

Шығыс Қазақстан облысы  
әкімдігінің білім  
басқармасы  
КМКҚ «Геология барлау  
колледжі»



КГКП «Геологоразведочный  
колледж» управления  
образования Восточно-  
Казахстанского областного  
акимата

## **Базовый опорный конспект по дисциплине**

### **«Радиоэкология»**

**для специальности 1514000 «Экология и рациональное  
использование природных ресурсов в недропользования»**

**Байгометова Д. С.**

**Базовый опорный конспект по дисциплине  
«Радиоэкология»  
для специальности  
1514000 «Экология и рациональное использование природных  
ресурсов в недропользования»**

Утвержден на заседании  
методического совета колледжа

Разработан 2012  
(дата)

Переработан 2017  
(дата)

**г. Семей, 2017 г.**

Байгометова Д. С., Базовый опорный конспект по предмету «Радиоэкология»  
- 46 стр.

Базовый опорный конспект разработан в соответствии с рабочей учебной программой и предназначен для студентов III курса колледжа специальности 1514000 «Экология и рациональное использование природных ресурсов в недропользования». Он содержит основные материалы теоретического и практического курса по дисциплине «Радиоэкология» и состоит из 3 разделов, а также содержит контрольные вопросы и задания по курсу. Сведения наиболее полно систематизированы и конкретизированы. Благодаря четким определениям основных понятий, их признаков и особенностей студент может сформулировать ответ, за короткий срок усвоить и переработать важную часть информации, успешно сдать экзамен. Базовый опорный конспект будет полезен не только студентам, но и преподавателям при подготовке и проведении занятий

## СОДЕРЖАНИЕ

№	Наименование разделов и тем	Стр
<b>Раздел 1. Физические основы биологического действия ионизирующих излучений.</b>		
1.	Тема 1.1. Строение атома. Понятие радиоактивности.	6-9
2.	Тема 1.2. Единицы радиоактивности.	9-12
3.	Тема 1.3. Типы ядерных превращений. Виды ионизирующих излучений и их характеристика.	12-15
<b>Раздел 2. Источники ионизирующих излучений и загрязнений окружающей среды радиоактивными веществами.</b>		
4.	Тема 2.1. Классификация источников ионизирующих излучений. Естественные источники.	15-19
5.	Тема 2.2. Добыча и переработка радиоактивного минерального сырья.	19-21
6.	Тема 2.3. Добыча и переработка углеводородного сырья.	21-23
7.	Тема 2.4. Ядерный топливный цикл.	23-25
8.	Тема 2.5. Радиоактивные отходы.	25-29
9.	Тема 2.6. Принципы работы радиометрической аппаратуры.	29-32
10.	Тема 2.7. Методы радиометрии. Лабораторные методы.	32-35
11.	Тема 2.8. Экологическое картографирование загрязненных территорий.	35-37
<b>Раздел 3. Организация и проведение радиационного контроля на действующих радиационных объектах.</b>		
12.	Тема 3.1. Радиоэкологический мониторинг.	37-40
13.	Тема 3.2. Принципы нормирования в области радиационной безопасности.	40-42
14.	Тема 3.3. Биологическое действие ионизирующих излучений.	42-44

## ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН.

№ п/п	Наименование разделов и тем	Кол-во часов
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	<b>Раздел 1. Физические основы биологического действия ионизирующих излучений.</b>	<b>6</b>
1.1	Строение атома. Понятие радиоактивности.	2
1.2	Единицы радиоактивности.	2
1.3	Типы ядерных превращений. Виды ионизирующих излучений и их характеристика.	2
	<b>Раздел 2. Источники ионизирующих излучений и загрязнений окружающей среды радиоактивными веществами.</b>	<b>16</b>
2.1	Классификация источников ионизирующих излучений. Естественные источники.	2
2.2	Добыча и переработка радиоактивного минерального сырья.	2
2.3	Добыча и переработка углеводородного сырья.	2
2.4	Ядерный топливный цикл.	2
2.5	Радиоактивные отходы.	2
2.6	Принципы работы радиометрической аппаратуры.	2
2.7	Методы радиометрии. Лабораторные методы.	2
2.8	Экологическое картографирование загрязненных территорий.	2
	<b>Раздел 3. Организация и проведение радиационного контроля на действующих радиационных объектах.</b>	<b>6</b>
3.1	Радиоэкологический мониторинг.	2
3.2	Принципы нормирования в области радиационной безопасности.	2
3.3	Биологическое действие ионизирующих излучений.	2

## РАЗДЕЛ 1.

### Физические основы биологического действия ионизирующих излучений.

#### Урок 1 Тема 1.1: Строение атома. Понятие радиоактивности.

##### План:

1. *Заряд и масса элементарных атомных частиц.*
2. *Радиоактивность. Радионуклиды.*
3. *Закон радиоактивного распада. Период полураспада.*

##### Заряд и масса элементарных атомных частиц.

**Радиоэкология** – наука, которая изучает особенности существования организмов, их взаимоотношения с окружающей средой в условиях постоянного воздействия ионизирующего излучения.

**Ионизирующее излучение** – это такое излучение, прохождение которого через вещество приводит к образованию в нем ионов разных знаков.

**Атомы** – это наименьшие химически неделимые частицы вещества, основные кирпичики из которых построено все вокруг нас. По своему строению атом напоминает миниатюрную Солнечную систему. В центре атома располагается очень плотное тяжелое ядро, которое состоит из положительно заряженных *протонов* и не имеющих заряда *нейтронов*. Ядро имеет положительный заряд, величина которого определяется числом протонов в ядре. Массы протона и нейтрона почти одинаковы и примерно равны одной условной единице (атомной единице массы или сокращенно а.е.м. (1 а.е.м.=1,66057\*10<sup>-27</sup> кг)). Протоны и нейтроны, составляющие атомное ядро, называют *нуклонами* (от лат. «*nucleus*», что означает «ядро»).

Нуклоны удерживаются в ядре мощными ядерными силами притяжения. В ядре каждого атома нуклоны находятся на определенном расстоянии друг от друга. При сближении друг к другу силы притяжения сменяются силами отталкивания.

Ядро окружают легкие, отрицательно заряженные частицы – *электроны*, которые по размерам и массе значительно уступают нуклонам (масса электрона в более чем 1 800 раз меньше массы нуклона). По абсолютной величине заряд протона равен заряду электрона. Электрон, протон и нейтрон называют *элементарными частицами*.

##### Заряд и масса элементарных атомных частиц.

<i>Элементарная частица</i>	<i>Относительный заряд</i>	<i>Масса покоя, а.е.м.</i>
Протон	+1	1,0073
Нейтрон	0	1,0087
Электрон	-1	5,4858*10 <sup>-4</sup>

Число протонов в ядре атома называют *протонным числом (Z)*, а число нейтронов – *нейтронным числом (N)*. Суммарное количество протонов и нейтронов в ядре атома называют *атомным числом (A)*.

*Протонное число соответствует порядковому номеру химического элемента в Периодической системе Д.И. Менделеева.*

**Химический элемент** – совокупность атомов с одинаковым числом протонов в ядре, т.е. с одинаковым зарядом ядра.

Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одинаковое число протонов. Например, все атомы углерода содержат в ядре по 6 протонов, а все атомы азота по 7 протонов.

Масса атома практически определяется суммой масс протонов и нейтронов в ядре, т.к. масса электронов в ядре ничтожно мала по сравнению с массой ядра. Массовое число атома, выраженное в атомных единицах массы, примерно соответствует суммарному

количеству протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $N$ ) в атомном ядре, т.е. атомному числу ( $A$ ). Массовое число атома принято указывать вверху слева от символа химического элемента ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  и т.п.).

Массовое число атома ( $A$ )

$$A=Z+N$$

$Z$  – число протонов;

$N$  – число нейтронов в ядре атома.

Ядра атомов одного и того же химического элемента при одинаковом количестве протонов, могут, однако отличаться по числу нейтронов. Массовые числа атомов с одинаковым количеством протонов, но разным количеством нейтронов в ядре различны. Такие атомы называются *изотопами*.

**Изотопы** – это атомы одного и того химического элемента, т.е. атомы, имеющие в своих ядрах одинаковое количество протонов, но отличающиеся массовыми числами из-за разного количества в ядрах нейтронов.

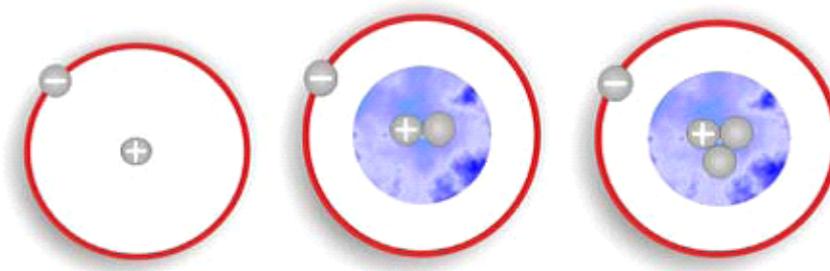
Названия и символы изотопов совпадают с названием и символом соответствующего химического элемента. В отличие от изотопов других элементов, каждый изотоп водорода имеет свое название и обозначение.

Протий  $^1\text{H}$

Дейтерий  $^2\text{D}$

Тритий  $^3\text{T}$

+ протон ( $p^+$ )  
нейтрон ( $n^0$ )



В литературе распространение получил термин «нуклид».

**Нуклид** – совокупность атомов с определенным количеством протонов и нейтронов в ядре.

#### Радиоактивность. Радионуклиды.

В природе, наряду с устойчивыми (стабильными) нуклидами, существуют и неустойчивые радиоактивные нуклиды (радионуклиды). Ядра устойчивых нуклидов могут существовать в практически неизменном виде, когда число протонов и нейтронов в них не меняется неограниченно долго. Ядра неустойчивых радионуклидов самопроизвольно распадаются. В целом, стабильность ядер нуклида зависит от соотношения числа протонов и нейтронов в атомном ядре.

Избыток протонов и нейтронов делает атомное ядро неустойчивым. Они обладают избыточной энергией и стремятся перейти в более устойчивое состояние с меньшей энергией. Любые самопроизвольные процессы таких ядерных превращений сопровождаются выделением в окружающую среду энергии в виде ионизирующего излучения. В результате, одни атомные ядра превращаются в другие, энергетически более устойчивые ядра.

**Радиоактивность** – это самопроизвольное превращение нестабильных атомных ядер в другие, более устойчивые ядра с выделением в окружающую среду энергии в виде ионизирующего излучения.

**Радионуклиды** (от лат. «*radiare*» испускать лучи, «*nucleus*» ядро) – это атомы с нестабильными ядрами, которые самопроизвольно превращаются в более устойчивые

ядра других химических элементов или других изотопов того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде ионизирующего излучения.

Химические элементы, у которых все изотопы радиоактивны, называют *радиоактивными элементами*. Примером радиоактивного элемента является уран. Если сравнить изотопы водорода и урана, то можно увидеть, что у водорода существует 2 стабильных изотопа (протий и дейтерий) и один радиоактивный (тритий), а у урана стабильные изотопы отсутствуют, все его изотопы – радиоактивны.

*Радиоактивными* являются все химэлементы, расположенные в Периодической системе элементов за висмутом, порядковый номер которого равен 83. Остальные химэлементы имеют как стабильные, так и радиоактивные изотопы.

Из почти 1 700 известных в настоящее время нуклидов стабильны только 264. Остальные являются радиоактивными и самопроизвольно распадаются, превращаясь в стабильные нуклиды.

### Закон радиоактивного распада. Период полураспада

Самопроизвольные превращения неустойчивых атомных ядер происходят независимо друг от друга. За конкретный промежуток времени определенная часть ядер обязательно распадается.

Распад неустойчивого атомного ядра может произойти в любое мгновение: через секунду, минуту, час, сутки и т.д. (невозможно предсказать момент его превращения).

*Скорость радиоактивного распада радионуклида пропорциональна числу нераспавшихся атомных ядер этого радионуклида.* Выявленную закономерность назвали **законом радиоактивного распада**.

Промежуток времени, за который распадается половина любого количества определенного радионуклида, *величина постоянная*. Его называют *периодом полураспада* и используют для характеристики радионуклида.

**Период полураспада радионуклида** – это промежуток времени, за который распадается половина любого количества радионуклида.

По величине полураспада судят о скорости распада радионуклида. Период полураспада обычно обозначают  $T_{1/2}$

Продолжительность периода полураспада для различных радионуклидов может составлять от миллионных долей секунды до нескольких миллиардов лет.

Допустим, что имеем два последовательно распадающиеся радиоактивных вещества – первое (материнское) и второе (дочернее). Предположим, что в момент времени  $t$  имеются  $N_1$  атомов первого вещества и  $N_2$  атомов второго вещества. Постоянные распада первого и второго вещества обозначим соответственно  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Из каждого распадающегося атома первого вещества образуется один атом второго вещества. В этом случае число атомов второго вещества, образующихся за единицу времени из первого вещества, для момента  $t$  будет равно:

$$\lambda_1 * N_1$$

Однако, наряду с образованием атомов второго вещества из первого, происходит распад атомов второго вещества. Число атомов второго вещества, распадающихся за единицу времени, будет равно:

$$\lambda_2 * N_2$$

Отсюда число атомов второго вещества для момента  $t$  определятся выражением:

$$\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

Это и есть скорость накопления дочернего элемента за счет распада материнского. В этом процессе различают два варианта:

- Первое (материнское) вещество распадается быстрее второго (дочернего), т.е.  $\lambda_1 > \lambda_2$ . В этом случае по истечении определенного отрезка времени остается только второе вещество.

- Материнское вещество распадается медленнее, чем дочернее, т.е.  $\lambda_1 < \lambda_2$ . В этом случае оба вещества сосуществуют вплоть до полного их распада, причем их количественное соотношение стремится к некоторому постоянному пределу, которое носит название **радиоактивного равновесия**.

При малых периодах полураспада последующие продукты весьма быстро достигают состояния радиоактивного равновесия с предыдущими продуктами. Так, например, радон приблизительно за три часа достигает радиоактивного равновесия со своими последующими короткоживущими продуктами распада. Другой радиоактивный газ торон ( $T=54,5\text{с}$ ) практически мгновенно приходит в равновесие со своим дочерним веществом – полонием – 216 ( $T=0,16\text{с}$ ).

Если материнское вещество распадается чрезвычайно медленно, то во всем ряду последовательно превращающихся элементов, представляющих собой радиоактивное семейство, наступает состояние радиоактивных изотопов, называемое **устойчивым радиоактивным равновесием**. В этом случае убыль в числе атомов какого-либо дочернего вещества будет выполняться прибылью его в результате распада предыдущего продукта. По достижении в радиоактивном ряду состояния устойчивого радиоактивного равновесия числа распадающихся в единицу времени атомов всех элементов ряда одинаковы, т.е.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_n N_n = \text{Const}$$

Например, в урановой руде всегда присутствуют кроме материнского вещества (урана) все дочерние элементы, в том числе радий. На один килограмм урана приходится всего 0,34 мг радия. Радиоактивное равновесие между ураном и радием наступает по истечении длительного промежутка времени и наблюдается в древних горных породах.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что изучает радиоэкология?
2. Что представляет собой атом?
3. Раскрыть понятие элементарных частиц.
4. В чем выражается массовое число атома?
5. Дать определение изотопам.
6. Положение закона радиоактивного распада.
7. Что называется периодом полураспада?
8. Раскрыть сущность радиоактивного равновесия.

