

Курс «РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ФИЗИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ»

ЛЕКЦИЯ №3

Доза излучения.

Воздействие ИИ на живой  
организм.

1

Москва  
2024

# СОДЕРЖАНИЕ

- Виды доз ИИ.
- Соотношение между дозиметрическими единицами.
- Первичные механизмы действия ИИ.
- Биологические последствия острого облучения.
- Зависимость поражения от времени воздействия.
- Отдаленные последствия.
- Генетические эффекты.

# ЗАЧЕМ ВВЕДЕНО ПОНЯТИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ?

*Доза эквивалентная ( $H_{T,R}$ ) - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения,  $W_R$ :*

$$H_{T,R} = W_R * D_{T,R} :$$

где  $D_{T,R}$  - средняя поглощенная доза в органе или ткани T, а  $W_R$  - взвешивающий коэффициент для излучения R.

В системе СИ

1 Зв (зиверт) = 1 Дж/кг

# **ЗАЧЕМ ВВЕДЕНО ПОНЯТИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ?**

**В связи с тем, что разные виды ионизирующих излучений могут проявлять существенно различающуюся относительную биологическую эффективность, было введено понятие «ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА».**

**Понятие ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ было введено в целях оценки радиационной безопасности для человека.**

Различают 4 основные вида дозы ИИ:

Экспозиционная доза

Поглощенная доза

Эквивалентная доза

Эффективная доза

# ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА

Для характеристики поля фотонного излучения, возникающего в воздушной среде, окружающей источник излучения, используется понятие экспозиционной дозы.

- **Экспозиционная доза,  $X$** , - количественная характеристика гамма- и рентгеновского излучения, основанная на их ионизирующем действии в воздухе - отношение полного заряда  $dq$  всех ионов одного знака, создаваемых в воздухе, при полном торможении электронов, к массе воздуха в этом объеме.

$$X = dq/dm$$

- **Внесистемная единица экспозиционной дозы - рентген (Р)**, которой соответствует такое рентгеновское и гамма- излучение, которое при температуре 0°C и давлении 760 мм рт. ст. образует в 1 см<sup>3</sup> сухого воздуха (имеющего при  $\rho = 1/(4.8 \cdot 10^{-10})$  2,08 · 10<sup>9</sup> пар ионов. Эти ионы несут суммарный заряд одного знака нормальных условиях вес 0,001293 г) 2,082 · 10<sup>9</sup> пар ионов (2.08 · 10<sup>9</sup> ка в 1 эл.-статическую единицу (в системе СГСЭ), что в единицах работы и энергии (в системе СГС) составит около 0,114 эрг поглощённой воздухом энергии (6,77 · 10<sup>4</sup> Мэв). (1 эрг = 10<sup>-7</sup> Дж = 2,39 · 10<sup>-8</sup> кал). При пересчёте на 1 г воздуха это составит 1,610 · 10<sup>12</sup> пар ионов или 87,3 эрг/г сухого воздуха.

# Единицы экспозиционной дозы

Единица в системе СИ	Внесистемная единица
<b>Кулон/кг (Кл/кг)</b> <b>Coulomb/kg (C/kg)</b>	<b>Рентген (Р)</b> <b>Roentgen (R)</b>  За 1Р принимают такое количество $\gamma$ -или рентгеновского излучения, которое создает $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов $1 \text{ см}^3$ атмосферного воздуха (т.е. в $0.001293 \text{ г}$ воздуха при $0^\circ\text{C}$ и давлении $760 \text{ мм. рт. ст.}$ ) Единица введена в 1928г.
<b><math>1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}</math></b>	

# ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА

**Доза поглощенная (D) - величина энергии ионизирующего излучения (любого вида), переданная веществу:**

$$D = dE / dm,$$

где  $dE$  - средняя энергия, переданная ионизирующим излучением облучаемому веществу (теперь – не обязательно воздуху), находящемуся в элементарном объеме, а  $dm$  - масса вещества в этом элементарном объеме\*.

$$\underline{1 \text{ Гр.}} = 1 \text{ Дж/кг} = 10^4 \text{ эрг/г} = \underline{100 \text{ рад.}}$$

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр} = 2,388 \cdot 10^{-6} \text{ кал/г}$$

(внесистемная единица)

Поглощенная доза в 1 Гр является довольно значимой радиационной величиной и может вызвать в облученном организме ряд последствий. Но в энергетическом смысле эта величина очень мала – повышение температуры тела человека в результате воздействия этой дозы менее одной тысячной градуса.

*\*Элементарный объем среды – это наименьший объем среды, который воспринимается как однородный.*

В отличие от экспозиционной дозы понятие **ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ** распространяется:

- не только на  $\gamma$ - и рентгеновское излучение, но и на любой другой вид ионизирующего излучения;
- не только на воздух, и на любые другие материалы.

## Единицы поглощенной дозы

Единица в системе СИ	Внесистемная единица
<p>Дж/кг <b>joule/kg (J/kg)</b> - единица, получившая специальное наименование <b>Грей (Гр)</b> <b>Gray (Gy)</b> Единица введена в 1975г.</p>	<p><b>рад</b> <b>rad</b> (от англ. <b>Radiation absorbed dose</b>)  1 рад = 100 эрг/г.  Единица введена в 1953г.</p>
<b>1Гр = 100 рад.</b>	

Поглощенная доза ионизирующего излучения является основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия,

т. е. мерой ожидаемых последствий облучения объектов живой и неживой природы.

Мощность дозы (интенсивность ИИ, Зв/ч, бэр/мин, сЗв/год и др.) - приращение соответствующей дозы под воздействием данного излучения за единицу времени. Эту величину используют для оценки уровня ИИ или интенсивности излучения. Мощность дозы – это скорость накопления дозы ИИ.

*Связь между поглощенной дозой в воздухе, выраженной в радах, и экспозиционной дозой, выраженной в рентгенах, устанавливается выражением:*

$$D_{\text{эксн}} = 0.869 \cdot D_{\text{погл}}$$

# ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА

Введение эквивалентной дозы позволяет учесть радиобиологический эффект – зависимость эффективности радиационного воздействия от типа излучения (точнее – от плотности ионизации, вызываемой этим типом излучения). Чтобы учесть качественные различия излучений, их биологическая эффективность сравнивается с биологической эффективностью рентгеновского излучения, имеющего энергию кванта 250 КэВ.

*Доза эквивалентная ( $H_{T,R}$ ) - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения,  $W_R$ :*  $H_{T,R} = W_R * D_{T,R}$

где  $D_{T,R}$  - средняя поглощенная доза в органе или ткани Т, а  $W_R$  - взвешивающий коэффициент для излучения R.

В системе СИ  $1 \text{ Зв (зиверт)} = 1 \text{ Дж/кг}$

При одновременном воздействии на человека нескольких различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

$$H_T = \sum_R H_{T,R}$$

*Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы ( $W_R$ ) - используемые в радиационной защите множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.*

Фотоны (кванты) любых энергий		1
Электроны, $\beta^-$ , $\beta^+$ и мюоны любых энергий <sup>b</sup>		1
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ		5
	от 10 кэВ до 100 кэВ	10
	от 100 кэВ до 2 МэВ	20
	от 2 МэВ до 20 МэВ	10
	более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи		5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра		20

Табл.1. Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения.

