

Дозиметрия ионизирующих излучений

Лекция 2

Часто необходимо определить не только активность радиоактивного вещества, но и его концентрацию (т.е. объемную активность) в воде или атмосфере, а так же зараженность поверхности земли. Например:

- допустимую концентрацию радионуклидов **в воде** измеряют в беккерелях на литр – Бк/л,
- **в воздухе** – в беккерелях на м³ – Бк/м³,
- **на местности** – в беккерелях на м² – Бк/м².

Отношение активности радиоактивного вещества к массе, объему, площади поверхности или длине называются соответственно удельной, объемной, поверхностной и линейной активностью источника.

- **Активность изотопа ничего не говорит о дозе и виде радиоактивного излучения**, она только указывает на количество ядер, распавшихся за 1 секунду.
- **Одинаковая активность разных радионуклидов не вызывает одинаковых повреждений тканей организма.**

Количественные связи между уровнем воздействия ионизирующего излучения и вызываемым эффектом в окружающей среде выявляются с помощью понятий различных **доз облучения**:

1. **экспозиционной дозы;**
2. **поглощенной дозы;**
3. **эквивалентной дозы;**
4. **эффективной эквивалентной дозы.**

ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА
($D_{\text{эксп.}}$)

Экспозиционная доза является количественной характеристикой поля ионизирующего излучения.

Она зависит от **величины ионизации** (количества образованных пар ионов) сухого воздуха при атмосферном давлении в 760 мм рт. ст.

$$D_{\text{эксн}} = \frac{dQ}{dm}$$

Экспозиционная доза – это величина отношения суммарного заряда всех ионов одного знака, которые образуются рентгеновским или гамма-излучением в некотором объёме, к массе воздуха в этом объёме.

Такую дозу используют для **оценки радиационной обстановки на местности, в производственных или жилых помещениях.**

**Единицей экспозиционной дозы в СИ
является 1 кулон делённый на 1 кг
облучённого воздуха
1 Кл/кг**

1 кулон на килограмм равен экспозиционной дозе, при которой рентгеновское или гамма-излучение образует в **сухом атмосферном воздухе массой 1 кг ионы с суммарным зарядом каждого знака, соответствующему 1 Кл.**

Старой (внесистемной) единицей экспозиционной дозы является **рентген (Р).**



Рентген – такая доза облучения рентгеновским или гамма-излучением, при которой суммарный заряд, что возникает в $1 \text{ см}^3 \sim 0,001293 \text{ г}$ воздуха, соответствует приблизительно 2 млрд. парам ионов. – 2,08 парам ионов

Применяются более мелкие единицы:

Миллирентген (мР): $1 \text{ мР} = 10^{-3} \text{ Р}$

Микрорентген (мкР): $1 \text{ мкР} = 10^{-6} \text{ Р}$

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

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

При определении воздействия радиации на какое-нибудь окружение необходимо учитывать не только полную дозу, но и время, за которое она получена.

Мощностью экспозиционной дозы
называется доза, которая приходится на
единицу определённого времени.

Её можно измерять следующим образом:

- рентген в час (**Р/час**)
- рентген в минуту (**Р/мин**)
- рентген в секунду (**Р/с**);

в СИ это **1 А/(кгс)**, так как **1 А = 1 Кл/с**.

ПОГЛОЩЁННАЯ ДОЗА ($D_{\text{погл}}$)

Экспозиционная доза характеризует поле радиации вокруг объектов. Воздействие же на объект (организм) оказывает только та часть радиации, которую этот объект или организм поглотил. Поэтому наиболее удобной характеристикой, которая определяет степень воздействия излучения на объект, является **поглощенная энергия излучения.**

Поглощённая доза – это количество энергии, поглощенное единицей массы облучённого тела (тканями организма).

За единицу поглощенной дозы в СИ принимается **грей (Гр)**



1 Грей – это такая поглощенная доза излучения, при которой массе облучённого вещества в 1 кг, передаётся энергия ионизирующего излучения в 1 джоуль, т.е. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

В некоторых случаях доза радиации может быть значительно меньше чем 1 Гр.

