15.1 Цель работы: Познакомить студентов со спектрометрическим комплексом Прогресс

2.15.2 Задачи работы:

1. Принцип работы и устройства спектрометрического комплекса «Прогресс»
2. Преимущества спектрометрического определения радионуклидов в исследуемых образцах

2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе

1. Спектрометрический комплекс «Прогресс»

2.15.4 Описание (ход) работы:

1. Принцип устройства и работы спектрометрического комплекса «Прогресс». Преимущества.

Спектрометрический комплекс «Прогресс» предназначен для измерения активности бета-, гамма-, и альфа – излучающих нуклидов в счетных образцах спектрометрическим методом. Комплекс используется в лабораторных условиях как установка специального назначения и является средством для измерения активности радионуклидов в пробах воды, грунта, в сырье растениеводческого и животноводческого происхождения, продуктах питания, и других объектах ветеринарного и экологического контроля.

Комплекс «Прогресс» представляет собой 3 или более спектрометрических тракта, управляемых одной ПЭВМ. Каждый тракт состоит из спектрометрического детектора, блоков питания, усилителя, подключенных к амплитудному анализатору на базе аналого-цифрового преобразователя и ПЭВМ.

Принцип работы спектрометрического комплекса «Прогресс», включающего бета-, гамма- и альфа радиометров заключается в получении аппаратного спектра импульсов от детектора, регистрирующего излучение счетного образца, экспонируемого в фиксированных условиях измерения. Активность радионуклида в исследуемой пробе определяется путем обработки полученной спектрограммы на ПЭВМ с помощью специального пакета программ «Прогресс».

Пакет программ состоит из набора независимых программ для каждого спектрометрического тракта, объединенных в единой программной оболочке, которая позволяет управлять работой каждого самостоятельного

тракта, анализировать спектрограмму и идентифицировать радионуклиды, определять активность соответствующих нуклидов в пробе, рассчитывать погрешность измерения активности и протоколировать результаты измерений.

В состав комплекса входит бета-, гамма- спектрометр и альфа – радиометр.

Бета – спектрометр представляет собой стационарную установку со сцинтилляционным блоком детектирования, компьютера с программным обеспечением «Прогресс – 2000» для управления всеми режимами работы на всех этапах выполнения измерений, обработки результатов и их протоколирования.

Бета – спектрометр содержит: сцинтилляционный блок детектирования на основе пластика, блок питания и усиления импульсов, плату аналого-цифрового преобразователя (АЦП), держатель счетного образца и блок свинцовой защиты от фоновое излучения, скомпонованные в едином корпусе. Блоки питания и усиления импульсов, а также АЦП конструктивно расположены в самом блоке детектирования. Для экспонирования счетных образцов применяются стандартные измерительные кюветы.

Для проведения калибровки бета – спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров в его состав включается контрольный источник $^{90}\text{Sr}(\text{Y})$ на специальном диске для его экспонирования.

Принцип работы бета – спектрометра полностью соответствует принципу работы альфа – радиометра. Пакет программного обеспечения «Прогресс» позволяет управлять работой бета – спектрометра, анализировать спектрограмму и идентифицировать радионуклиды, определять активность соответствующих нуклидов в пробе, рассчитывать погрешность измерения активности и протоколировать результаты измерений.

С помощью бета – спектрометра возможно измерение удельной активности бета – излучающих нуклидов в пробах пищевых продуктов, в биологических пробах, пробах воды, почвы и других объектах окружающей среды используемых в сельском хозяйстве (рис 1).