# Единицы эквивалентной дозы

Единица в системе СИ	Внесистемная единица
<p>Дж/кг <b>joule/kg (J/kg)</b></p> <p>- единица, получившая специальное наименование</p> <p><b>Зиверт (Зв)</b> <b>sievert (Sv)</b></p> <p>Единица введена в 1979г.</p>	<p><b>бэр</b> (аббревиатура от <i>биологический эквивалент рентгена</i>)</p> <p><b>рэм</b> (аббревиатура от <i>рентген-эквивалент медицинский</i>)</p> <p><b>rem</b> (от англ. roentgen equivalent man)</p> <p>Единица введена в 1956г.</p>
<b>1Зв = 100 бэр.</b>	

*1 Зв—это эквивалентная доза любого вида ИИ, которая создает такой же биологический эффект, что и поглощенная доза в 1Гр рентгеновского или гамма-излучения.*

Эквивалентная доза, равная 1 Зв, создается при поглощенной дозе, равной  $1/W_R$  Гр.

Например, для  $\alpha$ -излучения эквивалентная доза, равная 1Зв, создается при поглощенной дозе  $1/20\text{Гр}=0,05\text{Гр}$ .

*Взвешивающие коэффициенты для различных видов излучений  $W_R$  представляют собой регламентированные значения ОБЭ разных видов ионизирующих излучений, установленные в целях оценки радиационной опасности данных видов излучений для человека в отношении возникновения отдаленных неблагоприятных эффектов (т.е. эффектов, возникающих в результате воздействия относительно низких доз хронического или кратковременного облучения).*

## ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА (РУС.) –EFFECTIVE DOSE (АНГЛ.)

- величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T * H_T$$

- где  $H_T$  - эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , а  $W_T$  - взвешивающий коэффициент для органа или ткани  $T$ , т.е. множитель эквивалентной дозы в органах и тканях, используемый в радиационной защите для учёта различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации – «коэффициент радиационного риска».

Единица эффективной дозы - зиверт (Зв).

Понятие «ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА» было введено для оценки и сравнения риска возникновения отдаленных неблагоприятных эффектов для разных случаев неравномерного облучения организма (т.е. для случаев, когда разные органы и ткани организма получают неодинаковые эквивалентные дозы).

Понятие **ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ** было введено (также как и понятие эквивалентной дозы) в целях оценки радиационной безопасности для человека.

Использовать понятие эффективной дозы можно:

Только в отношении человека!!!

Только в отношении отдаленных неблагоприятных эффектов!!!

А значит, только в отношении низких доз хронического или кратковременного облучения!!!

# Единицы эффективной дозы такие же как и у эквивалентной дозы

Единица в системе СИ	Внесистемная единица
<p>Дж/кг <b>joule/kg (J/kg)</b></p> <p>- единица, получившая специальное наименование</p> <p><b>Зиверт (Зв)</b> <b>sievert (Sv)</b></p> <p>Единица введена в 1979г.</p>	<p><b>бэр</b> (аббревиатура от <i>биологический эквивалент рентгена</i>)</p> <p><b>рэм</b> (аббревиатура от <i>рентген-эквивалент медицинский</i>)</p> <p><b>rem</b> (от англ. <i>roentgen equivalent man</i>)</p> <p>Единица введена в 1956г.</p>
<b>1Зв = 100 бэр.</b>	

- Одинаковой величине эквивалентной дозы соответствует одинаковая радиационная опасность, которой подвергается человек при воздействии на него любого вида излучения. Эквивалентная доза в 5 бэр в год считается предельно допустимой дозой (ПДД) при профессиональном облучении.
- **Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы ( $W_T$ )** -множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации.

Ткань или орган	$W_T$	Ткань или орган	$W_T$
Гонады (яичники, семенники)	0.20	Печень	0.05
Красный костный мозг	0.12	Пищевод	0.05
Толстый кишечник	0.12	Щитовидная железа	0.05
Легкие	0.12	Кожа	0.01
Желудок	0.12	Клетки костных поверхностей	0.01
Мочевой пузырь	0.05	Остальные органы	0.05
Молочные железы	0.05		

Табл.5. Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы

Для организма в целом коэффициент  $W_T=1$ .

Для оценки полной эффективной эквивалентной дозы, полученной человеком, рассчитывают и суммируют указанные дозы для всех органов.

Единица измерения эффективной дозы - Дж  $\cdot$  кг $^{-1}$ ,  
название – **зиверт (Зв)**.

Мощность дозы – доза излучения (поглощенная, эквивалентная, эффективная) за единицу времени:

$$D^* = \frac{dD}{dt} \quad (\text{Гр} * \text{с}^{-1}), \quad H^* = \frac{dH_{T,R}}{dt} \quad (\text{Зв} * \text{с}^{-1}), \quad E^* = \frac{dE}{dt} \quad (\text{Зв} * \text{с}^{-1}), \quad K^* = dK/dt$$

В 2007 г. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) [International Commission on Radiological Protection –ICRP] в своей Публикации 103 рекомендовала использовать скорректированные значения  $W_T$  в связи с тем, что:

- 1) появились новые эпидемиологические данные по индукции рака;
- 2) произошла переоценка вклада гонад в риск возникновения отдаленных неблагоприятных последствий, т.к. прямые доказательства того, что радиационное воздействие на родителей приводит к избыточному выходу наследственных заболеваний у их потомства, по-прежнему отсутствуют.

Однако, данная рекомендация не была реализована в Нормах радиационной безопасности, принятых в России в 2009 г. (НРБ-99/2009).

# РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ $W_T$ (МКРЗ, 2007)

Органы или ткани	$W_T$
Красный костный мозг	0,12
Толстая кишка	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
<b>Молочная (грудная) железа</b>	0,12 ↑
Остальные ткани (надпочечники, экстраторакальные ткани (ЕТ), желчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечную ткань, слизистую оболочку рта, поджелудочную железу, простату (♂), тонкий кишечник (SI), селезенку, тимус, матку/шейку матки (♀))	0,12
<b>Гонады</b>	0,08 ↓
Мочевой пузырь	0,04
Пищевод	0,04
Печень	0,04
Щитовидная железа	0,04
Костная поверхность	0,01
Кожа	0,01
Головной мозг	0,01
Слюнные железы	0,01

Дозы и их краткое определение	Единицы		Соотношение единиц
	внесистемные	в Международной системе (СИ)	
Экспозиционная $X = \overline{dQ}/dm$	рентген (Р)	Кл/кг	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг
Поглощенная $D = \overline{de}/dm$	рад	грей (Гр) 1 Гр = 1 Дж/кг	1 Гр = 100 рад
Эквивалентная $H_{T,R} = W_R \times D_{T,R}$	бэр	зиверт (Зв)	1 Зв = 100 бэр
Эффективная $E = \sum_T W_T \times H_T$	бэр	зиверт (Зв)	1 Зв = 100 бэр

# КОЛЛЕКТИВНАЯ ДОЗА

- Для оценки ущерба здоровью персонала и населения от стохастических эффектов, вызванных действием ионизирующих излучений, используют коллективную эффективную эквивалентную дозу (меру коллективного риска).