Тогда её измеряют в сотых – **сантигреях** (сГр), тысячных – **миллигреях** (мГр), миллионных – **микрогреях** (мкГр) частях грея.

$$1 \text{ сГр} = 10^{-2} \text{ Гр};$$

$$1 \text{ мГр} = 10^{-3} \text{ Гр};$$

$$1 \text{ мкГр} = 10^{-6} \text{ Гр}.$$

Внесистемной единицей поглощённой дозы является **рад**
(радиационная адаптивная доза).

Соотношение между греем и радом следующее:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад};$$

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр.}$$

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Дж/кг.}$$

Для мягких тканей в поле рентгеновского или гамма-излучения поглощённой дозе в **1 рад** соответствует экспозиционная доза равная **~ 1 рентген**.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА
($H_{\text{ЭКВ}}$)

При одной и той же поглощённой дозе разные виды излучения вызывают не одинаковые повреждения биологических объектов.

Это объясняется их разной способностью к ионизации вещества. Биологический эффект зависит не только от дозы облучения, но и от вида ионизирующей радиации.

Поэтому, для сравнения различных видов излучения введена **Относительная Биологическая Эффективность (ОБЭ).**

ОБЭ указывает во сколько раз биологический эффект при воздействии этого вида излучения мощнее воздействия стандартного излучения на изучаемый объект (живая клетка, организм в целом).

В качестве стандартного излучения принято рентгеновское излучение с энергией **от 188 до 200 кэВ.**

Регламентированные значения ОБЭ, установленные для контроля степени радиоактивной безопасности при хроническом облучении называются **коэффициентами качества (к.к.)**.

Коэффициент качества – коэффициент, который показывает, во сколько раз данный вид излучения более биологически опасен, чем рентгеновское или гамма-излучение при одинаковой поглощённой дозе.

к.к. – безразмерная величина.

Вид излучения	Значение коэффициента качества
Рентгеновское и гамма-излучение	1
Бета-излучение	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 КэВ	3
Нейтроны с энергией 0.1 – 10 МэВ	10
Альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжёлые ядра отдачи	20

$$H_{\text{экв.}} = D_{\text{погл.}} \times Q$$

Эквивалентная доза излучения представляет собой поглощённую дозу, умноженную на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма.

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является **зиверт (Зв)**.

Применяются и более мелкие единицы:

□ **миллизиверт (мЗв)**, $1 \text{ мЗв} = 10^{-3} \text{ Зв}$

□ **микрорзиверт (мкЗв)**, $1 \text{ мкЗв} = 10^{-6} \text{ Зв}$

БЭР (биологический эквивалент рентгена) – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологических тканях, которая создает такой же биологический эффект, что и поглощенная доза в 1 рад рентгеновского или гамма-излучения

$$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{Зв} = 0,01 \text{ Зв}$$

$$1 \text{ Зв} = 10^2 \text{ бэр} = 100 \text{ бэр}$$

Если поглощенная доза измеряется в радах, то эквивалентная в бэрах, а если поглощенная доза в греях, тогда эквивалентная доза в зивертах

Для поглощённых и эквивалентных доз, как и для экспозиционной дозы вводится понятие мощность дозы.
Они характеризуются приростом дозы за единицу времени.

Величины	Единицы		Соотношение единиц
	международные	внесистемные	
1. Активность А	Беккерель (Бк)	Кюри (Ки)	1 Бк = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.
2. Экспозиционная доза Х	Кулон на кг (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Кл/кг = 3876 Р 1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
3. Поглощённая доза $D_{\text{погл.}}$	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 Гр = 100 рад 1 рад = 0,01 Гр
4. Эквивалентная доза $H_{\text{экв.}}$	Зиверт (Зв)	Бэр (бэр)	1 Зв = 100 бэр 1 бэр = 10^{-2} Зв Зв=0,01 Зв

**ЭФФЕКТИВНАЯ
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА ($H_{\text{ЭФ.}}$
ЭКВ.)**

Коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении

Органы и ткани	Коэффициент радиационного риска	
	W_i	W_i НРБ-2000
1. Красный костный мозг	0,12	0,12
2. Костная ткань (кости)	0,03	0,01
3. Щитовидная железа.	0,03	0,05
4. Лёгкие	0,12	0,12
5. Молочные железы	0,15	0,05
6. Яичники или семенники	0,25	0,2
7. Другие ткани	0,3	0,05
8. Организм в целом	1	1

Эффективная доза излучения – это основная величина, используемая при гигиеническом нормировании ионизирующих излучений, которая устанавливается для людей, работающих с техногенными источниками радиации или находящихся в зоне их воздействия (в связи с профессиональной деятельностью или проживанием).