## **Урок 2 Тема 1.2: Единицы измерения радиоактивности.**

### **План:**

1. Измерение активности источника излучения.
2. Измерение дозы излучения.

### **Измерение активности источника излучения.**

Существуют два типа измерений радиационных явлений: 1) измерение активности источника излучения; 2) измерение дозы излучения.

**Активность** – это количество ядер, распадающихся в единицу времени. В системе СИ единицей измерения активности является **Беккерель (Бк)**. В радиоактивном веществе активностью 1 Бк в среднем происходит одно спонтанное ядерное превращение в секунду.

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с.}$$

Внесистемная единица активности – **Кюри (Ки)**. 1 Кюри соответствует активности 1 г радия.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

Вес радиоактивного вещества, соответствующего 1 Ки, различен у медленно распадающихся и быстро распадающихся изотопов. Например, для радия активность в 1 Ки соответствует 1 г, а для короткоживущего радиоактивного натрия –  $10^{-7}$  г. Существуют и более мелкие единицы активности: **милликюри (мКи) =  $10^{-3}$  Ки**; **микрокюри (мкКи) =  $10^{-6}$  Ки**; **нанокюри (нКи) =  $10^{-9}$  Ки**; **пикокюри (пкКи) =  $10^{-12}$  Ки**.

Концентрацию радионуклида в веществе можно оценивать по **удельной** или **объемной активности**.

**Удельная активность** – это активность вещества в расчете на единицу его массы, а **объемная активность** – на единицу объема вещества. Например: Кюри на квадратный километр (Ки/км<sup>2</sup>); Беккерель на 1 г вещества (Бк/г); Беккерель на 1 моль (Бк/моль).

Удельную активность (Ам, Бк/кг) обычно применяют при оценке содержания радионуклидов в твердых веществах, а объемную (Ав, Бк/м<sup>3</sup>) – при оценке содержания радионуклидов в жидких и газообразных веществах (вода, воздух и т.п.).

Распределение радионуклида по поверхности объекта характеризуют по **активности радионуклида на единицу площади поверхности объекта**. Эта величина обычно применяется для характеристики уровня загрязнения территории радионуклидами, часто ее называют **плотностью загрязнения**.

#### Измерение дозы излучения.

Источник излучения, обладая определенной активностью, взаимодействует с облучаемой средой, вызывая ее ионизацию. Энергия, поглощаемая при этом облучаемой средой, определяет так называемый **радиационный эффект**. Количественная характеристика радиационного эффекта определяется дозой излучения. Таким образом, **доза излучения** – это результат действия радиоактивности (активности).

При взаимодействии радиоактивных частиц с веществом происходит образование ионов, фотопоглощение и упругое рассеяние. Величина ионизации воздуха характеризуется **экспозиционной дозой (Дэ)**, для измерения которой применяют внесистемную единицу **рентген (Р)**. Дозе 1 Р соответствует  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов/см<sup>3</sup> воздуха. Это означает, что в результате облучения 1 см<sup>3</sup> в нем возникло  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов. На практике применяют единицу в 1000 раз меньшую рентгена **миллирентген (мР)** и в миллион раз меньшую рентгена **микрорентген (мкР)**.

В международной системе единиц (СИ) экспозиционная доза измеряется в **кулонах на килограмм (Кл/кг)**. **Кулон на килограмм** – это экспозиционная доза рентгеновского и гамма – излучения, при которой в одном килограмме сухого атмосферного воздуха образуются ионы, несущие заряд в 1 кулон электричества каждого знака. Соотношение рентгена и кулона на килограмм:  $1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$  (воздуха) или  $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$ .

Ионизирующее действие гамма-излучения любого радиоактивного вещества оценивается сравнением его с действием эталонного источника радия и выражается в **миллиграмм-эквивалентах радия (мг-экв Ra)** или **грамм-эквивалентах радия (г-экв Ra)**.

Экспозиционная доза, полученная за единицу времени, называется **интенсивностью (мощностью) излучения**. Она измеряется в: *рентген в час (Р/ч)*, *миллирентген в час (мР/ч)*, *микрорентген в час (мкР/ч)*.

Соотношение между экспозиционной дозой (*Дэ*), интенсивностью дозы (*Р*) временем облучения выглядит так:

$$D_{\text{э}} = P * T$$

Таким образом, экспозиционная доза характеризует **радиационное поле**, т.е. потенциальный уровень воздействия ионизирующего излучения на живой организм. Но степень лучевого воздействия, глубина и форма лучевых поражений зависят от величины **поглощенной энергии излучений** или от того количества энергии, которое вносится в облучаемое вещество или ткань человека ионизирующим излучением. Энергию, поглощенную единицей массы облучаемого тела, принято характеризовать **поглощенной дозой (Дп)** – это отношение энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. В единицах СИ поглощенная доза измеряется в (*Дж/кг*) и имеет специальное название – *Грей (Гр)*. 1 Гр = 1 Дж/кг. Внесистемная единица поглощенной дозы – *рад*. 1 рад соответствует энергии излучения 100 эрг, поглощенной веществом в 1 кг: 1 рад = 100 эрг/г =  $1 * 10^{-2}$  Дж/кг =  $1 * 10^{-2}$  Гр. 1 Гр = 100 рад.

Элементарные частицы обладают неодинаковой ионизационной способностью. Следовательно, при облучении живых организмов разными частицами **радиобиологический эффект** будет различным даже при одинаковых поглощенных дозах. Поэтому для измерения величины облучения живых организмов введено понятие **эквивалентной дозы (Дэкв.)**, учитывающей **коэффициент качества** излучения (**КК**). **Эквивалентная доза** – это поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий коэффициент качества для данного типа лучей. Эквивалентная доза измеряется в *бэрах* (расшифровывается как биологический эквивалент рентгена). Эта единица внесистемная. Соотношение между радом и бэром имеет вид:

$$1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} * \text{КК}$$

В международной системе единиц СИ эквивалентная доза измеряется в *Зивертах (Зв)*.

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} * \text{КК}$$

Соотношение между бэром и зивертом:

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

В случае радиационного поражения группы людей рассчитывают **коллективную эквивалентную дозу**, измеряемую в человеко-зивертах (чел-Зв).

Для обозначения дозы, полученной в единицу времени, применяют единицы **мощности дозы**, например: бэр/ч; Зв/ч; Гр/с; Зв/с.

**Доза эквивалентная эффективная** – является мерой риска возникновения отдаленных последствий облучения человека с учетом радиочувствительности его органов. Измеряется в Зв.

### Контрольные вопросы.

1. Какие типы измерений радиационных явлений существуют?
2. Дать определение активности.
3. Перечислить основные единицы измерения активности.

4. По какому показателю оценивают концентрацию радионуклида в веществе?
5. По какому показателю характеризуется величина ионизации воздуха? Дать его определение.
6. Единицы измерения экспозиционной дозы.
7. Что называется мощностью излучения?
8. Дать определение поглощенной дозы.
9. Единицы измерения поглощенной дозы.
10. Что называется эквивалентной дозой?
11. Единицы измерения эквивалентной дозы.

### Урок 3 Тема 1.3: **Типы ядерных превращений. Виды ионизирующих излучений и их характеристика.**

#### **План:**

1. Группы ионизирующих излучений.
2. Альфа-излучение.
3. Бета-излучение.
4. Гамма-излучение.
5. Рентгеновское излучение.

#### Группы ионизирующих излучений.

Существуют разные виды ионизирующего излучения, которые отличаются по своей природе, энергии, глубине проникновения в вещество и степени воздействия на живые организмы. Выделяют две группы ионизирующих излучений: *корпускулярные* и *электромагнитные (фотонные)*.

**Корпускулярное излучение** (альфа-, бета-, протонное, нейтронное и др.) представляет собой поток быстро движущихся частиц.

**Электромагнитное (фотонное) излучение** (рентгеновское, гамма-излучение) - это разновидность электромагнитных волн. Все виды электромагнитных волн излучаются и переносят энергию в пространстве строго определенными порциями – *квантами или фотонами*.

Во время радиоактивного распада ядер испускаются  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -лучи, обладающие *ионизационной* способностью. Облучаемая среда частично ионизируется поглощаемыми лучами. Эти лучи взаимодействуют с атомами облучаемого вещества, что приводит к возбуждению атомов и вырыванию отдельных электронов из их электронных оболочек. В результате атом превращается в положительно заряженный ион (*первичная ионизация*). Выбитые электроны, в свою очередь, сами взаимодействуют со встречными атомами, вызывая *вторичную ионизацию*. Электроны, затратившие всю энергию, «прилипают» к нейтральным атомам, образуя отрицательно заряженные ионы.

Ионизирующая способность различных лучей неодинакова. Она наиболее высока у  $\alpha$ -лучей. В-лучи вызывают меньшую ионизацию вещества. Самой низкой ионизационной способностью обладают  $\gamma$ -лучи. Проникающая же способность наивысшая у  $\gamma$ -лучей, а наинизшая у  $\alpha$ -лучей.

Не все вещества одинаково поглощают лучи. Высокой поглощающей способностью обладают свинец, бетон и вода, которые чаще всего и используют для защиты от ионизирующих излучений.

### Альфа-излучение.

**Альфа-излучение ( $\alpha$ -)** – поток положительно заряженных частиц. Каждая  $\alpha$ -частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой. Фактически  $\alpha$ -частицы представляют собой ядра атомов гелия  ${}^4\text{He}$ , т.е. имеют массу 4 а.е.м., а заряд - +2.

При  $\alpha$ -распаде из ядра выбрасывается  $\alpha$ -частица, представляющей собой ядро атома гелия. Вследствие того, что массовое число ее равно 4, а порядковый номер – 2, ядро, образовавшееся после распада, имеет порядковый номер на 2 единица, а массовое число на 4 единицы меньше, чем до распада. В периодической системе такой элемент перемещается на 2 клетки влево эта закономерность носит название *правила сдвига*.

Например:



Суммы верхних и нижних чисел справа и слева от стрелки равны.

Этот вид ядерных превращений характерен для естественных радиоактивных элементов с большими порядковыми номерами: ядра с порядковыми номерами больше 82, за редким исключением, альфа-активны ( ${}^{60}\text{Co}$  и др.)

$\alpha$ -частицы имеют большие размеры, по сравнению с другими элементарными частицами. Имеют положительный заряд, обладая большой массой 4,003 а.е.м., большой энергией 4-9 МэВ (мегаэлектронвольт) они вылетают из распавшегося ядра с огромной скоростью (скорость распространения 20 000 км/с), пробегая в воздухе 2-10 см и ионизируя его. В мягкую биологическую ткань  $\alpha$ -частицы проникают лишь на глубину в несколько десятков микрон. Их можно остановить листком бумаги. Однако, замедляя движение и теряя свою энергию, они вызывают сильную *ионизацию*. Поэтому  $\alpha$ -частицы особенно опасны при попадании внутрь организма. Они проникают внутрь организма с пищей, вдыхаемым воздухом, через открытую рану. Могут вызвать серьезные нарушения в клетках тканей. При проникновении в легкие могут пострадать участки легочной ткани и пронизывающие ее капилляры.

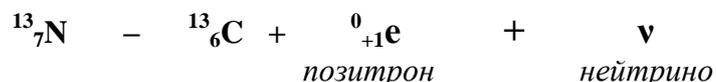
### Бета-излучение.

**Бета-излучение ( $\beta$ -)** представляют собой поток быстрых *электронов и позитронов*, несущихся со скоростью, приближающейся к скорости света. Они возникают при  $\beta$ -распаде ядер, который существует в 3-х вариантах.

В первом случае внутри ядра *нейтрон* превращается в *протон*. В результате из ядра вылетает быстрый электрон и нейтральная частица очень малой массы – *антинейтрино*. Заряд ядра увеличивается на одну единицу, а массовое число не меняется. Вновь образовавшийся элемент перемещается в периодической системе на 1 клетку вправо. Например:



Во втором случае  $\beta$ -распада ядро испускает позитрон, который является античастицей электрона. В результате один из протонов превращается в нейтрон. Процесс сопровождается испусканием нейтрино. Атомный номер дочернего ядра на 1 меньше, чем материнского. Например:



В периодической таблице вновь образованный элемент перемещается на 1 клетку влево.

При третьем варианте  $\beta$ -распада ядро поглощает один электрон из электронных орбит своего атома, в результате чего один из протонов превращается в нейтрон. При этом испускается нейтрино. Атомный номер дочернего ядра уменьшается на 1 единицу. Например:



При электронном и позитронном распаде выделяются *гамма- фотоны ( $\gamma$ -лучи)*, а электронный захват сопровождается *рентгеновскими лучами*.

Таким образом,  $\beta$ -лучи возникают лишь в случае первого и второго вариантов  $\beta$ -распада и представляют собой поток электронов и позитронов. Энергия  $\beta$ -лучей находится в пределах от десятков кэВ до 3,5 МэВ. Размер этих частиц очень мал, длина их пробега в воздухе составляет несколько метров, а в ткани – 1-2 см. свою энергию они отдают на протяжении более длинного следа, чем  $\alpha$ -частицы. В-частицы вызывают ожоги.

### Гамма-излучение.

**Гамма-излучение** (ионизирующее коротковолновое электромагнитное излучение), распространяется прямолинейно со скоростью света, энергия его колеблется от 0,01 МэВ до 3 МэВ, имеет различную природу. Прежде всего это гамма-излучение, испускаемое радионуклидами при  $\alpha$ - и  $\beta$ -распаде. Испускаемые кванты имеют строго определенную энергию, зависящую от энергии возбужденных состояний ядер. При  $\gamma$ -излучении превращения элементов не происходит, поскольку заряд и масса элемента не изменяются.

$\Gamma$ -излучение сходно со световым, но отличается от него длиной волны (10нм). Оно проходит в воздухе большие расстояния (проникающая способность в воздухе составляет 150 м.) со скоростью света (скорость света 300 000 км/с) и глубоко проникает в живые ткани (десятки см.), ионизируя их на протяжении длинного следа. Действие  $\gamma$ -лучей зависит от их числа и энергии, а также от расстояния между организмом и источником излучения. Ионизирующая способность альфа-лучей очень высокая, а гамма-квантов – низкая.  $\Gamma$ -лучи оказывают разрушающее действие при нахождении источника радиации как внутри организма, так и вне его.

### Рентгеновское излучение.

**Рентгеновское излучение** – имеет электромагнитную природу. Длина волны рентгеновских лучей  $10^{-5}$ - $10^{-2}$  нм. Они возникают при торможении быстрых электронов мишенями из тяжелых металлов (например, платины). Длина волны рентгеновских лучей тем меньше, чем больше скорость тормозных мишенью электронов. Проникающая способность коротковолновых рентгеновских лучей особенно велика, а ионизирующие свойства – минимальны. Рентгеновские лучи получают искусственно в рентгеновских трубках, электронных ускорителях. Они испускаются также космическими телами и некоторыми радионуклидами. Ввиду малой ионизирующей способности рентгеновские лучи широко применяют в медицине, науке и технике.