*Коллективная эффективная доза - сумма индивидуальных  $H_i$ , эффективных доз у данной группы людей:*

$$S = \sum H_i * P_i ,$$

*где  $P_i$ , - число лиц в данной группе, получивших эффективную дозу  $H_i$ .*

Может быть определена также так: 
$$S_E = \int_0^{\infty} H_E P(H) d H_E$$

*где  $P(H) dH_E$  - число лиц в данной группе, получивших эффективную дозу в диапазоне дозы от  $H_E$  до  $H_E + dH_E$ .*

Единица эффективной коллективной дозы - человеко-зиверт (чел.-Зв).

При оценке поражения групп населения используется показатель человеко-зиверт. Дозы, полученные населением, измеряются в человеко-греях и человеко-зивертах - в зависимости от того, измеряется ли накопление энергии или биологический ущерб.

## **Когда и какие виды доз ИИ можно использовать?**

При радиационном контроле (оценке радиационной опасности) должны использоваться понятия *эффективной и эквивалентной дозы!*

В биологических экспериментах следует использовать понятие *поглощенной дозы* (в отношении облучаемого экспериментального биологического объекта)!

При радиотерапии опухоли в отношении лучевого воздействия на опухоль надо использовать понятие *поглощенной дозы*, а в отношении происходящего при этом лучевого воздействия на мед. персонал – понятия *эффективной и эквивалентной дозы!*

## К понятию дозы облучения.

$\alpha, \beta, \gamma, n, \dots$



**Поглощенная доза** - энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым телом (тканями организма), в пересчете на единицу массы

**Эквивалентная доза** - поглощенная доза, умноженная на коэффициент, отражающий способность данного вида излучения повреждать ткани организма

**Эффективная эквивалентная доза** - эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению

**Коллективная эффективная эквивалентная доза** - эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации

**Полная коллективная эффективная эквивалентная доза** - коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают поколения людей от какого-либо источника радиации за все время его дальнейшего существования



Источник	Поле	Облучение неживых объектов	Облучение живых организмов
Активность	Экспозиционная доза	Поглощенная доза	Эквивалентная доза
Кюри (Бк)	Рентген (Кл/кг)	Грей (рад)	Зиверт (бэр)

# СВОДКА ОСНОВНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЕДИНИЦ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристика	Формула	Единица измерений (СИ)	Внесистемная единица
<b>Активность радионуклида</b>	$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{0,693}{T_{1/2}} N$	<b>Беккерель (Бк):</b> 1 Бк = 1 расп/с;	кюри (Ки): 1 Ки = $3.7 \cdot 10^{10}$ расп/с. <sup>2</sup>
<b>Экспозиционная доза</b>	$X = \frac{dq}{dm}$	<b>Кулон/кг</b> (Кл/кг)	Рентген (Р) 1Р = 0.258 мКл/кг = 0.87 рад
<b>Поглощенная доза</b>	$D = \frac{dE}{dm}$	<b>Грей (Гр)</b> 1 Гр = 1 Дж/кг	рад 1 рад = 0.01 Гр = 100 эрг/г
<b>Эквивалентная доза</b>	$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$ $W_R$ – взвеш.коэфф. для данного излучения, $D_T = \frac{1}{m_T} \int_{m_T} D dm$	<b>Зиверт (Зв)</b> 1 Зв = 1 Гр/ $W_R$	Бэр 1Бэр = 0.01 Зв
<b>Эффективная доза</b>	$E = \sum_T W_T \cdot H_{T,R}$ $H_T$ - эквивалентная доза в органе или ткани Т, $W_T$ – взвеш. коэфф. для органа или ткани Т	<b>Зиверт (Зв)</b>	Бэр
<b>Коллективная эффективная доза</b>	$S = \sum P_i \cdot H_i$ $P_i$ - число лиц в данной группе, получивших эффективную дозу $H_i$	<b>Человеко-Зиверт (чел-Зв)</b>	Человеко-Бэр (чел-Бэр) 1 чел-Бэр = 0,01 чел-Зв

# СВОДКА ОСНОВНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЕДИНИЦ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристика	Единица измерений в системе СИ	Внесистемная единица
<i>Активность радионуклида</i>	<b>беккерель (Бк):</b> 1 Бк = 1 расп/с;	<b>кюри (Ки):</b> 1 Ки = $3.7 \cdot 10^{10}$ расп/с. <sup>2</sup>
<i>Экспозиционная доза</i>	<b>Кулон/кг (Кл/кг)</b>	<b>Рентген (Р)</b> 1Р = 0.258 мКл/кг =0.87 рад
<i>Поглощенная доза</i>	<b>Грей (Гр)</b> 1 Гр = 1 Дж/кг	<b>рад</b> 1 рад = 0.01 Гр = 100 эрг/г
<i>Эквивалентная доза</i>	<b>Зиверт (Зв)</b> 1 Зв = 1 Гр/W <sub>R</sub>	<b>Бэр</b> 1Бэр = 0.01 Зв
<i>Эффективная доза</i>	<b>Зиверт (Зв)</b>	<b>Бэр</b>
<i>Коллективная эффективная доза</i>	<b>Человеко-Зиверт (чел-Зв)</b>	<b>Человеко-Бэр (чел-Бэр)</b> 1 чел-Бэр = 0,01 чел-Зв

# ФЗ РФ №3-ФЗ « О радиационной безопасности населения»

## *Статья 9. Государственное нормирование в области обеспечения радиационной безопасности*

п.2. Санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы в области обеспечения радиационной безопасности утверждаются в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Устанавливаются следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории РФ 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 пять 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 0,05 Зв при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,02 Зв.