Ее значение используется для измерения **вероятности наступления последствий облучения человека, его органов и тканей**. При этом учитывается их индивидуальная радиочувствительность.

Например, при равной эквивалентной дозе облучений возникновение рака щитовидной железы менее вероятно, чем возникновение рака легких.

Эффективная доза организма (E)

рассчитывается путем умножения эквивалентной дозы органа или ткани ($H_T(t)$) на соответствующее органу или ткани значение коэффициента (W_T) (по каждому органу или ткани) с последующим суммированием результатов:

$$E = \sum H_T(t) \times W_T$$

где, $H_T(t)$ — эквивалентная доза в ткани T за время t ;
 W_T — взвешивающий коэффициент для ткани T.

***КОЛЛЕКТИВНАЯ
ЭФФЕКТИВНАЯ
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА.***

Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, получают **коллективную эффективную эквивалентную дозу** – сумму индивидуальных доз в данной группе людей за данный промежуток времени.

Коллективную дозу можно подсчитать для населения отдельной деревни, города, области, государства и даже всего земного шара.

ДОЗА ЭФФЕКТИВНАЯ КОЛЛЕКТИВНАЯ

мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы — **человеко-зиверт (чел.-Зв)**.

Коллективная доза в отношении популяции называется **популяционной**. Если же происходит облучение населения всего земного шара от какого-либо источника, то соответствующая коллективная доза называется **глобальной**.

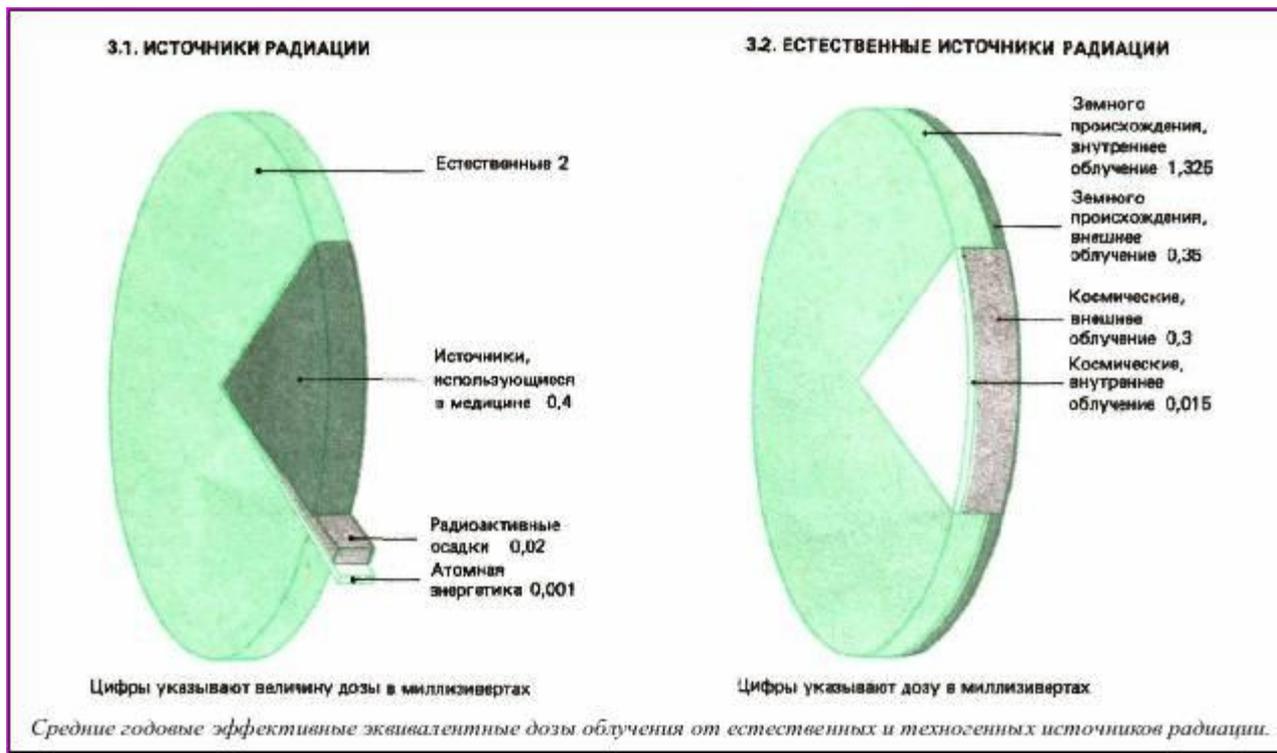
***ОЖИДАЕМАЯ (ПОЛНАЯ)
КОЛЛЕКТИВНАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА***