Все виды ионизирующего излучения нельзя увидеть, почувствовать или услышать; они не имеют ни вкуса, ни цвета, ни запаха. Радиоактивные свойства радионуклидов нельзя устранить посредством: химических превращений, изменения агрегатного состояния радиоактивного вещества (замораживания, растворения, испарения и т.п.), биологического воздействия. Однако организм можно защитить от внешнего воздействия  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений с помощью одежды и др. доступных материалов. Степень воздействия  $\gamma$ -излучения можно уменьшить сократив время пребывания на территории с высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

### Контрольные вопросы.

1. Какие группы ионизирующих излучений выделяют?
2. Дать определение корпускулярного излучения.
3. Раскрыть понятие электромагнитного излучения.
4. Что представляет собой альфа-излучение?
5. Раскрыть суть бета-излучения.
6. Принцип действия гамма-излучения.
7. Что представляет собой рентгеновское излучение?

## РАЗДЕЛ 2.

### Источники ионизирующих излучений и загрязнений окружающей среды радиоактивными веществами.

#### Урок 4 Тема 2.1: ***Классификация источников ионизирующих излучений (ИИ). Естественные источники.***

##### План:

1. *Классификация источников ИИ.*
2. *Космическое излучение.*
3. *Радиоактивность горных пород.*
4. *Радиоактивность почв.*
5. *Радиоактивность природных вод.*
6. *Радиоактивность атмосферного воздуха.*

##### Классификация источников ИИ.

Все живые существа на Земле постоянно подвергаются воздействию ионизирующей радиации путем внешнего и внутреннего облучения за счет *естественных* и *искусственных* источников ИИ, которые образуют *радиационный фон*.

***Естественные источники ИИ*** – это совокупность космического излучения, излучения от естественных радионуклидов, рассеянных в атмосфере, литосфере, гидросфере и находящихся в составе биологических организмов: все эти излучения образуют *естественный радиационный фон*, средняя эффективная доза которых составляет 2 000 мкЗв в год на человека.

***Искусственные источники ИИ*** – это совокупность ИИ и радиоактивных веществ, образующихся в результате ядерных взрывов, деятельности АЭС, извлечения полезных ископаемых из недр Земли, применения в медицине, науке и других отраслях хозяйственной деятельности человека. Совокупность этих источников составляет *искусственный радиационный фон*, который в настоящее время в целом по Земному шару добавляет к естественному радиационному фону лишь 1-3 %.

##### Космическое излучение

Различают космическое излучение *галактического* и *солнечного* происхождения. При этом выделяют *первичное* космическое излучение, поступающее в околоземное пространство, и *вторичное излучение*, возникающее при взаимодействии космического излучения с атмосферой Земли. Первичное космическое излучение состоит из излучения *галактического* и *солнечного*. ***Первичные космические лучи*** представляют собой поток частиц высоких энергий, приходящих на Землю из космоса и возникающих в процессе термоядерных реакций в недрах Солнца и звезд. *Первичное космическое излучение* состоит

из протонов (ядра водорода) – 85%, альфа-частиц (ядра гелия) – 13%, ядер атомов лития, бериллия, углерода, азота и кислорода и др. кроме того в состав космического излучения входят электроны, позитроны, гамма-кванты и нейтрино.

При резком увеличении солнечной активности возможно нарастание космического излучения на 4 – 100%. Лишь немногие первичные космические лучи достигают поверхности Земли, т.к. они взаимодействуют с атомами воздуха, рождая потоки частиц вторичного космического излучения. На орбите Земли скорость космических частиц примерно равна 300 км/с, т.е. около 0,001 с (где с – скорость света). Плотность космических частиц на орбите Земли зависит от интенсивности термоядерных реакций на Солнце. В спокойные периоды деятельности Солнца плотность первичных космических частиц на орбите Земли на высоте 50 км от ее поверхности равна 1 – 2 част./см<sup>2</sup>\*с. В период усиления активности Солнца количество их может достигать 100 част./см<sup>2</sup>\*с. Первичные космические частицы обладая огромной энергией (в среднем 10 ГэВ) и скоростью, взаимодействуют с ядрами атомов, составляющих атмосферу, и рождают вторичное излучение.

**Вторичное космическое излучение** состоит из электронов, нейтронов, мезонов фотонов; максимум его интенсивности находится на высоте 20 – 30 км, на уровне моря интенсивность излучения составляет около 0,05% от первоначального.

Наша планета – это огромный магнит. Магнитное поле Земли (*геомагнитное поле*) простирается на расстояние 70 – 80 тыс. км. По направлению к Солнцу и на многие миллионы километров в противоположном направлении. Геомагнитное поле захватывает протоны, электроны и другие заряженные частицы из потока космических частиц, пролетающих в околоземном пространстве, образуя **магнитосферу** – пространство, заполненное заряженными частицами. В основном магнитосферу заполняют частицы, захваченные геомагнитным полем из потока частиц, которые излучает Солнце (*солнечный ветер*).

Элементарные частицы, составляющие *вторичное космическое излучение* под действием магнитного поля Земли образуют вокруг нее два *радиационных пояса* – *внешний и внутренний*. На широте экватора внешний пояс расположен на расстоянии 20 – 60 тыс. км, а внутренний – на расстоянии 600 – 6 000 км от поверхности Земли. На некоторых участках внутренний пояс может опускаться на расстоянии до 300 км от поверхности Земли. Поскольку среди элементарных частиц преобладают электроны и позитроны, то плотность частиц измеряется количеством электронно-позитронных пар на квадратный сантиметр в секунду. Плотность потока во внешнем и внутреннем радиационных поясах равны соответственно 2107 и 1105 электрон/см<sup>2</sup>\*с.

Заряженные частицы вторичного космического излучения движутся вдоль силовых линий магнитного поля Земли, которое является для них ловушкой. В итоге в радиационных поясах нашей планеты потоки заряженных частиц в сотни миллионов раз превышают потоки *солнечного ветра* в космическом пространстве. На поверхность Земли попадает, главным образом, вторичное космическое излучение, которое создает ионизацию компонентов атмосферы. Интенсивность ионизации возрастает с увеличением высоты. На уровне моря она минимальна, а на высоте 12-16 км достигает максимума. Ионизация, вызываемая космическими лучами, возрастает в направлении от экватора к полюсам, что является следствием отклонения первично заряженных космических частиц магнитным полем Земли.

У космических частиц есть так называемая *мягкая и жесткая компоненты* (составные части). *Мягкая компонента* состоит из электронов, позитронов и фотонов. По своей проникающей способности она близка к гамма-излучению. *Жесткая компонента* состоит из *мю-мезонов и нейтрино*. Жесткая компонента обладает очень высокой проникающей способностью. Мю-мезоны могут проникать в толщу литосферы до 3 км, а нейтрино пронизывают Землю насквозь, улетаая далее в космос.

### Радиоактивность горных пород.

Радиоактивность пород падает с глубиной, но все – же остается измеримой до весьма значительных глубин. Резко выраженное накопление радиоактивных элементов наблюдается в *гранитном слое* континентальной коры.

Наблюдается геохимическая закономерность уменьшения содержания радиоизотопов с увеличением основности магматических пород. Наибольшее содержание естественных радионуклидов наблюдается в изверженных породах кислого и щелочного состава, богатых калием. Основными носителями радиоактивных элементов в этих породах являются *акцессорные* минералы: *циркон, монацит, ксенотим, ортит, апатит и сфен*. Что касается главных породообразующих минералов, то установлено, что *салические* минералы (в первую очередь полевые шпаты) обладают в среднем в 3 раза большей радиоактивностью, чем *фемические*. Поэтому на практике существует эмпирическое правило: магматические породы светлых оттенков более радиоактивны, чем темные.

Наиболее высокой радиоактивностью среди осадочных пород обладают глинистые сланцы и глины. Содержание радионуклидов в них приближается к таковому в кислых изверженных породах – *гранитах*.

Наименьшей радиоактивностью среди осадочных пород обладают чистые химические и органические осадки (*каменная соль, гипс, известняки, доломиты, кварцевые пески, кремнистые сланцы, яшмы*). Морские осадки в целом более радиоактивны, чем континентальные.

### Радиоактивность почв.

Главным источником радиоактивных элементов в почвах следует считать почвообразующие породы. Поэтому почвы, развитые на кислых магматических породах, относительно обогащены радиоактивными элементами (ураном, радием, торием, калием), а почвы, образованные на основных и ультраосновных породах, бедными. Глинистые почвы почти везде богаче радиоизотопами, чем песчаные.

Почвы, как рыхлые образования, по вещественному составу близки к осадочным породам, поэтому они во многом подчиняются закономерностям распределения естественных радионуклидов в отложениях этого генезиса. Тонкая коллоидная фракция почв, с которой связаны *обменно-сорбционные* процессы, обогащена радиоактивными элементами по сравнению с более крупными частицами. То же самое касается и органической составляющей почв.

Содержание радия в верхнем горизонте почв колеблется от 2,8 до  $9,5 \cdot 10^{-10}\%$ . Причем в большинстве почв наблюдается резкое смещение радиоактивного равновесия между ураном и радием в сторону последнего, что связано с выщелачиванием урана грунтовыми водами.

Радиоактивность почв в основном обусловлена природными радиоизотопами  $^{40}\text{K}$  и  $^{87}\text{Rb}$ .

Под влиянием испытаний ядерного оружия и техногенных факторов почвы повсеместно загрязнены искусственными радионуклидами.

### Радиоактивность природных вод.

По содержанию урана морские воды приближаются к ультраосновным горным породам – *дунитам* и значительно обеднены торием.

Радиоактивность речных и озерных вод зависит от источника их питания. Дождевые, снеговые и ледниковые воды содержат небольшое количество солей, поэтому водоемы горных районов высоких широт, имеющих этот источник питания, практически стерильны в отношении естественных радионуклидов.

Природные радионуклиды поступают в открытые водоемы суши в основном подземными водами. Грунтовые и межпластовые воды, питая озера и реки, определяют уровни природной радиоактивности воды этих водоемов. Поэтому радиоактивность воды рек и озер подвержена значительным колебаниям. Она напрямую зависит от химического и минерального состава дренируемых ими горных пород, в которых располагаются чаши озер или водосборы рек. К другому важному фактору, влияющему на степень радиоактивности воды открытых водоемов, относится климат, от которого зависит степень химического выветривания горных пород, являющихся основным поставщиком природных радионуклидов.

Наконец, концентрация радиоизотопов в озерах зависит от степени водного обмена. Бессточные озера в районах с засушливым климатом могут быть значительно обогащены радиоактивными элементами за счет сильного испарения застойной воды.

Если исключить реки, дренирующие урановые рудные районы, то можно считать, что речные воды отличаются пониженным относительно морских вод содержанием урана, радия, тория, калия и радона.

В период паводка радиоактивность речной воды снижается, а в межень – повышается. Зимой, когда реки покрываются льдом, наблюдается повышенное содержание в воде радиоактивных газов – радона и торона.

Подземные воды бывают значительно обогащены ураном, радием, торием и радоном по сравнению с поверхностными. Количество радиоактивных элементов в них зависит от вещественного состава вмещающих пород и химизма самих вод. В гидрогеологии принято выделять радоновые, радиевые и урановые воды, в зависимости от преобладания в их составе того или иного радиоактивного элемента. Существуют и смешанные воды: радоно-радиевые, урано-радиевые, радииво-мезоториевые. Концентрация радия в подземных водах может достигать  $2,5 \cdot 10^{-11}\%$ , а урана –  $3 \cdot 10^{-6}\%$ .

#### Радиоактивность атмосферного воздуха.

Атмосфера Земли всегда содержит газообразные радиоактивные вещества в виде инертных газов – радона, торона и актинона, источником которых являются эманулирующие горные породы. Радиоактивные эманации (радиоактивные газы), попадая из почвы в атмосферный воздух, затем разносятся горизонтальными и вертикальными воздушными потоками. В свою очередь, радиоактивные газы, претерпевая распад, превращаются в твердые изотопы, которые выпадают в виде активных осадков.

Твердые радиоактивные частицы, содержащиеся в воздухе, захватываются конденсирующимися каплями воды и выпадают на поверхность Земли атмосферными осадками. После обильных дождей и снегопада радиоактивность воздуха уменьшается.

В атмосфере присутствуют также изотопы, образующиеся под действием космических лучей. К таким радионуклидам относится углерод – 14, количество которого в воздухе ничтожно мало.

#### Контрольные вопросы.

1. Дать классификацию ионизирующего излучения.
2. Какие виды космического излучения Вам известны?
3. Раскрыть суть первичного космического излучения.
4. Что представляет собой вторичное космическое излучение?
5. Радиоактивность горных пород.
6. Радиоактивность почв.
7. От чего зависит радиоактивность природных вод?
8. Радиоактивность атмосферного воздуха.

## Урок 5 Тема 2.2: *Добыча и переработка радиоактивного минерального сырья.*

### План:

1. *Воздействие радиоактивных отходов добычи урановых руд на окружающую среду.*
2. *Воздействие гидрометаллургического производства.*

### Воздействие радиоактивных отходов добычи урановых руд на окружающую среду.

Из всего уранопроизводящего комплекса добыча и переработка урановых руд дает самый большой объем радиоактивных отходов, которые по физическому состоянию подразделяются на твердые и жидкие. Специфическая особенность уранового и ториевого производства – наличие во всех видах отходов радионуклидов с большим периодом полураспада.

Обычно промышленное содержание урана в рудах находится в интервале 0,02 – 0,03%. Руды с меньшей концентрацией этого радиоактивного элемента считаются *забалансовыми*. «Пустые» породы содержат тысячные доли процента урана. Последние две категории минерального вещества, как и сами *балансовые руды*, относятся к материалам, представляющим опасность для окружающей среды, поскольку они на расстоянии 10 см от поверхности создают мощность эквивалентной дозы более 0,1 мЗв/ч.

На современных рудниках на 1 тонну добытой руды шахтным способом приходится 0,3 тонны пустой породы, а в карьерах эта цифра возрастает до 1,5 – 2 тонн и более. Поэтому твердые отходы урановых рудников – отвалы пустой породы и забалансовых руд являются основным источником загрязнения атмосферного воздуха вблизи предприятий за счет пыли и эманации.

Отвалы пустых пород, содержание радионуклидов в которых превышают кларковые, занимают на рудниках и карьерах многие тысячи квадратных метров и являются источниками локального загрязнения местности. В результате ветровой эрозии происходит сдувание пыли с поверхности отвалов, а также твердых продуктов распада постоянно выделяющегося радона и перенос его на значительные расстояния. Как следствие этого процесса, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения почвы в радиусе до 100 м от отвалов в 3-5 раз превышает фоновое, а удельная альфа-активность растительности достигает 110-250 Бк/кг.

Отвалы забалансовых руд и пустой породы подвергаются постоянному воздействию атмосферных осадков, которые выщелачивают радионуклиды и загрязняют ими грунтовые воды и гидрографическую сеть, что в конечном итоге приводит к сверхнормативному загрязнению радиоактивными веществами донных отложений.

Для уменьшения количества твердых отходов, хранимых на поверхности, их следует возвращать в подземные выработки для забутовки выработанного пространства.