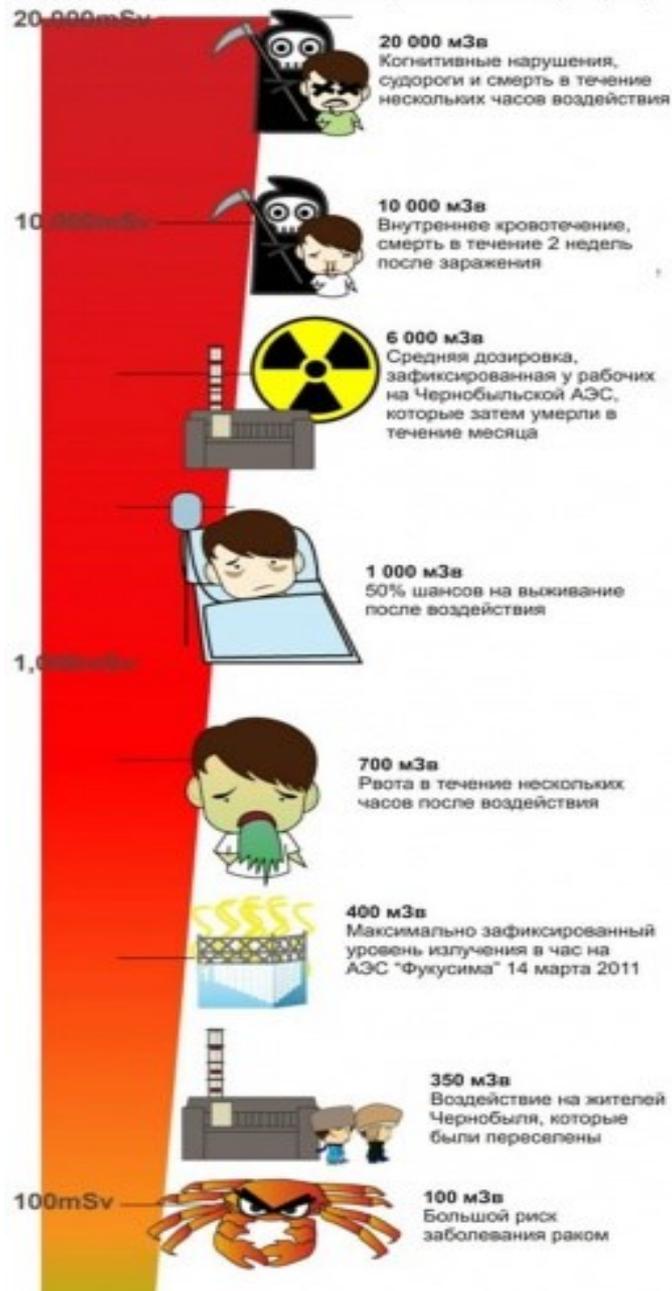
Регламентируемые значения основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур и лечения. Указанные значения пределов доз облучения являются исходными при установлении допустимых уровней облучения организма человека и отдельных его органов.

В случае радиационных аварий допускается облучение, превышающее установленные основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз), в течение определенного промежутка времени и в пределах, определенных санитарными нормами и правилами



## Уровни опасной радиации

В данной инфографике иллюстрируется количество радиоактивного облучения, с которым мы сталкиваемся в повседневной жизни и которые могут быть вредными для здоровья. Измерения в миллизивертах (мЗв)



## Результаты воздействия радиоактивного облучения в различных дозах:



Дозы радиационного облучения, которые влияют на здоровье или ведут к летальному исходу

**Зиверт (Зв)** — единица эквивалентной дозы излучения в системе СИ\*

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}^{**}$$

\* Международная система единиц

\*\* Бэр — единица эквивалентной дозы любого вида ионизирующего излучения

### Наиболее вероятные эффекты при кратковременном облучении

- ▶ **10000 мЗв (10 Зв)** — смерть в течение нескольких недель
- ▶ **Между 2000 и 10000 мЗв (2 – 10 Зв)** — острая лучевая болезнь с вероятным фатальным исходом
- ▶ **1000 мЗв (1 Зв)** — риск появления раковых заболеваний многими годами позже

### Нормальный радиационный фон

#### 3 мЗв/в год —

естественные природные источники ионизирующего излучения, включая мощность дозы почти в 2 мЗв/в год от радона в воздухе. Эти уровни радиации близки к минимальным дозам, получаемым всеми людьми на планете

### Типичный радиационный фон

#### 0,3 – 0,6 мЗв/в год —

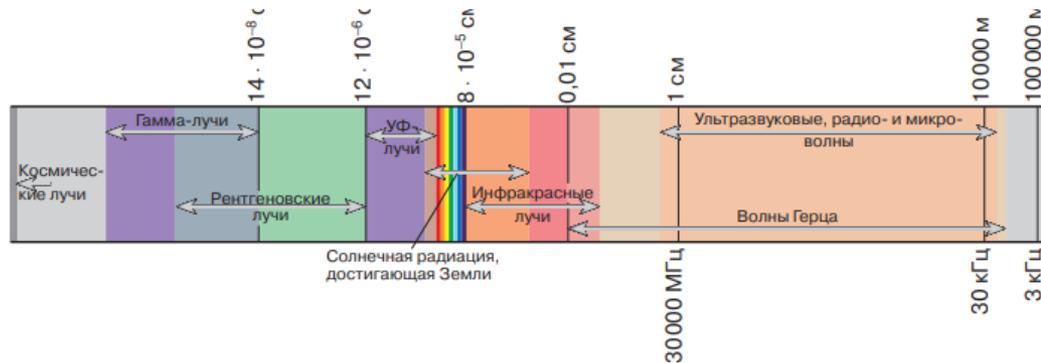
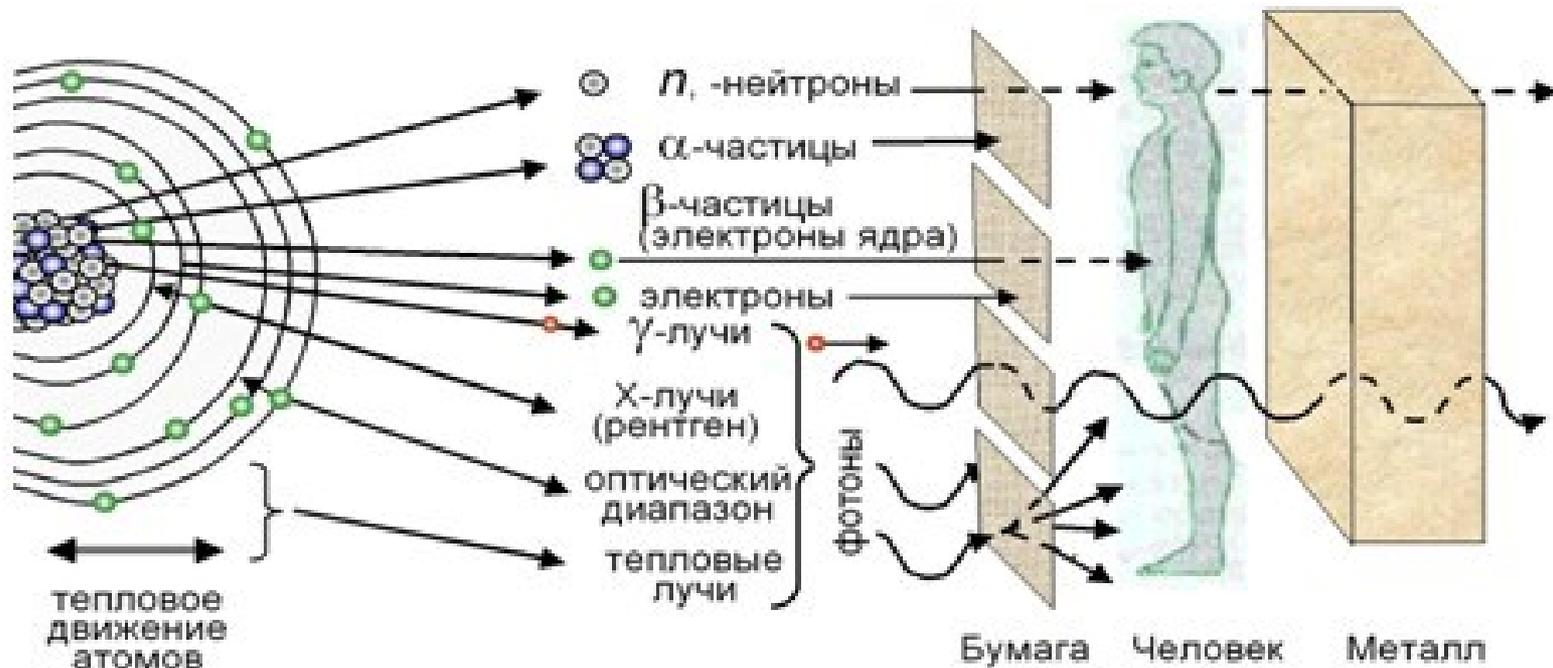
искусственные источники излучения, главным образом медицинские

### Фоновая радиация

#### 0,05 мЗв/в год —

уровень, требуемый по нормам безопасности, вблизи ядерных электростанций. Фактическая доза вблизи ядерных объектов намного меньше

# Воздействие радиации на живой организм.



**Рис. 1.** Спектр электромагнитного излучения. Чем левее на этом спектре находится положение излучения, тем большей проникающей способностью оно обладает

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ИИ НА ЧЕЛОВЕКА НАЗЫВАЕТСЯ ОБЛУЧЕНИЕМ.