Среднегодовая эффективная доза (СГЭД) -

это средняя для населения какого-либо населенного пункта сумма эффективной дозы внешнего облучения, полученная за календарный год, и ожидаемой дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм жителей радионуклидов за этот же год.



Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получают поколения людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его существования, называют **ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой.**



**Ожидаемая (полная) коллективная
эффективная эквивалентная доза**

представляет собой расчет дозовой нагрузки на некоторый период времени для одного человека. Чаще всего делается расчет на 70 предстоящих лет жизни (доза на жизнь).

Например, согласно расчетам российского института радиационной гигиены каждый человек, проживающий в России, от естественного радиационного фона, медицинских процедур и др. в среднем получает за год ЭД = 0,422 бэра (4,22 мЗв). Тогда ожидаемая ЭД за жизнь составит $0,422 \text{ бэр} \times 70 \text{ лет} = 30 \text{ бэр}$ (300 мЗв).

Предел дозы (ПД) – величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы.

Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза коже кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

Персонал – лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).



Население – все лица, включая персонал вне работы с источниками ионизирующего излучения.

Облучение населения от природных источников излучения:

- менее 2 мЗв/год – норма;
- от 2 до 5 мЗв/год – повышенное облучение;
- более 5 мЗв/год – высокое облучение.

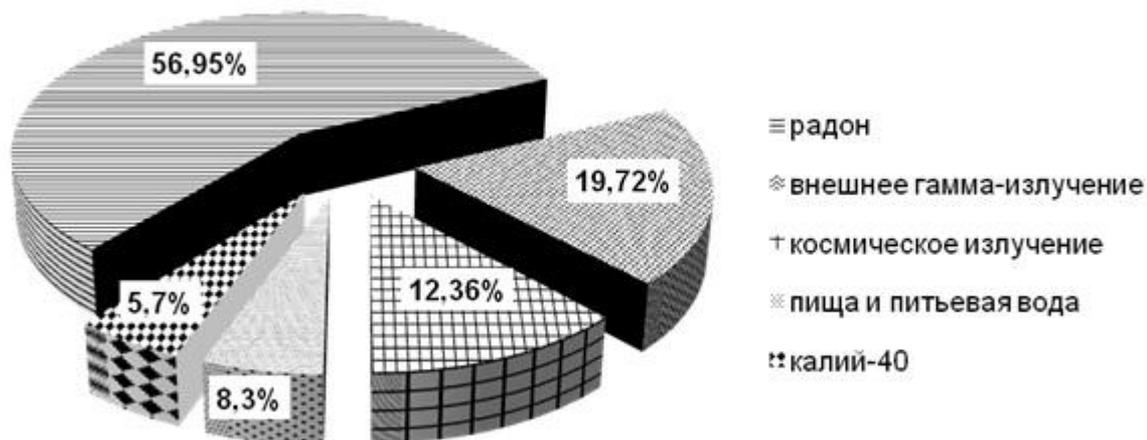


Рисунок 1. Структура дозы облучения за счет природных ИИИ

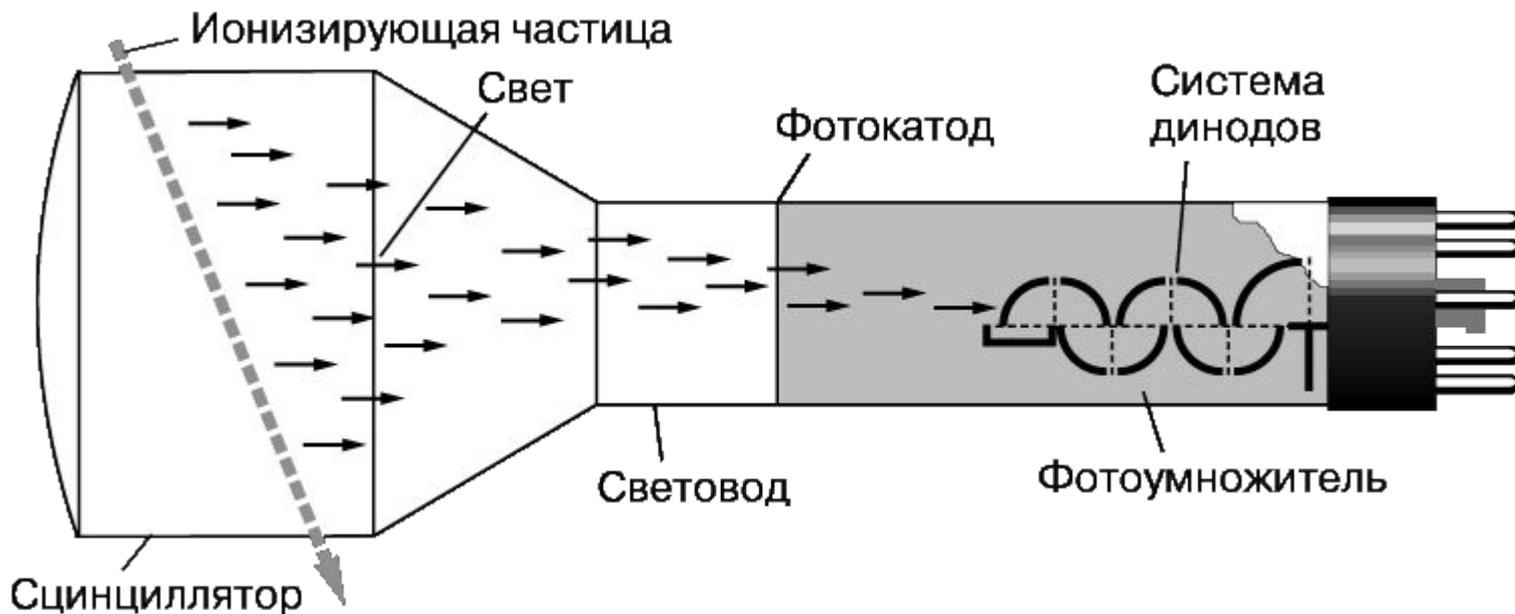
***МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ
ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ***

Ионизационный метод основан на том, что под воздействием радиоактивных излучений в изолированном объеме происходит **ионизация воздуха или газа**. Чем больше интенсивность радиоактивных излучений, тем выше сила ионизационного тока (возникающего между заряженными частицами в ионизированном вещества). Это дает возможность, измеряя силу ионизационного тока, определять интенсивность радиоактивных излучений. Практически этот метод воплощен в виде специальных устройств – ионизационных камер и газоразрядных счетчиков.

Фотографический метод основан на измерении степени почернения фотоэмульсии. Под воздействием ионизирующих излучений молекулы бромистого серебра, содержащегося в фотоэмульсии, распадаются на серебро и бром. При этом образуются мельчайшие кристаллики серебра, которые и вызывают почернение фотопленки при ее проявлении. **Плотность почернения пропорциональна дозе облучения.** Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу облучения, полученную пленкой.