Жидкие отходы, к которым относятся шахтные воды, насыщенные радионуклидами, представляют собой дополнительный источник загрязнения окружающей среды и в первую очередь, поверхностных водоемов.

Начиная с конца 60-х годов, для добычи урана широко применяется метод подземного кислотного выщелачивания. В результате земная поверхность в районе уранодобывающих предприятий загрязняется в гораздо меньшей степени. Однако, в этом случае подвергаются значительному загрязнению радионуклидами и кислотами подземные воды.

### Воздействие гидрометаллургического производства.

Другим звеном уранового производства являются обогатительные предприятия и заводы по гидрометаллургической переработке радиоактивных руд, где главный вид отходов – хвосты переработки рудной массы, насыщенные радиоактивными жидкостями.

Гидрометаллургический процесс характеризуется потреблением большого количества воды, требующейся для приготовления раствора серной кислоты. С помощью этого реагента производится выщелачивание урана из руды. На одну тонну выщелачиваемой руды приходится до 3-4 м<sup>3</sup> раствора. Далее из полученного раствора уран извлекают с помощью ионообменных смол. Конечным продуктом горно-металлургических комбинатов является закись – окись урана U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> с содержанием урана около 85%. Полученный конечный продукт поступает на заводы изотопного обогащения.

Твердые отходы гидрометаллургического процесса состоят из *шлама*, остающегося после извлечения урана из тонко измельченной рудной массы. Как в жидкой пульпе, так и в шламе содержатся тысячные доли % урана и тория. Весь этот материал удаляется в намывные *хвостохранилища*, которые являются неотъемлемой частью гидрометаллургического производства урана и тория и главным источником местного загрязнения окружающей среды радионуклидами.

Вокруг хвостохранилища со временем образуется постоянно функционирующий как наземный, так и подземный ореолы распространения радионуклидов.

Как правило, на урановых рудниках и прилегающих к ним территориях устанавливаются высокие концентрации радионуклидов, часто превышающие уровни в несколько раз.

Кроме того, радиоактивные руды часто транспортируются по железной дороге с грубейшими нарушениями техники безопасности.

Таким образом, опасность представляют собой пункты добычи, складирования, переработки радиоактивного сырья, отвалы «пустой» породы на рудниках и пути транспортировки руды.

Немалый вклад в загрязнение среды радионуклидами и химические комбинаты по производству оружейного плутония и вторичной переработке отработанного на АЭС ядерного топлива.

Высокоактивные сточные воды на этих предприятиях собираются в герметичные контейнеры, а малоактивные воды сбрасываются в открытые водоемы.

### Контрольные вопросы.

1. В чем заключается специфика уранового производства?
2. Воздействие отвалов пустых пород на окружающую среду.
3. Чем характеризуется гидрометаллургический процесс?
4. Чем представлены твердые отходы гидрометаллургического процесса? Воздействие их на окружающую среду.

## Урок 6 Тема 2.3: Добыча и переработка углеводородного сырья.

### План:

1. Отходы нефтегазового комплекса, содержащие радионуклиды.
2. Содержание радионуклидов в нефтешламе.
3. Основные меры по управлению радиоактивными веществами.

### Отходы нефтегазового комплекса, содержащие радионуклиды.

Природные углеводороды содержат небольшое количество естественных радионуклидов. Значительными концентрациями урана, радия, тория, и радона отличаются осадочные толщи, вмещающие нефть и газ. В связи с повышенной радиоактивностью нефтегазоносных отложений, добыча и транспортировка углеводородного сырья сопровождается выносом на дневную поверхность значительного количества природных радионуклидов. Опасная концентрация природных радионуклидов происходит в производственных отходах на стадии добычи и первичной переработки углеводородного минерального сырья, особенно в том случае, когда нефтепромыслы функционируют длительное время.

В течение нескольких лет эксплуатации оборудования на его поверхности концентрируются вещества, содержащие естественные радионуклиды семейств урана и тория. Причем, для производственных отходов нефтегазового комплекса является характерным смещение радиоактивного равновесия в сторону радия.

Причиной концентрации естественных радионуклидов в установках для добычи и переработки углеводородного сырья являются два процесса:

- Осаждение солей радия (карбонатов и сульфатов) из водной фазы, поступающей в установки добычи и переработки нефти. Такие накипи, содержащие радий-226, радий-228, торий-232, торий-228, могут образовываться на всех поверхностях, соприкасающихся с пластовой водой. Это соединения труб, фазовые сепараторы, насосы, клапаны и др.
- Осаждение твердых продуктов распада радона-222 (главным образом долгоживущего свинца-210) и вследствие этого образование радиоактивных пленок на стенках установок переработки и транспортировки газа.

### Содержание радионуклидов в нефтешламе.

Но наибольшее количество радионуклидов скапливается в нефтешламе, который образуется на разных технологических ступенях добычи и первичной переработки нефти. Смесь нефти, газа и пластовой воды, откачиваемой из скважин, поступает на сборные пункты нефти, где происходит первичное многоступенчатое разделение перечисленных компонентов за счет отстаивания в резервуарах. Попутный газ по трубопроводу направляется на газоперерабатывающий завод. Отделяемая пластовая вода через специальные скважины закачивается обратно в пласт для поддержки пластового давления. В каждом резервуаре из пластовой воды и нефти оседают тонкодисперсные частицы, составляющие нефтешлам. В нем и накапливаются природные радионуклиды, главным источником которых является выпадение в осадок из пластовой воды растворенных в ней сульфатов и карбонатов радия. За счет этого процесса коэффициент концентрации естественных радионуклидов в нефтешламе может достигать 10 000.

В зависимости от соотношения органической и минеральной фаз плотность нефтешлама может колебаться от 1,5 до 3 т/м<sup>3</sup>. В процессе накопления в резервуарах и хранилищах нефтешлам расслаивается с выделением органической составляющей в верхней его части. При этом радионуклиды концентрируются в минеральной части (нижние слои) нефтешлама. В дальнейшем, расслоенный нефтешлам, может быть

использован для получения полезных продуктов: парафина, битума, асфальтенов, редких и радиоактивных элементов. Минеральная часть расслоенного нефтешлама разделяется на 4 класса. Наиболее обогащен радионуклидами нефтешлам 4 класса, который может быть использован для извлечения из него радиоактивных и редких элементов. Нефтешлам 1, 2 и 3 классов кондиционируется в соответствии с требованиями НРБ – 99 для использования его в качестве строительного материала.

На нефтедобывающих предприятиях нефтешлам временно хранится в накопителях. При этом нефтешлам 1, 2 и 3 классов может храниться в открытых, а 4 класса – в закрытых секциях.

Основное оборудование нефтепромыслов состоит из *ета* (цилиндрические сосуды объемом до 100 м<sup>3</sup> с эллиптическими днищами), *резервуаров* (цилиндрические сосуды емкостью 5 000 м<sup>3</sup> с плоскими днищами), центробежных насосов и трубопроводов. Буллиты непрерывно используются 2-3 лет, после чего отключаются от схемы и очищаются от накопившегося нефтешлама. Очистка резервуаров от нефтешлама производится через каждые 5-7 лет непрерывной работы.

Немаловажную роль в накоплении природных радионуклидов играют утечки и вынужденные сбросы нефти и промышленных вод на поверхность земли. Одновременно в воздух рабочих помещений нефтепромыслов может поступать повышенное количество изотопов радона и их дочерних продуктов распада, а также производственная пыль с высоким содержанием природных радиоизотопов.

#### Основные меры по управлению радиоактивными веществами.

В результате указанных процессов поступление естественных радиоизотопов на поверхность достигает таких уровней, что мощность дозы гамма-излучения превышает естественный фон в 100 и более раз. Все это вызывает острую необходимость принятия мер по управлению накапливающимися в процессе производства радиоактивными веществами. Эти меры включают радиометрический мониторинг и вмешательство, заключающееся в дезактивации оборудования, сборе, сортировке, переработке, складировании, транспортировке и захоронении промышленных отходов, обладающих повышенной радиацией. Насосы и трубы с накопившимся в нем нефтешламом должны подвергаться радиационному контролю и сортировке. Загрязненное выше контрольного уровня оборудование должно герметизироваться заглушками для предотвращения высыпания радиоактивного нефтешлама и вывозиться в накопитель для очистки (дезактивации) от радионуклидов по специальным технологиям.

Радиоэкологический мониторинг на предприятиях нефтегазодобычи должен обязательно включать анализ пластовой воды, являющейся одним из главных носителей природных радионуклидов, особенно радия. Пробы необходимо отбирать на устье скважины. Кроме того, отбирают пробы нефти с целью определения состава радионуклидов в сопутствующей воде.

Для анализа проб добываемого газа применяются высокочувствительные методы гамма-спектрометрии, поскольку самый опасный элемент, транспортируемый газом, свинец-210 (продукт распада радона-222), является активным гамма-излучателем. Для определения содержания самого радона в природном газе применяются эманационные методы. При этом надо учитывать небольшой период полураспада этого радионуклида (3,82 сут.), т.е анализ пробы должен быть выполнен сразу же после ее отбора.

На действующих нефтепромыслах должен быть организован текущий учет материалов, содержащих естественные радионуклиды. Например, суточное поступление радиоактивных веществ в *ета* и резервуары может быть учтено с помощью следующей формулы:

$$A=P_1*M*C/P_2 \text{ кБк/сут.},$$

где:

$P_1$  – текущий расход пластовой воды, м<sup>3</sup>/сут;

$P_2$  – общий расход пластовой воды за время работы до предыдущей выгрузки нефтешлама, м<sup>3</sup>;

$M$  – масса нефтешлама, выгруженного в предыдущую остановку, кг;

$C$  – удельная эффективная активность радионуклидов в выгруженном в предыдущую остановку нефтешламе, кБк/сут.

### Контрольные вопросы.

1. Отходы нефтегазового комплекса.
2. Содержание радионуклидов в нефтешламе.
3. Какие основные меры по управлению радиоактивными веществами Вам известны?

## Урок 7 Тема 2.4: Ядерный топливный цикл.

### План:

1. Схема ядерного топливного цикла.
2. Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду.

### Схема ядерного топливного цикла.

Ядерная энергетика – это не только атомные электростанции, это добыча и обогащение урановых руд, получение ядерного топлива, его транспортировка и использование на АЭС, а также регенерация отработанного ядерного топлива на специальных заводах, хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Весь процесс получения тепловой и электрической энергии за счет деления тяжелых атомных ядер – от разработки урановой руды до утилизации радиоактивных отходов – называют *ядерным топливным циклом (ЯТЦ)*.

Урановая руда содержит, как правило, от 0,1 до 3% собственно урана.

Добыча урановой руды может осуществляться как *шахтным*, так и *карьерным* способом. В последние годы начали применяться методы подземной переработки руды с концентрированием урановой породы непосредственно в местах ее добычи.

Переработка урановой руды включает:

- Отделение пустой породы, не содержащей урана;
- Извлечение урана из руды и получение уранового концентрата – определенного химического соединения урана, состав которого зависит от способа извлечения урана;
- Очистка уранового концентрата от примесей.

Выбор способа извлечения урана и способа очистки полученного соединения определяется составом руды. В процессе очистки определяются сопутствующие элементы и накопившиеся продукты распада природных изотопов урана.

В подавляющем большинстве энергетических ядерных реакторов используется уран, в котором содержание делящегося радионуклида <sup>235</sup>U гораздо выше (2-4%), чем в природном уране (0,7%), состоящем преимущественно из <sup>238</sup>U.

На обогатительных заводах по разделению изотопов урана концентрация <sup>235</sup>U увеличивается до необходимой величины. Ранее использовали метод, основанный на разной скорости диффузии молекул газообразного соединения урана – гексафторида урана UF<sub>6</sub>, содержащего атомы тяжелого радионуклида <sup>238</sup>U и более легкого радионуклида <sup>235</sup>U, через различные материалы. При однократном пропускании UF<sub>6</sub> через газодиффузионную ячейку газовая смесь обогащается более легкими молекулами, и содержание <sup>235</sup>U увеличивается в 1,0043 раза. Чтобы повысить степень обогащения, газовую смесь последовательно пропускают через множество подобных ячеек и доводят степень обогащения урана радионуклидом <sup>235</sup>U до нужной величины.

В настоящее время разделение изотопов осуществляют методом *центрифугирования газовой смеси, состоящей из тяжелых ( $^{238}\text{UF}_6$ ) и более легких ( $^{235}\text{UF}_6$ ) молекул, во встречных газовых потоках.*

Поток газа, состоящий из смеси молекул с различными изотопами урана, пускается вниз по периферии вращающейся системы, а восходящий поток поднимается вверх вблизи оси ее вращения. В результате центрифугирования газовой смеси, восходящий поток обогащается легкими молекулами, а нисходящий – тяжелыми.

Обогащенный уран поступает на завод по изготовлению тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). ТВЭЛ является важнейшей частью ядерного реактора. С его помощью в ядерный реактор вводится ядерное топливо и отводится тепло от делящегося материала к теплоносителю. Чаще всего, уран поступает на завод в виде таблеток, спрессованных из порошка  $\text{UO}_2$ . При изготовлении ТВЭЛов эти таблетки помещают в специальную металлическую оболочку цилиндрической формы. В качестве оболочки используются материалы, которые слабо поглощают нейтроны, сохраняют механическую прочность и геометрические размеры изделия при воздействии высоких температур, нейтронного и мощного *гамма* – излучения.

Заключительная часть ЯТЦ включает:

- Хранение отработанного топлива;
- Транспортировку отработанного топлива от АЭС на радиохимические заводы для его переработки;
- Переработку отработанного топлива с целью регенерации (восстановления);
- Хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Существующие технологии регенерации позволяют восстановить до 90% урана и плутония, содержащегося в отработанных ТВЭЛлах. Ежегодно из таких ТВЭЛов извлекают около 20 т плутония (плутоний используют в качестве топлива на АЭС и в производстве ядерного оружия; использование в качестве ядерного горючего 1кг плутония экономит примерно 140кг природного урана).

В процессе добычи и переработки урановой руды, получения ядерного топлива, производства электроэнергии на АЭС и регенерации отработанного топлива образуются *радиоактивные отходы и отходы, которые условно считают нерадиоактивными.*

Побочные вещества, образующиеся в процессе любого вида деятельности, которые обладают низкой активностью и не требуют обработки, отличной от обработки обычных отходов, условно считают ***нерадиоактивными.***

#### *Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду.*

Функционирование ЯТЦ может оказывать влияние на окружающую среду, приводя к ее химическому и тепловому загрязнению, а также к загрязнению радионуклидами.

*Химическое загрязнение* возможно при переработке руды и отработанного ядерного топлива, поскольку на этих этапах используется большое количество токсичных химических реагентов.

*Тепловое загрязнение* происходит вследствие неполного преобразования на АЭС тепловой энергии в электрическую. В результате, до 70% тепловой энергии, выделившейся в реакторе, поступает в окружающую среду.

*Локальное загрязнение радионуклидами* природного происхождения может происходить при добыче и переработке урановой руды. Источниками загрязнения являются урановые рудники и заводы по переработке урановой руды. Образующиеся на производстве радиоактивные отходы, содержащие полоний (*Po*), радий (*Ra*) и другие радионуклиды, могут попасть в окружающую среду в результате ветровой и водной эрозии, при этом в атмосферу также выделяется газообразный радон (*Rn*).