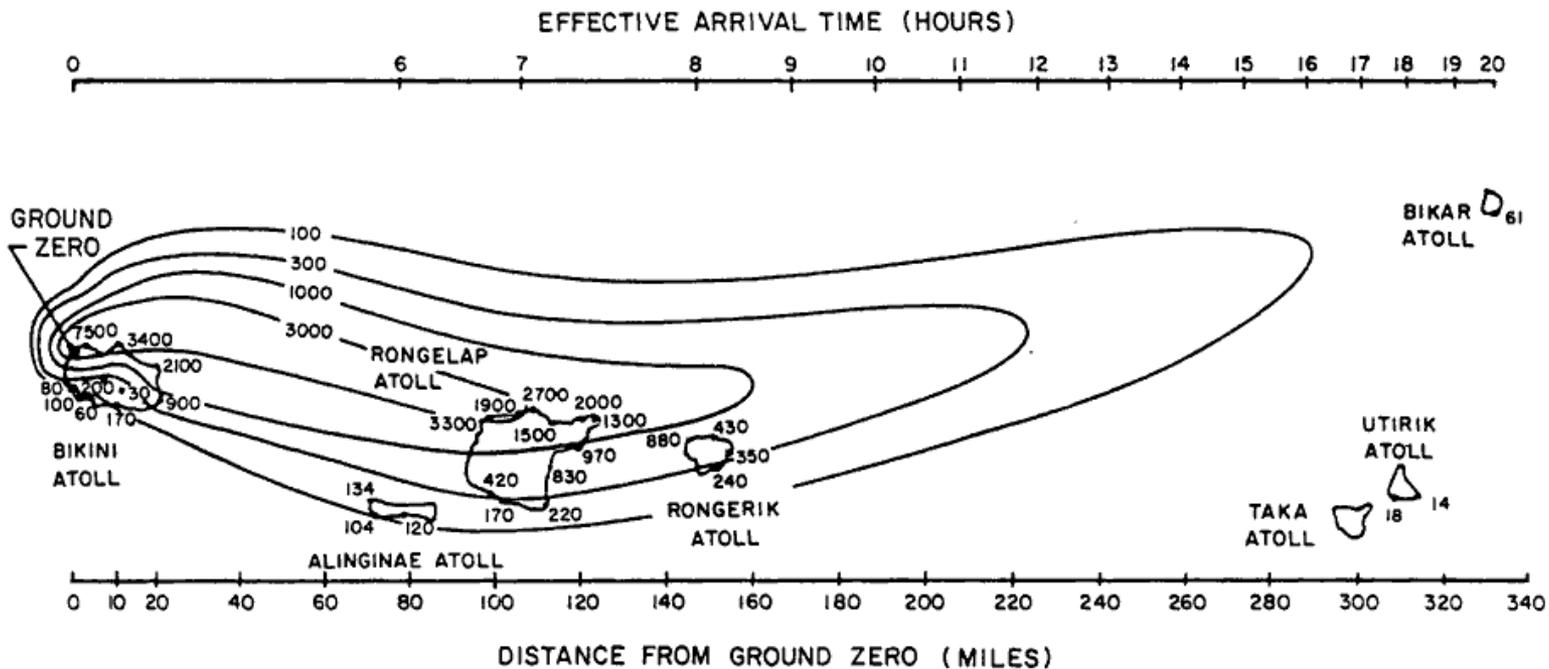
Виды облучения человека:

- Внешнее – от источника ИИ, расположенного вне организма;
- Внутреннее – от источника ИИ, расположенного внутри организма;
- Контактное – от источника ИИ, попавшего на кожу или одежду;
- Сочетанное – при облучении разными видами ИИ;
- Комбинированное – облучение, при котором кроме облучения есть травмы.

# НАКОПЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

- Уже в **1896 г.** Броун и Осгоуд обнаружили **азооспермию у молодых мужчин** Вальховым и Гизель обнаружено **лучевое поражение кожи, выпадении волос.**
- В **1902 г.** Фрибен **описал первый лучевой рак кожи** (перед этим появились сведения о том, что X-лучи поражали клетки опухоли).
- В **1903 г.** Боун определил важнейшую роль поражения ядра клетки при облучении.
- В 1903 г. Лондон (русский исследователь) обнаружил летальное действие лучей радия (а Хейнеке X-лучей) на мышей. Хейнеке описал **лучевую анемию и лейкопению, поражение органов кроветворения.**
- 1905 г. - Корнике обнаружил лучевое торможение клеточного деления. Хальберштадтер наблюдал атрофию яичников у облученных животных.
- **1906 г.** Бергонье и Трибондо сформулировали принцип: **“чем быстрее делятся клетки и чем менее они дифференцированы, тем они чувствительнее к радиации”**.
- В **1911 г.** Опубликована Лондоном первая в мире монография по радиобиологии “Радий в биологии и медицине”.
- 1924-1925 гг. Дессауэр и Кроузер сформулировали принцип "попадания" в радиобиологии - лучевое поражение клеток связано со случайным дискретным поглощением энергии излучения в "мишенях" – уникальных структурах клетки.
- В **1925 г.** Надсон и Филиппов в опытах на дрожжах, Меллер (1927) на дрозофиле установили **действие радиации на генетический аппарат клетки**

# «БРАВО»



Шлейф радиоактивных осадков и распространение опасного уровня радиации над площадью свыше 160 км, в том числе и над обитаемыми островами, после испытания «Браво». Контурные линии показывают суммарную дозу излучения в Р в течение первых 96 часов после испытания. (1 миля = 1600м)