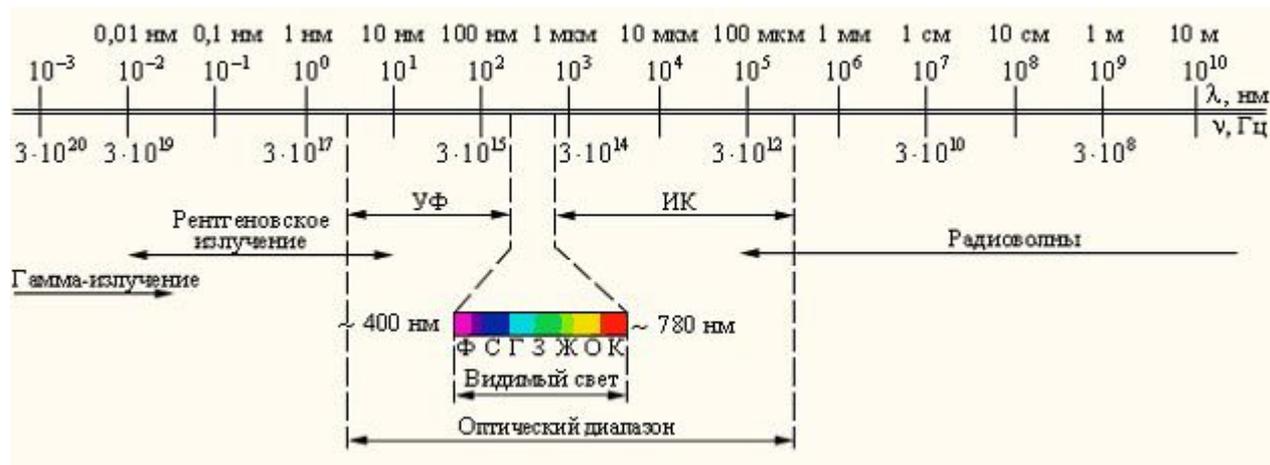


Сцинтилляционный метод основан на способности некоторых веществ (**сернистый цинк, йодистый натрий, вольфрамат кальция** и др.) испускать фотоны видимого света под воздействием радиоактивного излучения. Фотоны видимого света улавливаются специальным прибором – так называемым фотоэлектронным умножителем, способным регистрировать каждую вспышку.



Химический метод основан на том, что молекулы некоторых веществ в результате воздействия ионизирующих излучений распадаются, образуя новые химические соединения. Количество вновь образованных химических веществ можно определить различными способами. Наиболее удобным для этого является способ, основанный на изменении плотности окраски реактива, с которым вновь образованное химическое соединение вступает в реакцию. Так, хлороформ при облучении разлагается с образованием соляной кислоты, которая дает цветную реакцию с красителем, добавленным к хлороформу. По плотности окраски судят о дозе облучения.

Тепловой, или калориметрический метод, при котором используется непосредственный или косвенный тепловой эффект, возникающий при взаимодействии излучения с веществом



Приборы, предназначенные для обнаружения и измерения радиоактивных излучений, называются **дозиметрическими**.

По назначению все приборы разделяются на индикаторы, рентгенметры, радиометры и дозиметры (комплекты измерителей доз).

Индикаторы предназначены для обнаружения радиоактивного излучения и ориентировочной оценки мощности дозы гамма-излучений. Эти приборы имеют простейшие электрические схемы со световой и звуковой сигнализацией. К этой группе относят ДП-64 и др.

Рентгенометры служат для измерений мощности дозы гамма- и рентгеновского излучения (уровня радиации). Сюда относят приборы ДП-5В, МКС-АТ6130А, ИМД-7 и др.

Радиометрами обнаруживают и определяют степень радиоактивного загрязнения поверхностей оборудования, одежды, продуктов и др. К этой группе относят приборы СЗБ-04, РКГ-0,1, КРВП-ЗАБ и др.

Дозиметры (комплекты измерителей доз) предназначены для определения суммарной дозы облучения, получаемой людьми за время нахождения их в районе действия, главным образом гамма-излучений. К этой группе относят приборы ДП-22В (ДП-24), ИД-1 и др.

При изучении действия излучения на организм были определены следующие особенности:

- 1. Высокая эффективность поглощенной энергии.** Малые количества поглощенной энергии излучения могут вызвать глубокие биологические изменения в организме.
- 2. Наличие скрытого, инкубационного, периода проявления действия** ионизирующего излучения. Этот период часто называют периодом мнимого благополучия. Продолжительность его сокращается при облучении в больших дозах.
- 3. Действие от малых доз может суммироваться или накапливаться.** Этот эффект называется **кумуляцией**.

При изучении действия излучения на организм были определены следующие особенности:

4. Излучение действует не только на данный живой организм, но и на его потомство. Это так называемый **генетический эффект**.
5. Разные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению.
6. Не каждый организм в целом одинаково реагирует на облучение.
7. Облучение зависит от частоты излучения.