При работе реактора могут быть незначительные утечки *газообразных продуктов деления*, таких как *криптон, ксенон, йод*, активированный нейтронами *аргон*, входящий в состав воздуха.

Перевозка урановой руды, уранового концентрата, гексафторида урана и оксида урана не представляет особой опасности для окружающей среды. Урановые руды характеризуются низким содержанием урана, поэтому их перевозят в обычных самосвалах и вагонах. Обогащенные руды и урановые концентраты – вещества с более высоким содержанием урана – перевозят в специальных контейнерах.

В процессе работы АЭС в ядерных реакторах образуется большое количество *радиоактивных веществ искусственного происхождения*.

Отработанное топливо в течение 3-4 лет выдерживают на АЭС в специальных бассейнах-хранилищах. За это время часть содержащихся в топливе радионуклидов распадается и его радиоактивность уменьшается. Оставшиеся радиоактивные продукты помещают в защитные контейнеры из нержавеющей стали и отправляют на перерабатывающий завод.

При функционировании ЯТЦ на этапах, связанных с добычей, обогащением, переработкой урановой руды, получением ядерного топлива, радионуклиды могут попадать в окружающую среду в *газообразном, жидком и твердом* состоянии.

### **Контрольные вопросы.**

1. Какой процесс называют ядерным топливным циклом?
2. Что включает в себя переработка урановой руды?
3. Какие методы разделения изотопов урана Вам известны?
4. Что включает в себя заключительная часть ядерного топливного цикла?
5. Влияние предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду.

## Урок 8 Тема 2.5: Радиоактивные отходы.

### План:

1. Классификация радиоактивных отходов (РАО).
2. Способы обращения с РАО в зависимости от их агрегатного состояния.
3. Захоронение РАО.
  - Захоронение на дне морей и океанов.
  - Окончательное захоронение в соляных отложениях.
  - Геологическое захоронение.

### Классификация радиоактивных отходов (РАО).

По физическому состоянию радиоактивные отходы (РАО) подразделяются на твердые, жидкие и газообразные.

К **твердым РАО** относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные жидкие РАО, в которых удельная активность радионуклидов больше значений, приведенных в НРБ-99. При неизвестном радионуклидном составе к РАО следует относить материалы с удельной активностью больше:

100 кБк/кг – для источников бета-излучения;

10 кБк/кг – для источников альфа-излучения;

1 кБк/кг – для трансурановых радионуклидов (химические радиоактивные элементы, расположенные в периодической системе после урана, т.е. с атомным номером больше 92).

Все они получены искусственно, а в природе встречаются лишь  $Np$  и  $Pu$  в чрезвычайно малых количествах).

К **жидким РАО** относятся не подлежащие дальнейшему использованию органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы, в которых удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства при поступлении с водой, приведенные в НРБ-99.

К **газообразным РАО** относятся не подлежащие использованию радиоактивные газы и аэрозоли, образующиеся при производственных процессах с объемной активностью, превышающей допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), приведенные в НРБ-99.

Жидкие и твердые РАО подразделяются по удельной активности на 3 категории: низко-, средне-, высокоактивные.

### ***Классификация жидких и твердых РАО.***

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг		
	бета-излучающие	альфа-излучающие	трансурановые
Низкоактивные	Менее $10^3$	Менее $10^2$	Менее $10^1$
Среднеактивные	От $10^3$ до $10^7$	От $10^2$ до $10^6$	От $10^1$ до $10^5$
Высокоактивные	Более $10^7$	Более $10^6$	Более $10^5$

РАО образуются:

- В процессе добычи и переработки радиоактивного минерального сырья;
- При работе АЭС;
- В процессе эксплуатации и утилизации кораблей с ядерными установками;
- При переработке отработавшего ядерного топлива;
- При производстве ядерного оружия;
- При проведении научных работ с использованием исследовательских ядерных реакторов и делящегося материала;
- При использовании радиоизотопов в промышленности, медицине, науке;
- При подземных ядерных взрывах.

Система обращения с РАО в местах их образования включает их сортировку, упаковку, временное хранение, кондиционирование (концентрирование, отверждение, прессование, сжигание), транспортирование, длительное хранение и захоронение.

Для сбора РАО в организации должны быть специальные сборники. Места расположения сборников должны обеспечиваться защитными приспособлениями для снижения излучения за их пределами до допустимого уровня.

### **Способы обращения с РАО в зависимости от их агрегатного состояния.**

Для временного хранения РАО, создающих у поверхности дозы гамма-излучения более 2 мГр/ч, должны использоваться специальные защитные колодцы или ниши.

Жидкие РАО собираются в специальные емкости, после чего направляются на захоронение. Запрещается сброс жидких РАО в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию, колодцы, скважины, на поля орошения, поля фильтрации и на поверхность Земли.

При ядерных реакциях, происходящих в активной зоне реактора, выделяются радиоактивные газы: ксенон-133, криптон-85, радон-222 и др. эти газы поступают в

фильтр-адсорбер, где теряют свою активность и только после этого выбрасываются в атмосферу. В окружающую среду поступает также некоторое количество  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$ .

РАО, содержащие радионуклиды с периодом полураспада менее 15 суток, собираются отдельно и выдерживаются в местах временного хранения для снижения активности до безопасных уровней, после чего удаляются как обычные промышленные отходы.

**Способы утилизации с РАО в зависимости от их агрегатного состояния.**

<i>РАО</i>	<i>Способ обращения с РАО</i>
<p><i>Газообразные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Инертные газы (ксенон, криптон, аргон);</li> <li>• Тритий;</li> <li>• Диоксид углерода и др.</li> </ul>	<p><i>Газообразные радиоактивные вещества</i> улавливают при пропускании через специальные фильтры. Часть радиоактивных веществ, которая не улавливается фильтрами, рассеивается в атмосфере через вентиляционные трубы на высоте 100 м и более.</p>
<p><i>Жидкие:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокоминерализованные растворы, образующиеся в процессе переработки отработанного топлива;</li> <li>• Вода, применяемая в качестве теплоносителя;</li> <li>• Вода в бассейнах для хранения отработанных ТВЭЛов.</li> </ul>	<p><i>Жидкие РАО</i> концентрируют путем упаривания или осаждают содержащиеся в них радионуклиды в виде труднорастворимых соединений. Полученные радиоактивные продукты направляются на длительное хранение в специально оборудованные хранилища. Для захоронения отходы переводят в твердое состояние посредством</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Цементирования,</li> <li>• Смешивания с химически инертными веществами (битумом, бетоном, полимерами),</li> <li>• Остекловывания (покрытия стеклообразной массой), помещения в пористые керамические материалы.</li> </ul>
<p><i>Твердые:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отработавшее оборудование, использованные фильтры вентиляционных систем;</li> <li>• Загрязненные строительные материалы;</li> <li>• Загрязненная ветошь, спецодежда и др.</li> </ul>	<p><i>Горючие материалы</i> сжигают, собирая золу и очищая газы.  <i>Негорючие материалы</i> прессуют, при этом их объем уменьшается в 3-10 раз. Крупногабаритное оборудование разбирают, разрезают и прессуют. Твердые отходы преимущественно помещают в специальные подземные хранилища.</p>

*Захоронение РАО.*

Существует 2 подхода к захоронению РАО:

*Локальный подход* предполагает захоронение РАО в местах их образования. Это удобно во многих отношениях, но приводит к увеличению размеров опасных зон.

*Региональный подход* предусматривает выбор наиболее подходящих мест для захоронения РАО и создание централизованных хранилищ. Подобный способ стоит

дороже и требует обеспечения безопасности при транспортировке отходов к местам захоронения.

Размещение высокоактивных отходов в глубоких подземных хранилищах является основным способом захоронения отходов. При создании таких хранилищ используют как искусственно созданные защитные барьеры (толстая прочная оболочка емкостей для отходов, изоляция хранилища от окружающей среды с помощью глинистых материалов), так и природные барьеры, уменьшающие возможность выхода радионуклидов в окружающую среду (глинистые, известняковые горизонты, залежи каменной соли, гранитные и другие скальные формации).

Хранилища РАО размещаются глубоко под землей (не менее 300 м), причем за ними устанавливается постоянное наблюдение, т.к. радионуклиды выделяют большое количество тепла.

Подземные хранилища РАО должны быть долговременными, рассчитанными на сотни и тысячи лет. Они размещаются в сейсмически спокойных районах, в однородных скальных массивах, лишенных трещин. Наиболее подходящими для этого являются гранитные геологические комплексы горных массивов, прилегающих к побережью океана. В них удобнее всего сооружать подземные туннели для РАО. Надежные хранилища РАО могут размещаться в многолетнемерзлых породах.

Для облегчения захоронения и надежности жидкие высокоактивные РАО превращают в твердые инертные вещества. В настоящее время основными методами переработки жидких РАО являются цементирование и остекловывание с последующим захоронением в стальные контейнеры, которые хранятся под землей на глубине нескольких сотен метров.

**Захоронение на дне морей и океанов.** Практиковалось многими странами. Первыми это сделали США в 1946 г., затем Великобритания в 1949 г., Япония в 1955 г., Нидерланды в 1965 г.

Регионы земного шара по величине суммарной активности распределяются следующим образом:

- Северная Атлантика – 430 кКи;
- Моря Дальнего Востока – 529 кКи;
- Арктика -700 кКи.

РАО затапливались во впадинах бухт, где течениями и паводковыми водами не затрагиваются эти глубинные слои. Поэтому РАО там «сидят» и никуда не распространяются, а только поглощаются специальными осадками.

Надо также учесть, что РАО с наибольшей активностью законсервированы твердеющими смесями. Но даже если радионуклиды попадут в морскую воду, они сорбируются данными осадками в непосредственной близости от объекта затопления.

Наиболее часто обсуждаемой возможностью для захоронений РАО является использование захоронений в глубоком бассейне, где средняя глубина составляет не менее 5 км. Глубоководное скалистое дно океана покрыто слоем отложений, и неглубокое погребение под десятками метров отложений может быть получено простым сбрасыванием контейнера за борт. Глубокое погребение под сотнями метров отложений потребует бурения и закладки отходов. Отложения насыщены морской водой, которая через десятки или сотни лет может разесть (в результате коррозии) канистры с топливными элементами из использованного топлива. Однако предполагается, что сами отложения адсорбируют выщелоченные продукты деления, препятствуя их проникновению в океан. Расчеты последствия крайнего случая разрушения оболочки контейнера сразу после попадания в слой отложений, показали, что диспергирование топливного элемента, содержащего продукты деления, под слоем отложений случится не ранее чем через 100-200 лет. К тому времени уровень радиоактивности упадет на несколько порядков.

**Окончательное захоронение в соляных отложениях.** Соляные отложения являются привлекательными для долговременных захоронений РАО. Тот факт, что соль находится в твердой форме в геологическом слое, свидетельствует об отсутствии циркуляции грунтовых вод с момента его образования несколько сот миллионов лет назад. Таким образом, топливо, помещенное в таком отложении, не будет подвергаться выщелачиванию грунтовыми водами. Соляные отложения такого типа встречаются очень часто.

**Геологическое захоронение.** Подразумевает размещение контейнеров, содержащих отработанные топливные элементы, в стабильном пласте, обычно на глубине 1 км. Можно допустить, что такие породы содержат воду, т.к. глубина их залегания значительно ниже зеркала грунтовых вод. Однако ожидается, что вода не будет играть большой роли при теплопередаче от контейнеров, поэтому хранилище должно быть спроектировано с учетом возможности поддержания температуры поверхности канистр не более чем  $100^{\circ}\text{C}$  или около того.

Тем не менее, присутствие грунтовых вод означает, что материал, выщелоченный из хранящихся блоков, может проникнуть через пласт с водой. Циркуляция воды через породу в течение длительного времени важна для определения миграции продуктов деления. Этот процесс очень медленный, и поэтому не ожидается, что от него будут серьезные неприятности. Однако для систем долговременного захоронения он должен быть обязательно принят во внимание.

#### **Контрольные вопросы.**

1. Дать классификацию РАО.
2. На какие категории по удельной активности подразделяются РАО?
3. В результате чего образуются РАО?
4. Какие действия включает система обращения с РАО в местах их образования?
5. Какие способы утилизации с РАО в зависимости от их агрегатного состояния Вам известны?
6. Раскрыть основные подходы захоронения РАО.
7. Специфика захоронения РАО на дне морей и океанов.
8. В чем привлекательность захоронения РАО в соляных отложениях?
9. Что подразумевает геологическое захоронение?

#### **Урок 9 Тема 2.6: Принципы работы радиометрической аппаратуры.**

##### **План:**

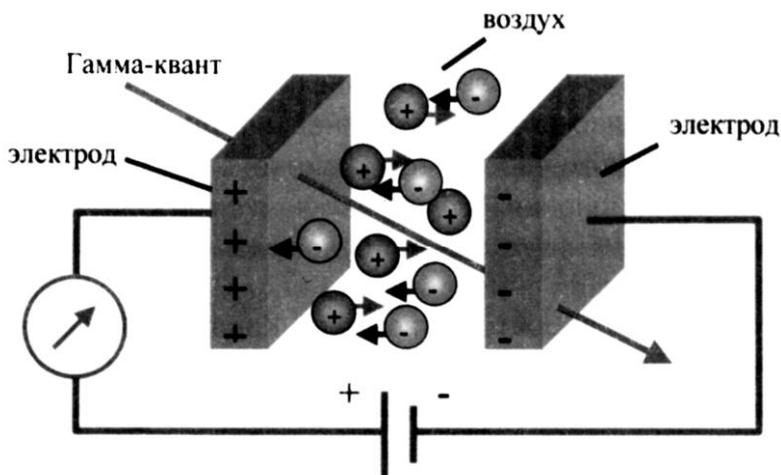
1. *Ионизационные детекторы.*
2. *Полупроводниковые детекторы.*
3. *Сцинтилляционные детекторы.*

Любой радиометрический прибор имеет в качестве основной части детектор (счетчик), подающий в усилительно-измерительную схему сигналы о поступлении ионизирующих частиц или гамма-квантов. Существуют ионизационные, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы.

##### **Ионизационные детекторы.**

Самым простым устройством этого типа является **ионизационная камера**. Она представляет собой воздушный конденсатор, состоящий из двух металлических пластин, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, к которым приложена разность потенциалов. В сеть включен гальванометр (вольтметр). В отсутствие радиации тока в

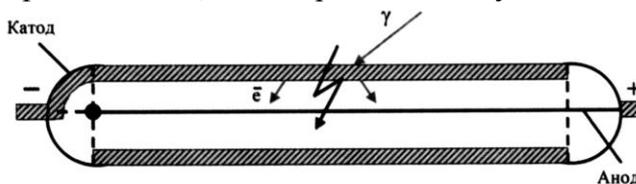
цепи не будет, поскольку воздух является изолятором. Радиоактивные частицы, попав внутрь конденсатора, ионизируют воздух, превращая его в проводник электричества. Сила тока измеряется гальванометром. Между силой тока ( $J$ ) и количеством образовавшихся пар ионов ( $N$ ) существует прямая зависимость:  $J=N \cdot e$ , где  $e$  – заряд иона.