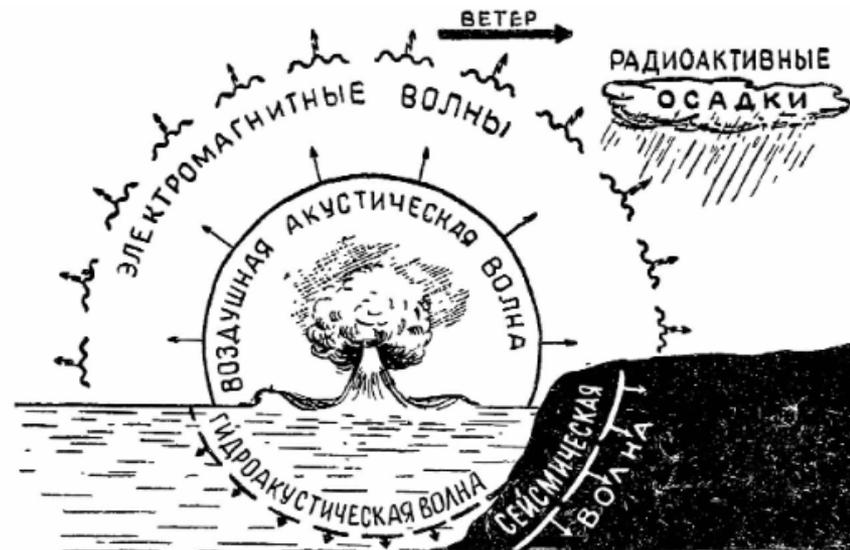
# «ДАЙГО ФУКУРЮ МАНУ»



122 км от эпицентра



Ядерные испытания на атолле Бикини



Образующиеся при ядерном взрыве акустические, гидроакустические и сейсмические волны в воздухе, воде и в земной коре, а также электромагнитные волны и радиоактивные продукты.

# Пути поступления радионуклида в организм человека.

## Воздушные радиоактивные загрязнители



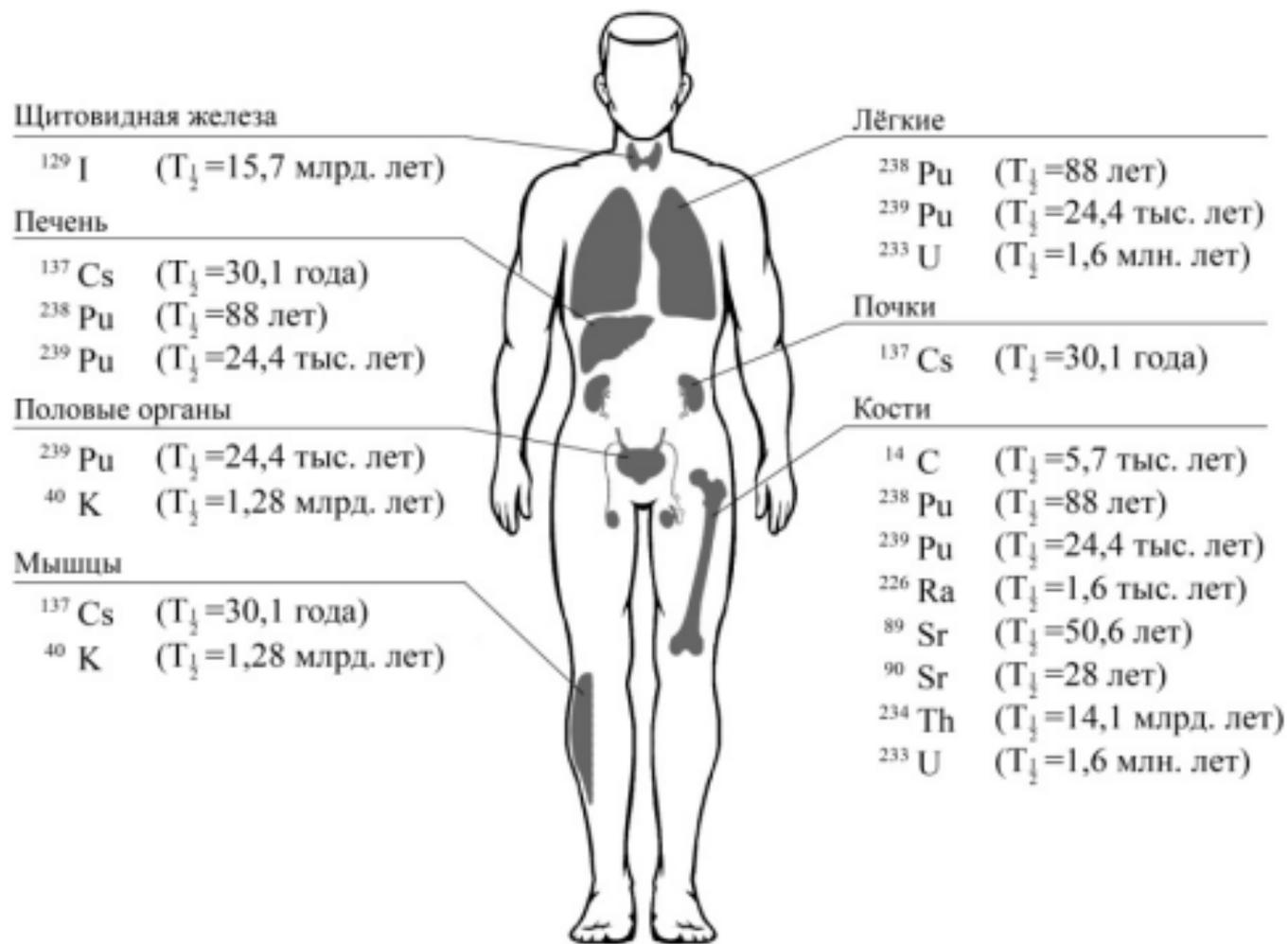
# ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Имеет место в том случае, если радионуклиды попали внутрь организма одним из следующих путей:

1. ингаляционно, через дыхательные пути, при вдыхании радиоактивных аэрозолей, газов, паров, пыли, дыма;
2. через ЖКТ (с пищей, водой);
3. через кожу и конъюнктиву глаз (контактный путь);
4. Через царапины, раны, ожоги.

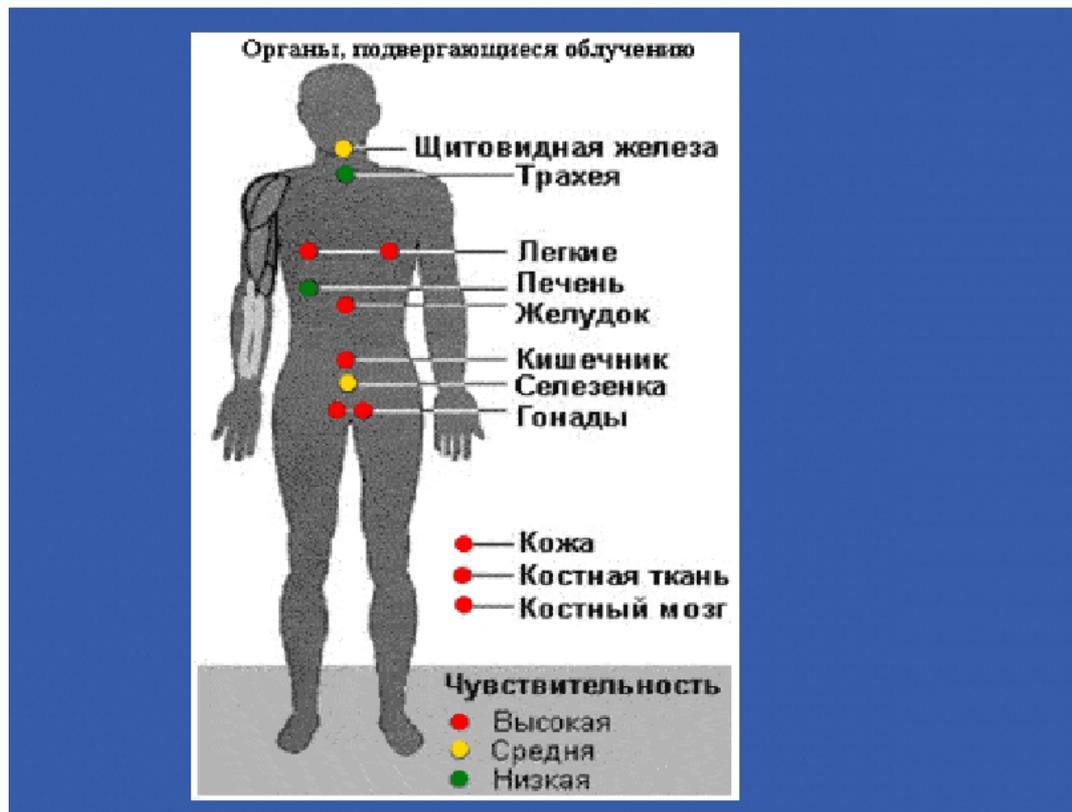
Выраженность биологического эффекта облучения зависит не только от величины поглощенной дозы, но и от мощности дозы (скорости ее накопления), от вида ИИ, составляющих его частиц и энергии, а также от состава и плотности облучаемого вещества и от радиочувствительности объекта облучения.