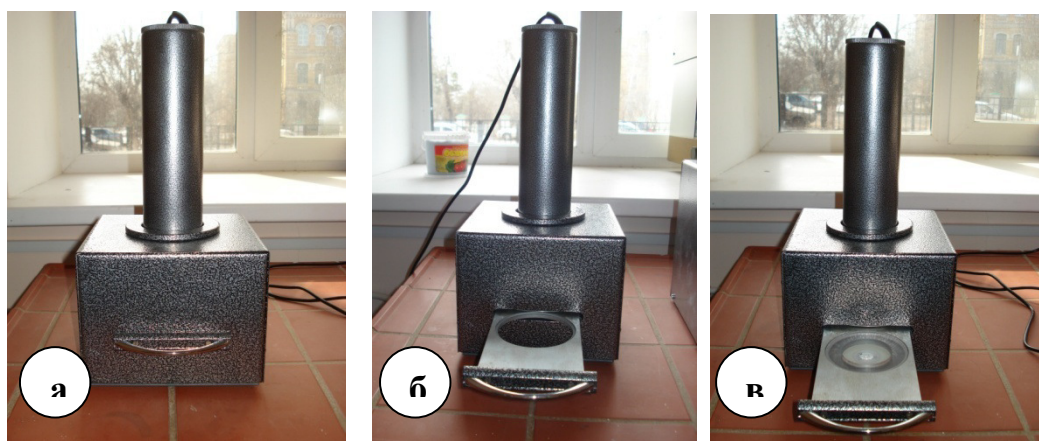


Рис.1. Бета – спектрометр (а), в открытом виде (б), с контрольным источником (в).

Может быть использован для радиационного контроля на атомных электростанциях, на предприятиях и объектах, производящих и использующих источники ионизирующего излучения.

Гамма – спектрометр представляет собой стационарную установку со сцинтилляционным блоком детектирования, компьютера с программным обеспечением «Прогресс – 2000» для управления всеми режимами работы на всех этапах выполнения измерений, обработки результатов и их протоколирования.

Гамма – спектрометр содержит сцинтилляционный блок детектирования на основе кристалла йодистого натрия NaI(Tl) различных размеров, блок питания и усиления импульсов, плату аналого-цифрового преобразователя (АЦП), свинцовую защиту блока детектирования от фонового излучения. Как правило, блоки питания и усиления импульсов, а также АЦП конструктивно расположены в самом блоке детектирования. Для экспонирования счетных образцов применяются различные измерительные кюветы.

Для проведения калибровки гамма – спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров в его состав включается комбинированный контрольный источник $^{137}\text{Cs} + ^{40}\text{K}$, выполненный в геометрии «сосуд Маринелли – 1 литр».

Принцип работы гамма – спектрометра полностью соответствует принципу работы альфа – радиометра и бета - спектрометра. Пакет программ «Прогресс – 2000» позволяет управлять работой гамма – спектрометра, анализировать спектрограмму и идентифицировать радионуклиды, определять активность соответствующих нуклидов в пробе, рассчитывать неопределенность измерений активности и протоколировать результаты измерений.

С помощью гамма – спектрометра возможно измерения удельной активности гамма – излучающих нуклидов в пробах пищевых продуктов, в биологических пробах, пробах воды, почвы и других объектах окружающей среды играющих важную роль в сельскохозяйственном производстве (2).



я



Рис. 2. Гамма - спектрометр (а), в открытом виде (б), с контрольным источником (в).

б



Альфа – радиометр входит в состав спектрометрического комплекса и может эксплуатироваться как вместе с другими

измерительными трактами комплекса так и самостоятельно (рис 3).

я



б



в



ис. 3. Альфа – радиометр (а), в открытом виде (б), с контрольным источником (в).

Радиометр представляет собой установку со сцинтилляционным блоком детектирования, расположенным в светозащищенном корпусе, компьютера с программным обеспечением «Прогресс 2000» для управления всеми режимами работы на всех этапах выполнения измерений, обработки результатов и их протоколирования.

Сцинтилляционный блок детектирования состоит из сцинтиллятора $ZnS(Ag)$ (сернистого цинка или сернистого серебра), фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), спектрометрического импульсного усилителя и аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Принцип действия альфа-радиометра заключается в получении аппаратного спектра импульса от детектора, регистрирующего излучение счетного образца, экспонируемого в фиксированных условиях измерения. Суммарная альфа – активность счетного образца определяется путем обработки полученного аппаратного спектра на персональном компьютере с помощью программного обеспечения «Прогресс». Пакет программного обеспечения «Прогресс» позволяет управлять работой радиометра, анализировать спектрограмму и определять суммарную альфа – активность, а также рассчитывать неопределенность каждого измерения и протоколировать результаты измерений.

С помощью альфа – радиометра возможно определение суммарной альфа – активности в пробах почвы, воды, может быть использован для:

- радиационного контроля различных объектов исследования путем измерения «толстых» счетных образцов, приготовленных посредством истирания, озоления, выпаривания или химического концентрирования;

- измерения суммарной альфа – активности «тонких» счетных образцов, приготовленных методами селективной радиохимической экстракции с последующим электролитическим высаживанием на специальные металлические подложки;

- измерения суммарной альфа – активности счетных образцов, приготовленных соосаждением с люминофором;

- измерения суммарной альфа – активности осадка, полученного путем прокачки воздуха через фильтры АФА – РСП и т.д.