*Схема работы ионизационной камеры.*

По силе тока определяется интенсивность излучения. В зависимости от типа излучения ионизационные камеры имеют те или иные особенности.

**Счетчик Гейгера-Мюллера** представляет собой герметичный баллон (трубку), заполненный газовой смесью из аргона и спирта с добавкой галоидов. По оси трубки натянута нить, служащая в качестве анода. Катодом является внутренне металлическое покрытие баллона. На электроды подается высокое напряжение постоянного тока (400-1000 В). При попадании внутрь баллона бета-частиц или электронов, выбитых из стенок счетчика гамма-лучами происходит ионизация газа. В результате между электронами возникает лавина ионов и происходит кратковременный электрический разряд. В цепи счетчика регистрируется импульс напряжения. Чувствительность счетчиков зависит в первую очередь от материала катода, из которого гамма-лучи выбивают электроны.



*Счетчик Гейгера-Мюллера*

Счетчик Гейгера-Мюллера – весьма чувствительное устройство, позволяющее регистрировать каждую заряженную частицу или гамма-квант.

### Полупроводниковые детекторы.

Они сходны с ионизационными, но роль ионизационной камеры в этом случае выполняют твердые полупроводники.

**Полупроводники** – это кристаллические вещества, электропроводность которых при обычной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов и диэлектриков. Под действием радиоактивных частиц в полупроводниковых детекторах происходит переход электронов из валентной зоны в зону проводимости. В результате образуются свободные носители зарядов: электроны ( $n$  – проводимость) и ( $p$  – проводимость). Под действием внешнего электрического поля, приложенного к

полупроводнику, электроны и дырки притягиваются к соответствующим электродам, обуславливая накопление заряда. Последний дает импульс напряжения, который подается в усилительно-измерительную схему прибора.

В качестве полупроводника в радиометрических приборах чаще всего применяют монокристаллы германия. С его помощью регистрируют высокоэнергетические гамма- и бета-лучи. Для регистрации альфа-частиц, низкоэнергетических гамма-квантов и рентгеновских лучей используют кремниевые детекторы (монокристаллы кремния).

В противоположность металлам, у которых электропроводность уменьшается с ростом температуры, у полупроводников с увеличением этого параметра электропроводимость резко возрастает. Поэтому многие из полупроводниковых материалов требуют сильного охлаждения при работе, что усложняет устройство приборов, их эксплуатацию и удорожает их стоимость.

К материалам, которые могут работать при обычных температурах, относятся теллурид кадмия, арсенид галлия и йодид ртути, которые уже используются в самых современных радиометрах и спектрометрах. Поскольку плотность полупроводниковых материалов намного выше плотности газов, то энергия поглощаемых частиц в них используется полнее, чем в ионизационных камерах. Поэтому полупроводниковые детекторы обладают очень высокой разрешающей способностью.

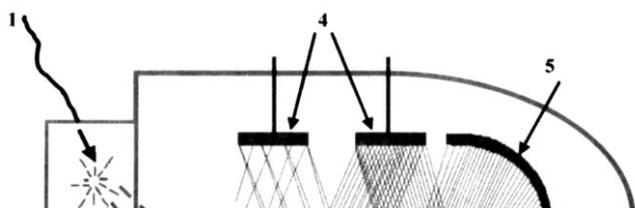
### Сцинтилляционные детекторы.

Сущность работы сцинтилляционного счетчика заключается в регистрации вспышек **люминесценции**, возникающих в некоторых кристаллах, органических жидкостях или пластмассах при попадании в них заряженных частиц или гамма-квантов.

Вспышки в кристалле фиксируются **фотокатодом** и в цепи возникает импульс электрического тока.

Однако, сами по себе вспышки могут быть очень слабыми. Для их фиксации применяются **фотоэлектронные умножители (ФЭУ)**. Они представляют собой вакуумные электронные приборы с системой умножения электронов, выбитых световой вспышкой с поверхности фотокатода. Умножительная система состоит из нескольких последовательно расположенных **динодов** (эмиттеров), покрытых специальным слоем. Электроны, бомбардирующие диоды, выбивают из них вторичные электроны, количество которых минимум в 2 раза превышает число первичных электронов. Таким образом, каждый последующий динод увеличивает количество электронов. С последнего динода в усилительно-измерительную схему прибора поступает лавина электронов. Благодаря ФЭУ сцинтилляционные счетчики обладают гораздо большей чувствительностью по сравнению с газонаполненными счетчиками.

Для регистрации альфа-частиц в качестве сцинтилляторов (люминофоров) применяют тонкий слой сернистого цинка, а регистрация бета-частиц осуществляется с помощью кристаллов антрацена, стильбена, а также сцинтиллирующих пластмасс. При регистрации гамма-квантов используются монокристаллы йодистого натрия и йодистого цезия, активизированного таллием.



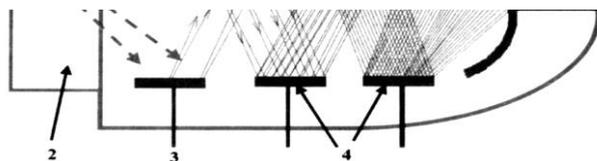


Схема фотоэлектронного умножителя:

1 – гамма-квант; 2 – кристалл-люминофор; 3 – фотокаатод; 4 – эмиттеры (диноды); 5 – коллектор.

### Контрольные вопросы.

1. Какие детекторы существуют?
2. Схема работы ионизационных детекторов.
3. Принцип действия счетчика Гейгера-Мюллера.
4. Схема работы полупроводниковых детекторов.
5. В чем заключается сущность работы сцинтилляционного счетчика?
6. Схема работы фотоэлектронного умножителя.

## Урок 10 Тема 2.7: Методы радиометрии. Лабораторные методы.

### План:

1. Методы и средства регистрации радиоактивного излучения.
2. Методы радиометрии. Лабораторные методы.

### Методы и средства регистрации радиоактивного излучения.

Регистрация радиоактивного излучения производится по эффектам его воздействия на вещество.

Основными методами регистрации являются:

7. **Фотографический метод**, самый первый метод, который позволил А. Беккерелю открыть явление радиоактивности. Основан на воздействии радиоактивного излучения на фоточувствительные материалы (по принципу воздействия световых квантов на фотопластину).
8. **Ионизационный метод**, основанный на измерении степени ионизации газов, либо по образованию электронно-дырочных пар в твердых телах. Для измерения используются электроскопы, ионизационные камеры (камера Вильсона и др.), газоразрядные счетчики (счетчики Гейгера-Мюллера и т.д.), полупроводниковые счетчики на основе кремния, германия и т.д. Это один из самых широко распространенных методов измерения радиоактивного излучения. С его использованием создано большое количество разных типов аппаратуры.
9. **Люминесцентный метод** обусловлен возникновением свечения под влиянием какого-либо воздействия (фотолюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, триболюминесценция, термолюминесценция и т.д.). Возникновение и интенсивность свечения обусловлены накоплением энергии при взаимодействии излучения с веществом. Для регистрации радиоактивного излучения используются сцинтилляционные детекторы различных типов, в которых в результате попадания альфа-, бета – частиц и  $\gamma$  – квантов возникают световые вспышки разной интенсивности, продолжительности и т.д., которые регистрируются фотодетектором (фотодиод, фотоумножитель и т.д.). Существуют твердотельные (ZnS, активированный Ag; NaI, активированный Tl и т.д.), жидкостные, газовые (ксенон и др.) детекторы. Это также один из самых широко применяемых методов регистрации радиоактивного излучения.

10. **Оптический метод** реализуется на эффекте изменения оптических свойств материалов под воздействием радиоактивного излучения. Для этих целей используются различные типы стекол (фосфатные, борные, активированные Ag либо Bi и т.д.), полимерные материалы (цветной целлофан, ацетил целлюлоза и т.д.). На этом методе создана аппаратура для измерения радиационных полей высокой интенсивности. Интенсивность почернения прямо пропорциональна дозе радиоактивного излучения. На этом принципе работают многие типы индивидуальных дозиметров. Этот метод широко используется в лабораторных исследованиях радиоактивных веществ, для их обнаружения и пространственной локализации (различные виды макро – и микрорадиографии).
11. **Калориметрический метод** измерения радиоактивности основан на измерении тепла, выделяемого при радиоактивном распаде или при взаимодействии излучения с веществом. Метод применяется сравнительно редко, но на его основе созданы приборы для градуировки дозиметров, измерения мощных потоков гамма- и нейтронного излучения в реакторной дозиметрии, где они имеют преимущество по сравнению с ионизационным и другими методами, так как не зависят от энергетических характеристик излучения.
12. **Химические методы** основаны на изменении химического состава жидкостей или газов при взаимодействии с радиоактивным излучением. Типичными примерами такой реакции является радиолитиз воды с образованием  $H^+$  и  $OH^-$  или разложение закиси азота ( $N_2O$ ) с образованием  $N_2$ ,  $O_2$  и  $NO_2$ . На этом принципе созданы жидкостные (ферросульфатные и др.), газовые химические дозиметры для измерения мощных потоков  $\gamma$  –квантов.

Количественные и качественные характеристики радиоактивного излучения, основанные на тех или иных методах регистрации, измеряются радиометрами, дозиметрами, спектрометрами и спектрометрическими комплексами.

*Радиометр* – прибор для измерения числа актов радиоактивного распада в единицу времени (активности). Определяет плотность потока ионизирующих излучений и т.д. При измерении мощности экспозиционной дозы фотонного излучения, функции радиометра и дозиметра совпадают.

*Дозиметр* – устройство для измерения доз радиоактивного излучения или величин, связанных с дозами (мощность экспозиционной дозы, мощность поглощенной дозы и т.д.). Могут служить для измерения доз одного (гамма-дозиметр, нейтронный дозиметр и т.д.), либо смешанного излучения (гамма-бета дозиметр и т.д.).

*Спектрометр* – устройство, которое позволяет измерять распределение радиоактивного излучения по энергии (гамма-, альфа-спектрометры и т.д.), массе и заряду (масс-спектрометры и т.д.).

Гамма-спектрометр, например, позволяет выявить в смеси  $\gamma$ -излучающих радионуклидов по характерной энергии присутствие конкретных радиоизотопов. Так, торий определяется по энергии  $\gamma$ -квантов дочернего изотопа  $^{208}Tl$  с энергией 2,165 Мэв,  $^{40}K$  -1,46 Мэв, а  $^{137}Cs$  – по энергии 0,662 Мэв и т.д.

Существует большое количество типов и моделей радиометрического, дозиметрического и спектрометрического оборудования.

Данная аппаратура может быть переносной (габариты и масса позволяют носить одному человеку), передвижной (автомобильные, вертолетные и спутниковые варианты), стационарной.

Она может быть подразделена и по функциональному назначению: измерение радиоактивности газов и аэрозолей; измерение радиоактивности жидких и сыпучих материалов; измерение радиоактивного загрязнения поверхностей; индивидуальные средства измерения, постоянно носимые человеком.

Приборы могут иметь одно- и многофункциональное назначение.

### Методы радиометрии. Лабораторные методы.

В основе радиометрических методов лежит измерение радиоактивности естественных и искусственных радионуклидов по интенсивности  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучения. Методы радиометрии подразделяются на лабораторные и полевые.

Лабораторные методы основаны на использовании ионизационных и импульсных  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -измерений, позволяющих непосредственно определить общую и удельную радиоактивность исследуемых проб почвы, воды, воздуха, донных отложений, растений, продуктов питания, стройматериалов и др. особое значение придается лабораторным методам определения удельной и объемной активности каждого радионуклида в отдельности. Для этого используют спектры  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - частиц.

**Гамма – спектры.** Радиоактивное ядро является квантовой системой, которая может занимать различные энергетические уровни (состояния) в зависимости от степени возбуждения ядра. Обычное состояние ядра называют **основным**, а остальные – **возбужденными**. Чтобы перевести ядро из основного состояния в возбужденное, необходимо передать ему определенную порцию энергии (квант). У каждого ядра имеется своя схема *энергетических уровней*. Обычно ядро не может долго находиться в возбужденном состоянии и скачками переходит на более низкие энергетические уровни. При каждом переходе с вышележащего уровня на более низкий, испускается  $\gamma$  –квант, энергия которого строго соответствует энергии этого возбужденного состояния. Время жизни ядра в возбужденном состоянии очень мало. Оно колеблется в пределах  $10^{-17}$ - $10^{-9}$  с. Довольно часто (особенно при  $\beta$ -распаде) дочерние ядра рождаются минуя энергетические уровни возбужденного состояния. В этом случае  $\gamma$  –кванты не выделяются. Но в большинстве случаев, при  $\alpha$ -,  $\beta$ -распаде нестабильных ядер, последние не сразу достигают нижнего уровня, соответствующего основному энергетическому состоянию дочернего ядра. При этом ядро может перейти в основное состояние с любого энергетического уровня, испуская  $\gamma$  –кванты строго определенных энергий, соответствующих каждому конкретному уровню. В результате этого детектор  $\gamma$  –квантов радиометрических приборов регистрирует целый спектр фотонов разных энергий. Энергии переходов ядер с энергетических уровней в основное состояние очень велики. Поэтому спектр  $\gamma$  –квантов представляет собой кривую, среди которой резко возвышаются узкие пики, соответствующие переходам дочернего ядра из разных возбужденных состояний на основной (нулевой) уровень. Высота этих пиков отражает относительную интенсивность  $\gamma$  –квантов каждой группы.

Каждый радионуклид имеет свой спектральный состав  $\gamma$  –излучения. На этом основан гамма-спектрометрический метод идентификации радиоизотопов.

**Бета-спектры.** При  $\beta$ -распаде из ядра вылетают 2 частицы – *позитрон (или электрон) и нейтрино (или антинейтрино)*. При этом энергия  $\beta$ -частиц может быть самой различной. Объясняется это тем, что распределение освобождающейся энергии распада между  $\beta$ -частицей и нейтрино носит статистический характер и может быть самым различным. В результате этого  $\beta$ -частица может вооружиться любой энергией – от первых единиц МэВ до нуля. Поэтому энергетические спектры  $\beta$ -частиц не состоят из узких пиков, как у  $\gamma$  –спектров, а представляют собой плавные кривые.

**Альфа – спектры.**  $\alpha$ -частицы, вылетающие из ядер определенного химического элемента, обычно владеют почти одинаковой энергией, различающейся менее, чем на 1 эВ. Поэтому энергетический спектр  $\alpha$ -распада имеет 1 очень узкий пик. Лишь иногда спектры  $\alpha$ -частиц состоят из серии близко расположенных пиков. В последнем случае  $\alpha$ -распад сопровождается  $\gamma$ - излучением.

### Контрольные вопросы.

1. Перечислить основные методы регистрации радиоактивного излучения.

2. Какими средствами измеряются количественные и качественные характеристики радиоактивного излучения?
3. На чем основаны лабораторные методы радиометрии?
4. Принцип действия гамма-спектров?
5. Принцип действия альфа- и бета-спектров?