Каждому биологическому объекту (различными клеткам, тканям и целым органам) свойственна своя мера восприимчивости к воздействию ИИ-**радиочувствительность**. Разделяют - тканевую, видовую и индивидуальную.



**Рис. 3.2. Места накопления радионуклидов в организме человека**

## Воздействие радиации на различные органы



Биологическое действие ИИ в организме условно разделяют на три уровня:

физико-химический,  
клеточный,  
организменный, или системный.

## ПЕРВИЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ИИ)

ИИ, воздействуя на живой организм, вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений.

- 1-й этап (атомарный уровень) – ионизация и возбуждение. (Происходит передача энергии ИИ излучаемому объекту.)

Время протекания:  $10^{-16} \text{—} 10^{-14} \text{ с}$

При этом происходит отрыв электронов от атомов, образование ионов, возникновение возбужденных атомов и др. Эти активные молекулы и обломки молекул индуцируют различные реакции в тканях организма.

# К ЧЕМУ ПРИВОДИТ?

**Простые вещества:** (молекулы состоят из атомов одного и того же элемента – газы, металлы т.д.) процессу ионизации соответствует процесс рекомбинации.

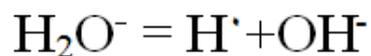
Ионизированный атом присоединят к себе один из свободных электронов, которые всегда имеются в среде, в результате вновь образуется нейтральный атом. Возбужденный атом возвращается в нормальное состояние путем перехода электрона с внешних оболочек на более близко расположенные к атомному ядру. При этом происходит испускание одного или нескольких фотонов характерного излучения.

Т.о. ионизация и возбуждение атомов простых веществ не приводят к каким-либо изменениям физико-химической среды

## К ЧЕМУ ПРИВОДИТ?

Сложные вещества: (молекулы состоят из большого числа различных атомов) происходит диссоциация молекул в результате разрыва хим.связей. – Это прямое действие ИИ. *(косвенное действие ИИ – радиационно-химические изменения в данном растворенном веществе обусловленные продуктами радиолиза воды)*

В результате ионизации молекулы воды (в биологической ткани 60-70% по массе составляет вода) образуются свободные радикалы по следующей схеме:



В присутствии кислорода образуются также свободный радикал гидроперекиси и перекись водорода, являющиеся сильными окислителями.

Свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме.

**Результат: отравление организма продуктами распада клеток - нарушение обменных процессов, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые хим.соединения, не свойственные организму – ТОКСИНЫ.**

# СПЕЦИФИКА ДЕЙСТВИЯ ИИ

Производимый им эффект обусловлен не только обусловлен не столько количеством поглощенной энергии, сколько той формой, в которой эта энергия передается.

*Например, смертельная доза ИИ для человека = 6 Гр (600 рад), что соотв. Поглощенной энергии излучения 6 Дж/кг (6 эрг/г). Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы тело на 0,001 град.С*

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ

Изменения в молекулярной структуре облучаемого биологического объекта –

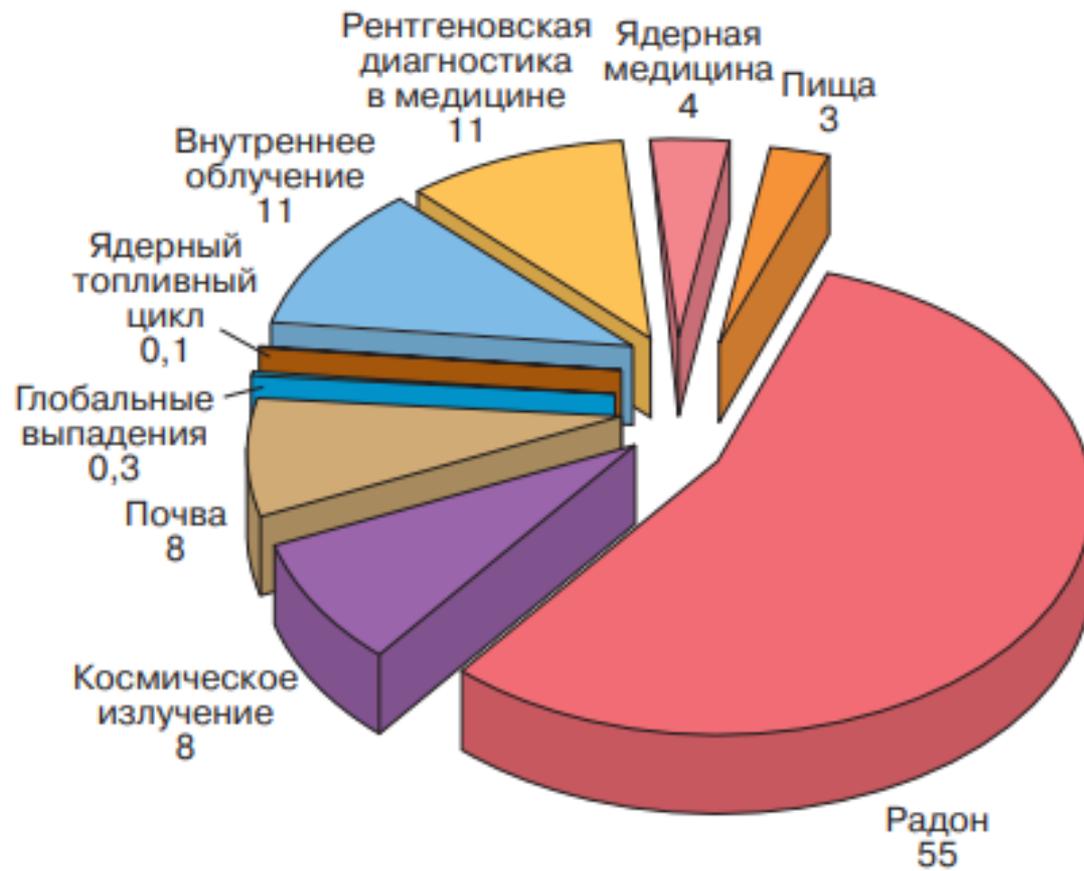
$10^{-10} – 10^{-6}$  с. (2-й этап)

**3-й этап** – диссоциация молекул, образование новых соединений под воздействием радикалов ведет к нарушениям в клеточной структуре биологической ткани – это может вызывать нарушение кинетики клеточного деления, взаимодействие клеток, изменение их генетического аппарата или гибель.

**Время протекания:** от нескольких секунд до многих часов и дней и развиваются на протяжении всего процесса радиационного поражения.

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ





Источники радиации. Составные компоненты годовой дозы (в %) от естественного фона.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСТРОГО ОБЛУЧЕНИЯ

- Острые лучевые поражения(короткий промежуток времени – часы, дни)
- Отдаленные последствия (длительный промежуток времени - годы)

Кроме того, в организме под действием излучения может произойти нарушение структурных элементов, ответственных за наследственность (опасны для следующего поколения)

# РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ

При оценке опасности облучения, которому могут подвергаться отдельные контингенты людей и популяция в целом радиационные эффекты принято дифференцировать на *соматические* и *генетические*.

К *соматическим* относятся те изменения в состоянии здоровья, которые произошли у данного индивидуума в результате облучения. Проявляются в виде острой и хронической или хронической лучевой болезни, локальных лучевых повреждений отдельных органов или тканей, а также в виде отдаленных реакций организма.



В случае крайне тяжелой формы заболевания костный мозг пострадавшего бывает полностью разрушен радиацией и самостоятельной регенерации состава крови не происходит. В таком случае единственным способом терапии является пересадка пациенту донорских костномозговых клеток.

- Для острых лучевых воздействий характерно наличие связи между уровнем облучения и реакцией организма (имеют порог, т.е. проявляются после превышения некоторой дозы излучения)

## При однократном равномерном $\gamma$ -облучении всего тела в дозе:

- До 0.25 Гр (25 рад) – нельзя обнаружить каких либо изменений в состоянии здоровья человека (не наблюдаются изменения в крови).
- 0.25-0.5 Гр (25-50 рад) – отсутствуют внешние признаки лучевого поражения (могут наблюдаться лишь временные изменения в крови, кот. Быстро нормализуются)
- 0.5 – 1.0 Гр (50-100 рад) – возникает чувство усталости, без серьезной потери трудоспособности(менее чем у 10% облученных может появиться рвота, наблюдаются умеренные изменения в крови.)

## ПРИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЕ:

- 1.5 – 2.0 Гр (150-200 рад) – наблюдается кратковременная легкая форма острой лучевой болезни (*в виде выраженной, продолжающейся длительное время лимфопении – кол-во лимфоцитов в крови менее 1000/мкл*). В 30-50% случаев может наблюдаться рвота в первые сутки после облучения. Смертельные исходы отсутствуют.
- 2.5 – 4.0 Гр (250-400) рад – лучевая болезнь средней степени тяжести (*в первые сутки наблюдается тошнота и рвота, резко снижается содержание лейкоцитов в крови, появляются подкожные кровоизлияния, в 20% случаев возможен смертельный исход. Смерть наступает через 2-6 нед после облучения*)
- 4.0 – 6.0 Гр (400-600 рад) – развивается тяжелая форма лучевой болезни. (*В течении месяца после облучения смертельный исход возможен в 50% случаев*)
- 6.0 Гр (600 рад) – крайне тяжелая форма лучевой болезни. (*В крови почти полностью исчезают лейкоциты, появляются множественные подкожные кровотечения, кровавый понос. Смерть наступает в 100% случаев. Причина смерти – инфекционные заболевания и кровоизлияния*)

# ВИДОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (ПО КРИТЕРИЮ ЛД<sub>50</sub>)

Биологический вид	ЛД <sub>50</sub>	Класс
Овца	1,5-2,5	Млекопитающие
Осел	2,0-3,8	Млекопитающие
Собака	2,5-3,0	Млекопитающие
Человек	2,5-3,5	Млекопитающие
Обезьяны	2,5-6,0	Млекопитающие
Крыса	7,0-9,0	Млекопитающие
Мышь	8,6-9,0	Млекопитающие
Кролик	9,0-10,0	Млекопитающие
Птицы	8,0-20,0	Птицы
Черепаша	15	Рептилии
Золотая рыбка	20	Рыбы
Растения	10-100	
Рыжий таракан	64	Насекомые
Насекомые	10-100	Насекомые
Амеба	1000	
<i>Deinococcus radiodurans</i>	1500	Бактерии

ЛД<sub>50</sub> – средняя летальная доза, т.е. доза убивающая половину облученных организмов в эксперименте.

Таблица 2.3

Воздействие различных доз облучения на организм

Доза, Гр	Причина и результат воздействия
$(0,7-2) \cdot 10^{-3}$	Доза от естественных источников в год
0,02	Предельно допустимая доза профессионального облучения в год
0,20	Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
1,0	Доза возникновения острой лучевой болезни
3,5	Без лечения 50% облученных умирает в течение 1–2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга
10–50	Смерть наступает через 1–2 недели вследствие поражений главным образом желудочно-кишечного тракта
100	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

Таблица 2.4

Дозы, вызывающие нестохастические (детерминированные) эффекты

Органы и ткани	Нестохастический эффект	Доза, Зв
Все тело	Лучевая реакция	0,5
Все тело	Лучевая болезнь легкой степени	1,0–2,0
Все тело	Лучевая болезнь средней степени	2,0–3,0
Все тело	Лучевая болезнь тяжелой и крайне тяжелой формы	3,0–3,5
Все тело	50% летальность в течение 60 дней	3,5–4,5
Кожа	Переходящая эритема, временная эпиляция	3,0
Легкие	Пневмония	5,0
Легкие	Смерть	10,0
Половые железы	Кратковременная стерилизация	0,2–1,0
Уровень естественного фона, Зв/год		0,0007–0,0045
Предельная доза профессионального облучения в год (до 1996 г.)		0,05
То же, после 1996 г.		0,02

## ОСТРАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ НЕ ПЕРЕХОДИТ В ХРОНИЧЕСКУЮ

ХРОНИЧЕСКАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ – ОБЩЕЕ ЗАБОЛЕВАНИЕ ОРГАНИЗМА, РАЗВИВАЮЩЕЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ИИ В ОТНОСИТЕЛЬНО МАЛЫХ, НО ПРЕВЫШАЮЩИХ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ДОЗАХ.

- Развивается в случае систематически повторяющегося облучения, когда дозы излучения ниже тех, которые вызывают острую лучевую болезнь.
- Признаки – изменение в составе крови (уменьшение числа лейкоцитов, малокровие) и ряд симптомов со стороны нервной системы. *Признаки хронической лучевой болезни не специфичны и встречаются иногда при болезнях, развивающихся в следствии других причин, поэтому диагностировать хроническую лучевую болезнь можно только, когда достоверно известно, что в течение длительного времени индивидуум подвергался лучевому воздействию.*

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