## Урок 11 Тема 2.8: *Экологическое картографирование загрязненных территорий.*

### План:

1. *Понятие об экологическом картографировании.*
2. *Классификация экологических карт.*

### *Понятие об экологическом картографировании.*

Планирование и проведение природоохранных мероприятий требует не только наличия объективной информации об экологической обстановке исследуемой территории, но и ее представления в наглядном и понятном виде. В настоящее время картографический метод познания становится одним из важнейших методов изучения состояния биосферы и ее отдельных компонентов. Его применение способствует более рациональному планированию дальнейших экологических исследований. Поэтому изучение и планирование природоохранной и природопользовательской деятельности без соответствующего картографического обеспечения нерационально и затруднительно.

*Экологическое картографирование* – разрабатывает методы и технологии объективного, информативного и наглядного отображения результатов взаимодействий в системе «Человек-природа». *Целью* этой научной дисциплины является обобщение всей интересующей экологической информации, ее территориальная привязка и представление в наиболее удобной для анализа и сравнения форме. Основной продукцией экологического картографирования являются экологические карты, отражающие структуру и остроту экологических проблем в пределах конкретных территориальных единиц. Назначение этих карт состоит в содействии решению сформировавшихся на картографируемой территории экологических проблем и предотвращение появления новых. Такие карты используются специалистами экологических комитетов, санитарно-эпидемиологического надзора, природоохранных научно-исследовательских организаций в качестве научно-справочных пособий при принятии конкретных решений по улучшению качества окружающей среды.

### *Классификация экологических карт.*

По приемам исследования *экологические карты* могут быть подразделены на аналитические (отраслевые), синтетические (интегральные) и комплексные.

*Аналитические*, или *отраслевые экологические карты* в настоящее время распространены наиболее широко. Они характеризуют текущее состояние отдельных компонентов окружающей среды. Тематика таких карт весьма разнообразна: сюда входят карты загрязнения промышленными отходами отдельных рек и озер, карты загрязненности почв, геолого-экологические карты и т. Д. Каждая отдельно взятая отраслевая экологическая карта, в соответствии со своей темой, подробно или обобщенно отображает экологическое состояние одного какого-либо компонента природной среды.

Примерами таких карт является большинство карт «Атласа химического и радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв, снежного покрова, атмосферных осадков в г. Новосибирске за 1992 г. И 1980-1992 гг.»

**Синтетические**, или **интегральные экологические карты** отображают результаты экологического зонирования территории по степени опасности загрязнения для здоровья местного населения или по степени нарушенности окружающей среды. Основным содержанием подобных карт является некоторый комплексный показатель степени опасности загрязнения картографируемой территории, который, в свою очередь, разрабатывается на основании суммарной оценки опасности каждого экологического фактора, действующего в пределах картографируемой территории.

**Комплексные экологические карты** позволяют одновременно отобразить все источники экологической опасности на данной территории, оценить их воздействие на окружающую среду, проанализировать сложившуюся экологическую обстановку и сделать выводы для принятия конкретных мер по охране окружающей среды. Комплексный характер этих карт обуславливается самой природой экологического картографирования, в основе которого лежит сочетание теоретических понятий, методов и практических приемов таких направлений, как природоохранное, медико-географическое, рекреационное картографирование, картографирование природопользования и пр. Создание таких карт является одной из важнейших задач современного экологического картографирования.

Экологические карты могут составляться в различных *масштабах*.

**Мелкомасштабные экологические карты** отображают общую экологическую обстановку больших по площади территорий (страны в целом, географических районов, крупных административных субъектов, совокупности отдельных административных единиц). Они служат информационной базой для обоснования и разработки генеральных природоохранных мероприятий на обширных территориях.

**Среднемасштабные**, или **региональные экологические карты** отображают текущее экологическое состояние отдельных административных единиц (краев, областей, районов области). В настоящее время региональные экологические карты являются наиболее востребованными, так как позволяют решать весьма широкий круг задач:

- 1) выявление основных техногенных объектов и факторов, отрицательно влияющих на окружающую среду в пределах картографируемого региона;
- 2) обоснование конкретных мероприятий по охране и рациональному использованию природной среды данного региона;
- 3) поведение экологического районирования территории региона по степени опасности техногенного загрязнения для окружающей среды и здоровья местного населения;
- 4) прогнозирование в региональных масштабах основных тенденций развития отрицательных экологических процессов, вызванных производственной деятельностью местного населения.

**Крупномасштабные экологические карты** отображают наиболее загрязненные и наиболее опасные в экологическом отношении небольшие по площади территории (крупные промышленные центры, городские агломерации, бассейны добычи полезных ископаемых и пр.).

#### **Контрольные вопросы.**

1. Что является целью экологического картографирования?

2. Дать классификацию экологических карт.
3. Что характеризуют аналитические карты?
4. Что отображают синтетические карты?
5. Что представляют собой комплексные экологические карты?
6. Что отображают мелкомасштабные и крупномасштабные экологические карты?
7. Что отображают среднемасштабные и региональные экологические карты?

### РАЗДЕЛ 3.

#### Организация и проведение радиационного контроля на действующих радиационных объектах.

##### Урок 12 Тема 3.1: Радиозэкологический мониторинг.

###### План:

1. *Передвижные радиометрические лаборатории.*
2. *Радиационный мониторинг почв.*
3. *Радиационный мониторинг водотоков и водоемов.*
4. *Радиационный мониторинг атмосферного воздуха.*

###### Передвижные радиометрические лаборатории.

Обеспечение радиационной безопасности населения требует проведения постоянного радиационного мониторинга в местах его проживания. Для радиационного контроля внешней среды на больших территориях целесообразно использовать передвижные радиометрические лаборатории, смонтированные на автомобилях, вездеходах, вертолетах. Они укомплектованы как стационарными средствами измерения, так и переносными приборами. Такие мобильные лаборатории позволяют проводить мониторинг в отдаленных населенных пунктах, промышленных площадках и в местах проведения ядерных взрывов. С помощью таких лабораторий можно периодически оперативно измерять следующие параметры радиационной обстановки:

- а) мощность дозы гамма-излучения на открытой местности, в жилых и общественных зданиях и производственных помещениях;
- б) поверхностную активность техногенных радионуклидов в почве;
- в) удельную альфа- и бета-активность радионуклидов в воде поверхностных источников и источников питьевого водоснабжения;
- г) удельную активность техногенных радионуклидов в пищевых продуктах;
- д) содержание изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов в воздухе жилых и производственных помещений;
- е) содержание радионуклидов в стройматериалах.

Поверхностное радиоактивное загрязнение почвы измеряется полевым гамма-спектрометром с диапазоном регистрируемых энергий 30-3 000 кэВ, снабженным средствами пробоотбора.

Передвижная лаборатория оснащается стандартными средствами пробоотбора воды и емкостями для хранения отобранных проб весом 20 литров каждая, а также средствами для выпаривания воды.

Для определения суммарной бета-активности в атмосферном воздухе передвижная радиометрическая лаборатория оснащается установкой для прокачки воздуха через аэрозольные фильтры с производительностью не менее 10 м<sup>3</sup>/ч с контролем объема прокачиваемого воздуха и средствами для оперативной оценки суммарной бета-активности проб.

Объемная активность радона в воздухе помещений и короткоживущих продуктов его распада измеряется приборами мгновенного действия.

Все точки контроля привязываются к местности с помощью спутниковой системы определения координат.

Передвижная лаборатория оснащается системой электропитания напряжением 220 В и бортовым персональным компьютером.

#### Радиационный мониторинг почв.

Программа *радиационного мониторинга почвы* должна включать:

- Измерение поверхностной активности цезия-137 в пробах почв, отобранных в контрольных точках. Последние должны располагаться на целинных участках местности вблизи мест проживания или хозяйственной деятельности людей. Кроме того, выбираются точки отбора проб вблизи потенциальных загрязнителей местности: участков проведения подземных ядерных взрывов, площадей нефтедобычи, хранилищ РАО и т.д.

- Измерение удельной активности естественных радионуклидов (калия-40, радия-226, тория-232) в пробах почв, отобранных в контрольных точках.

Контрольные точки на сельхозугодьях выбираются таким образом, чтобы были опробованы все типы почв, как на лугах, так и на пахотных участках.

#### Радиационный мониторинг водотоков и водоемов.

Радиационный мониторинг открытых водоемов преследует следующие цели:

- Информацию о поступлении на контролируемую площадь техногенных радионуклидов с водой рек, поступающей с определенных территорий.

- Сведения о содержании техногенных радионуклидов, находящихся вблизи потенциальных загрязнителей.

- Информацию о содержании в открытых водоемах природных радионуклидов.

Пробы воды отбираются в контрольных точках, охватывающих основные реки вблизи пересечения ими контролируемой территории, а также основные озера в зависимости от степени их хозяйственного использования. Особое внимание уделяется озерам и водотокам, находящимся вблизи потенциальных загрязнителей.

Радиационный мониторинг водоемов должен включать:

- Измерение объемной активности цезия-137, стронция-90 и других техногенных радионуклидов, список которых уточняется в зависимости от типа загрязнителя.

- Измерение удельной суммарной альфа- и бета-активности и удельной активности природных радионуклидов в пробах воды. Пробы, в которых обнаружено превышение допустимого уровня активности радионуклидов в питьевой воде (0,1 Бк/кг для альфа-активности и 1,0 Бк/кг для бета-активности), подвергаются полному анализу на содержание природных радионуклидов радиохимическими методами.

Точки отбора проб в реках должны располагаться выше места поступления в реку сточных вод и ниже места их спуска, а затем в ряде населенных пунктов с постепенным удалением от источника загрязнения. При наличии течения пробы отбираются на быстринах, перекатах, водосборах, водоспусках. В реках шириной менее 100 м пробы отбираются посередине и на расстоянии 1-2 м от берегов. На более широких реках отбор проб производят через каждые 100 м и у берегов. На реках, глубина которых не превышает 3 м, пробы отбирают на глубине 0,3-0,5 м. На более глубоких реках пробы отбирают через каждые 2 м глубины.

В озерах и прудах рекомендуется отбирать пробы возле устья реки или ручья, питающего водоем, у истока реки, вытекающей из озера, а также в месте спуска сточных вод. Периодичность отбора проб – до 4 раз в год (в период зимней межени, весной в паводок, в период летней межени и осенью перед ледоставом). В случае присутствия в воде искусственных радионуклидов – трития, йода, цезия, стронция и др. определяется их удельная активность.

### Радиационный мониторинг атмосферного воздуха.

Радиационный мониторинг атмосферного воздуха преследует следующие цели:

- Установление средних значений удельной активности долгоживущих природных и техногенных радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха.
- Установление максимальных значений удельной активности атмосферного воздуха и локализацию таких участков.
- Установление содержания долгоживущих природных бета-активных радионуклидов в атмосферном воздухе на территории населенных пунктов.

Программа радиационного мониторинга атмосферного воздуха должна включать измерение объемной активности цезия-137, стронция-90, трития и суммарной бета-активности в пробах атмосферного воздуха, отобранных в контрольных точках. Контрольные точки должны выбираться вблизи мест проживания или хозяйственной деятельности людей в основных населенных пунктах.

Измерение суммарной бета-активности атмосферного воздуха проводят 1 раз в год летом в жаркую сухую погоду. Воздух прокачивают через фильтр, задерживающий все аэрозольные фракции.

Сеть контрольных точек для проведения мониторинга должна быть составлена заранее. Для каждой точки готовится подробное описание с привязкой к местности и географическим координатам. По каждой точке ведется паспорт с результатами измерений за все годы.

Радиационный мониторинг должен проводиться с помощью поверенных приборов по аттестованным методикам. Для определения гамма-фона на открытой местности рекомендуется использовать дозиметры со сцинтилляционными счетчиками, обладающие наименьшей величиной нулевого фона (ДКС-1117А; ДКС-1119С; ДКС-АТ1121) и радиометры СРП-88 Н. все измерения проводятся при размещении датчика гамма-дозиметра на высоте 1 м над поверхностью земли. Чтобы избежать эффект экранирования датчика телом радиометриста, датчик рекомендуется держать в вытянутой руке. При проведении измерений в населенных пунктах расстояние от прибора до ближайшего здания должно быть не менее 30 м. при проведении измерений мощности дозы гамма-излучения на уровне естественного фона погрешность может быть значительной. Чтобы избежать этого, необходимо производить не менее 6-20 измерений на каждой точке наблюдений, а затем вычислять среднее значение.

### Контрольные вопросы.

1. Какие лаборатории целесообразно использовать для радиационного контроля на больших территориях?
2. Какие параметры радиационной обстановки можно измерять с помощью передвижных радиометрических лабораторий?
3. Какими стандартными средствами оснащается передвижная лаборатория?
4. Что включает в себя программа радиационного мониторинга почвы?
5. Какие цели преследует радиационный мониторинг водоемов?
6. Какие цели преследует радиационный мониторинг атмосферного воздуха?

## Урок 13 Тема 3.2: Принципы нормирования в области радиационной безопасности.

### План:

1. *Принципы радиоэкологического нормирования.*
2. *Нормативный акт «НРБ-99».*
3. *Нормативный акт «ОСПОРБ-99».*

### Принципы радиоэкологического нормирования

**Нормирование** предполагает установление некоторых допустимых уровней облучения людей, выше которых ущерб, наносимый облучением человеку, становится неприемлемым.

Обеспечение радиационной безопасности основывается на 3 принципах:

*Принцип нормирования* – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения.

*Принцип обоснования* – запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением.

*Принцип оптимизации* – поддержание на возможно низком и достижимом уровне, с учетом экономических и социальных факторов, индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц.

Для нормальных условий работы источников излучения установлены 3 категории облучаемых лиц: персонал, подразделяемый на группы А и Б, и население, которое включает и лиц из персонала, но вне сферы их производственной деятельности.

Устанавливают 3 класса нормативов:

*Основные пределы доз* – для персонала и населения. Для персонала группы Б основные пределы доз равны  $\frac{1}{4}$  значений персонала группы А. ( $B < A$ )

Эффективная и эквивалентная дозы характеризуют отдаленные последствия облучения организма человека: *эффективная* для организма в целом; *эквивалентная* для отдельных органов или тканей.

*Годовая эффективная (эквивалентная) доза* – это сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением за этот же год в организм радионуклидов.

*Коллективная эффективная доза* – это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных коллективных доз; измеряется в человеко-зивертах (чел.-Зв.)

*Контрольные уровни* (дозы, уровни, активности, плотности потоков и т.д.). их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Для реализации принципа радиационной безопасности производится государственное нормирование путем установления санитарных правил, норм, гигиенических нормативов, правил радиационной безопасности, государственных стандартов, инструктивных и методических документов по радиационной безопасности. Все эти нормативы утверждаются Минздравом РК.

### Нормативный акт «НРБ-99».

Основным нормативным актом являются **«Нормы радиационной безопасности – 99» (НРБ-99)**. В них указаны допустимые уровни воздействия ионизирующего излучения

на человека. Никакие другие нормативные и методические документы не должны противоречить требованиям НРБ-99. Требования, установленные НРБ-99, являются обязательными для всех лиц.

Требования НРБ-99 не распространяются на источники излучения, создающие при обращении с ними:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв;
- коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв, либо когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы.

Требования НРБ-99 не распространяются на космическое излучение на поверхности Земли и внутренне облучение человека, создаваемое природным калием, на которые невозможно влиять.

Государственным нормированием устанавливаются следующие основные допустимые пределы доз облучения на территории РК в результате использования источников ионизирующего излучения:

- для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 Зв или эффективная доза за период жизни (70 лет) – 0,07 Зв; в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за 5 последовательных лет, не превысит 0,001 Зв.
- для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 Зв или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 Зв; допустимо облучение в годовой эффективной дозе до 0,053Зв при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за 5 последовательных лет, не превысит 0,02 Зв.

Регламентированные значения основных пределов доз облучения включают не в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами при проведении медицинских, рентгенологических процедур и лечения.

#### Нормативный акт «ОСПОРБ-99».

Другим важным документом, устанавливающим требования по защите людей от радиационного воздействия источников ионизирующего излучения, являются «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности – 99» (ОСПОРБ-99). Они содержат общие требования к контролю за радиационной безопасностью, регламентируют радиационную безопасность населения и персонала при эксплуатации техногенных источников излучения, при воздействии природных источников излучения, радиационную безопасность пациентов и населения при медицинском облучении, радиационных авариях и т. Д.

Согласно ОСПОРБ-99 источники ионизирующего излучения подлежат обязательному учету и контролю. От радиационного контроля освобождаются:

- Электрофизические устройства, генерирующие ионизирующее излучение с максимальной энергией не более 5 кэВ;
- Другие электрофизические устройства, генерирующие ионизирующее излучение, в условиях нормальной эксплуатации которых мощность эквивалентной дозы в любой доступной точке на расстоянии 0,1 м от поверхности аппаратуры не превышает 1,0 мкЗв/ч.

Организациям осуществляющим деятельность в области обращения с источниками ионизирующего излучения, необходимо иметь специальное обращение (лицензию) на право проведения этих работ. Разрешение на работу с источниками излучения не требуется в случае, если:

- на рабочем месте удельная активность радионуклида меньше минимально значимой удельной активности (МЗУА), или активность радионуклида в открытом источнике излучения меньше минимально значимой активности (МЗА), или сумма отношений активности отдельных радионуклидов к их табличным значениям меньше 1;

- в организации общая активность радионуклидов в открытых источниках излучения не превышает более чем в 10 раз МЗА или сумму отношений активности разных радионуклидов к их табличным значениям;

- мощность эквивалентной дозы в любой точке, находящейся на расстоянии 0,1 м от поверхности закрытого радионуклидного источника излучения, не превышает 1,0 мкЗв/ч над фоном. При этом должна быть обеспечена надежная герметизация находящихся внутри устройства радиоактивных веществ, а его нормативно-техническая документация иметь санитарно-эпидемиологическое заключение.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что предполагает радиоэкологическое нормирование?
2. На каких принципах основывается радиационная безопасность?
3. Какие классы нормативов устанавливаются для персонала и населения?
4. Нормативный акт «НРБ-99», основные положения?
5. Нормативный акт «ОСПОРБ-99».

## **Урок 14 Тема 3.3: *Биологическое действие ионизирующих излучений.***

### **План:**

1. *Источники радиации.*
2. *Влияние излучений на живые организмы.*
3. *Лучевая болезнь человека.*
4. *Биологическое действие радионуклидов, попавших внутрь организма.*

### **Источники радиации.**

Живые организмы подвергаются воздействию естественных и искусственных радиоактивных источников.

К первым относятся природные радионуклиды, содержащиеся в атмосфере, гидросфере, литосфере. Основная масса естественных источников радиации земного происхождения и лишь частично – космического.

Природными источниками ионизирующего излучения являются радионуклиды семейств урана-радия и тория, калия-40.

Основную долю население получает от естественных источников излучения. Наибольший вклад в суммарную дозу облучения населения создает ингаляция изотопов радона и их дочерних продуктов, находящихся в воздухе помещений и в атмосферном воздухе.

На дозу облучения от природных источников существенно влияют три составных компонента: 1) внешнее гамма - излучение природных радионуклидов; 2) изотопы радона в воздухе помещений; 3) природные радионуклиды, содержащиеся в пище и питьевой воде.

Внешнее облучение формируется за счет гамма-излучения, обусловленного природными радионуклидами, содержащимися в объектах внешней среды, а также за счет космического фотонного излучения. Обе эти составляющие определяют естественный радиационный фон, обычная мощность дозы которого колеблется от 5 до 20 мкР/ч. Его значение зависит от концентрации природных радионуклидов в окружающей среде, от

высоты местности и географической широты, поскольку 2 последних фактора определяют мощность дозы космического излучения.

Гамма-поле внутри помещений в значительной степени зависит от содержания природных радионуклидов (урана, тория, калия) в стройматериалах, из которых сооружено здание.

Вторая, очень значительная часть дозы облучения зависит от концентрации изотопов радона в воздухе помещений, где находятся люди. В отличие от твердых и жидких радиоактивных источников, газ радон поступает внутрь организма через легкие. Уже через несколько секунд после вдоха этот радиоактивный газ и твердые продукты его распада появляются в крови. Особенно опасен радон в закрытых помещениях, где его концентрация может быть в 500 раз выше, чем в наружном воздухе. Постоянно выделяясь из горных пород, подстилающих фундамент жилых и производственных помещений, он проникает через пол, скапливаясь на первых этажах плохо проветриваемых помещений.

Значительная часть природных радионуклидов, обуславливающих внутренне облучение организма, поступает с продуктами питания и водой. В основном это радиоизотопы рядов урана-238 и тория-232 (свинец-210, полоний-210, радий-226, радий-228). Наибольший вклад в облучение со стороны этого звена вносят свинец-210 и полоний-210, которые являются долгоживущими дочерними продуктами распада радона-222 соответственно с периодами полураспада 22 года и 138 суток. Диапазон мировой дозы внутреннего облучения людей за счет поступления природных радиоизотопов с пищей и водой составляет 0,2-0,8 мЗв/год.

К антропогенным источникам радиации относятся искусственные радиоизотопы, содержащиеся в радиоактивных осадках, отходах ядерной энергетики, медицинских приборах и препаратах, а также лучи рентгеновских кабинетов. Основной вклад вносят медицинское оборудование и препараты. Эффективные эквивалентные дозы, получаемые за 1 сеанс в рентгеновских кабинетах, лежат в пределах 0,01-1 мЗв, причем, наибольшие дозы получают пациенты при рентгенографии желудочно-кишечного тракта (ЖКТ).

Среди искусственных радионуклидов, входящих в радиоактивные осадки, наиболее опасны цезий-137, стронций-90, цирконий-94, углерод-14.

#### Влияние излучений на живые организмы.

Сильные дозы радиации убивают клетки живого организма. Малые дозы не разрушают клетку полностью, но существенно изменяют ее. Первичные физико-химические процессы, протекающие под действием радиации в клетках живого организма, обязаны прямому и косвенному воздействию на них ионизирующего излучения.

*Прямое действие* лучей заключается в расщеплении ими молекул белка и повреждении ДНК в ядрах клеток. Причем, вероятность попадания лучей в ядро клетки прямо зависит от размера ионизирующей частицы.

*Косвенное влияние* излучения на организм проявляется в виде ионизации молекул воды, которая составляет 75% массы тела, а также молекул  $O_2$ , содержащегося в клетках. Образовавшиеся ионы  $H^+$ ,  $OH^-$  и ион радикал  $O_2^-$  окисляют молекулы белка и разрушают его.

Ионизирующее излучение ослабляет организм и понижает иммунитет, т.е. сопротивляемость его инфекциям. Большие дозы радиации приводят к временной или полной стерилизации особи, а также к генетическим изменениям, которые могут проявляться в последующих поколениях.

Наиболее чувствительными являются клетки быстро обновляющихся тканей некоторых органов (гонады, костный мозг, селезенка). Гибель клеток приводит к нарушениям функции отдельных органов, что в дальнейшем проявляется в расстройстве процессов жизнедеятельности всего организма.

Действие радиационного излучения на живые организмы зависит от вида излучения ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -лучи и т.д.), способа облучения и его продолжительности. Если источник излучения находится вне организма, то на ткани воздействует, главным образом,  $\gamma$ -излучение, обладающее высокой проникающей способностью. При попадании источника радиации внутрь организма опасными становятся не только  $\gamma$ -лучи, но особенно  $\alpha$ -,  $\beta$ -лучи, которые полностью поглощаются тканями.

Большие дозы, получаемые организмом за короткое время (минуты и часы), называются *острыми*, в отличие от *хронических*, которые организм выдерживает долго.

Живые организмы сильно отличаются друг от друга по способности выдерживать те или иные дозы облучения. Наименьшей чувствительностью обладают вирусы, бактерии, мхи и лишайники. За ними следуют насекомые. Млекопитающие наиболее чувствительны к облучению.

### Лучевая болезнь человека.

Лучевая болезнь чаще всего развивается при облучении острыми дозами. При своевременном ее лечении возможно выздоровление. Степень тяжести лучевой болезни строго зависит от поглощенной дозы радиации (в случае равномерного облучения всего тела). Выделяют 4 степени лучевой болезни: легкую, средней тяжести, тяжелую и крайне тяжелую. *Легкая степень* возникает в случае облучения в дозе 100-200 бэр, *средняя* 200-400, *тяжелая* 400-600, *крайне тяжелая* – свыше 600 бэр. При облучении дозой менее 100 бэр говорят о *лучевой травме*. При легкой степени больных помещают в стационар, но чаще всего специального лечения не проводят, за исключением антибиотической терапии. При средней тяжести поражается костный мозг и у больных наблюдается депрессия кроветворения, поэтому необходимо проведение мощной антибиотической терапии в хорошо оборудованном стационаре. В случае тяжелой степени лучевой болезни поражается костный мозг, ЖКТ и полость рта. Такие пациенты должны помещаться в специальные стационары и клиники, имеющие соответствующий опыт лечения подобных больных. При крайне тяжелой степени лучевой болезни выходит из строя костный мозг – кроветворная система организма. Поражение костного мозга приводит к дефициту эритроцитов в крови, кислородному голоданию тканей организма и развитию тяжелого заболевания – лейкоза. В этом случае нужна пересадка костного мозга, без которой человек быстро умирает.

Полученная человеком доза радиации устанавливается с помощью биологической дозиметрии по хромосомному анализу лимфоцитов периферической крови и костного мозга.

Время проявления и клиническая картина первичной реакции организма зависит от дозы облучения. Главный признак первичной реакции – рвота, а при дозе 600 бэр и более – жидкий стул.

В случае лечения период восстановления длится 4-8 недель до момента нормализации температуры. Начинается рост волос. После этого наступает период проявления отдаленных последствий (болезни системы кровообращения, эндокринные и генетические нарушения, развитие катаракты и т.д.).

Отдельные части тела выдерживают гораздо большие дозы, чем все тело.

### Биологическое действие радионуклидов, попавших внутрь организма.

Радионуклиды попадают внутрь организма тремя путями: а) через ЖКТ; б) через органы дыхания; в) через раны на теле.

Наиболее опасным является второй путь, поскольку посредством ингаляции в организм попадают как радиоактивные газы, так и пылеватые частицы твердых веществ.

Газы быстро абсорбируются из вдыхаемого воздуха, через несколько секунд они появляются в крови и внеклеточной жидкости организма.

Через ЖКТ в организм попадают твердые вещества и радиоактивные жидкости. Часть всасывается через стенки кишечника в кровь, часть выводится из организма наружу. Степень всасывания зависит от химических свойств элемента. Легко усваиваются организмом Cs, Th, U, несколько хуже - Sr, Ra, Pu, I, Ru.

Количество радионуклидов, попавших в организм через поврежденную кожу, ссадины и раны, зависит от глубины их проникновения и длительности загрязнения.

Радиоактивные элементы, попавшие внутрь организма, особенно опасны, в первую очередь, по причине резкого увеличения действия высоко ионизирующих  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучателей. Во-вторых, многократно возрастает длительность облучения, поскольку для выведения радионуклидов наружу требуется значительное время. Кроме того, некоторые изотопы избирательно распределяются в организме, предпочитая дислоцироваться в отдельных органах, создавая там значительные концентрации. Например, третья часть йода, поступившего в организм, скапливается в щитовидной железе, составляющей всего 0,03% массы тела, большая часть стронция, фосфора и радия оседает в скелете, а цезия в поджелудочной железе. В результате такого местного скопления радионуклидов соответствующий орган под действием излучения быстро разрушается.

Как и любые стабильные изотопы, радионуклиды могут быть выведены из организма под действием определенных лекарств. Такие препараты подразделяются на 2 группы:

- Лекарственные средства, препятствующие всасыванию радионуклидов в ЖКТ. Принцип действия таких препаратов – ионообменная сорбция, отчего их и называют *сорбентами*. К таким препаратам относятся пектины, угольные и органомремнеземные сорбенты.

- Лекарственные средства, ускоряющие выведение из организма уже усвоенных радионуклидов. В основном для этих целей используются различные органические кислоты и эфиры.

Скорость выведения радионуклидов из организма принято выражать *эффективным периодом полувыведения*, т.е. временем, в течение которого содержание радионуклида в организме уменьшается вдвое.

Значительно снижают тяжесть лучевого воздействия так называемые *радиопротекторы* – радиационные защитники. К таким веществам относятся витамины и растения, содержащие в своем составе большое количество пектинов: гранат, рябина, смородина, клюква, свекольный и морковный соки, настойки женьшеня.

### **Контрольные вопросы.**

1. Дать классификацию источников радиации.
2. Какие составные компоненты влияют на дозу облучения от природных источников?
3. За счет каких излучений формируется внешнее облучение?
4. Влияние излучений на живые организмы.
5. Как развивается лучевая болезнь человека?
6. Основные пути попадания радионуклидов внутрь организма.
7. Основные группы препаратов, используемые для выведения радионуклидов из организма.

**Список использованной литературы:**

1. Ионизирующее излучение. Радиационная безопасность: нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1. 758-99. – М.: Минздрав России, 1999.
2. Кузин А.М. Прикладная радиобиология / А.М. Кузин, Д.А. Каушанский. – М: Энергоиздат, 1981. – 306 с.
3. Леухин А.В. Исследование содержания радионуклидов в объектах окружающей среды методом гамма- и бета-спектрометрии: вопросы экологии, региональный аспект: матер. пост. действ. Всероссийской междисциплинарной научной конференции с международным участием / А.В. Леухин, Г.А. Ситников, А.Р. Сазонов, А.М. Андреев. – М.; Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2004. – Ч. 2. – С. 139-141.
4. Радиобиология / А.Д. Белов, В.А. Киршин, Н.П. Лысенко, В.В. Пак и др.; под ред. А.Д. Белова. – М.: Колос, 1999. – 358 с.
5. Скоробогатько Л.М. Практикум по радиоэкологии / Л.М. Скоробогатько. – Курск: Изд-во Курской ГСХА, 1997. – 150 с.
6. Старков В.Д. Радиационная экология / В.Д. Старков, В.И. Мигунов. – Тюмень: ФГУ ИПП «Тюмень», 2003. – 304 с.
7. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. – М.: Высш. шк., 1988. – 594 с.
8. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: Учебное пособие / Мар.гос. ун-т; Ю.А. Александров. – Йошкар-Ола, 2007. – 268 с.