



**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ**

**Кафедра мобилизационной подготовки
здравоохранения
и медицины катастроф**

Основы биологического действия ионизирующих излучений

Профессор, д.м.н. С.Н. Линченко

Всё на Земле, включая человека, постоянно находится в сфере воздействия естественного и техногенного радиационного фона.

Радиоактивные загрязнения стали важным фактором, определяющим состояние среды обитания человека, благополучна или неблагополучна экологическая обстановка.

Несоизмеримы по масштабам с техногенными воздействиями и авариями последствия применения ядерного оружия.



Атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки (6 и 9 августа 1945 г.) — единственные в истории примеры боевого применения ядерного оружия

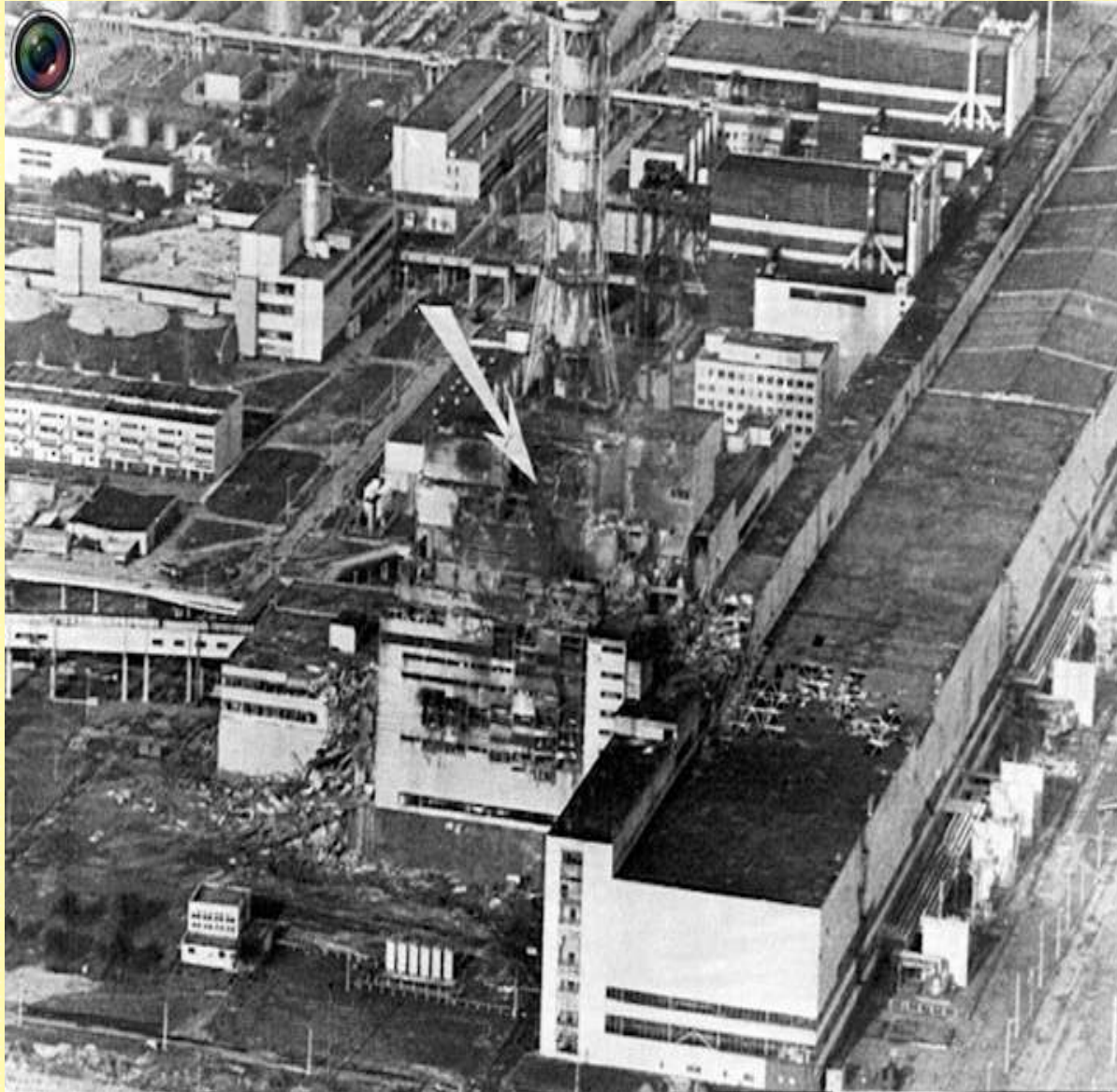


«Три цвета характеризуют для меня день, когда атомная бомба была сброшена на Хиросиму: чёрный, красный и коричневый. Чёрный, потому что взрыв отрезал солнечный свет и погрузил мир в темноту. Красный был цветом крови, текущей из израненных и переломанных людей. Он также был цветом пожаров, сжёгших всё в городе. Коричневый был цветом сожжённой, отваливающейся от тела кожи, подвергшейся действию светового излучения от взрыва»

(По воспоминаниям Акико Такакура, одной из немногих выживших, находившихся в момент взрыва на расстоянии 300 м от эпицентра)

Тень человека, в момент взрыва сидевшего на ступеньках лестницы перед входом в банк, 250 метров от эпицентра взрыва атомной бомбы (центр Хиросимы)

Чернобыльская катастрофа 26 апреля 1986 года



Около 30 лет назад произошла страшная катастрофа на Чернобыльской АЭС, которая унесла многие жизни и надолго отложилась в памяти. Основным поражающим фактором этой аварии стало радиоактивное заражение. Более 50 человек погибли сразу в первые дни после аварии. Взрыв на Чернобыльской АЭС, создал облако радиоактивной пыли, которые накрыло не только Украину, но и большую часть Белоруссии, России, часть Европы.

Самая страшная ядерная катастрофа в истории США произошла на атомной станции **Три-Майл –Айлэнд** в Пенсильвании. Около 140 000 человек были вынуждены покинуть свои дома после отказа целого ряда систем оборудования, проблем с ядерным реактором и вследствие человеческого фактора, которые привели к расплавлению части атомного топлива в реакторе. Хотя это расплавление привело к увеличению радиационного фона на территории станции, жертв среди населения не было. Однако пострадала сама ядерная энергетика. Было заморожено строительство новых атомных станций сроком на тридцать лет.





Первый блок атомной станции «Фукусима-1», фотография сделана 11 марта 2011 года. Вследствие произошедшего в Японии мощного землетрясения, на станции произошел взрыв, который привел к выбросу значительного количества радиоактивных веществ в атмосферу и эвакуации местных жителей с территории радиусом в 20 километров. Землетрясение и цунами привели к повреждению системы охлаждения, что вызвало увеличения давления на бетонные стены вокруг реактора. Непосредственно после взрыва власти заверили, что выброс небольшой и пострадали от облучения только три человека.

Предмет радиобиологии составляют

многообразные проявления действия излучений на всех уровнях организации живого – от молекулярного до организменного, а часто и популяционного, механизмы возникновения этих проявлений, влияние на развитие конкретных биологических эффектов условий воздействия радиации (вида излучения, его дозы, мощности дозы, ее распределения в пространстве, продолжительности облучения).

На грани со смежными науками сформировались **радиационная биохимия, радиационная иммунология, радиационная гематология, радиационная генетика, радиационная цитология** и др.

Эффекты, наблюдающиеся после воздействия излучений, позволяют понять механизмы функционирования этих систем и сущность этих процессов. Многие достижения последних десятилетий в биохимии, молекулярной биологии, иммунологии, генетике, геронтологии, вообще в медицине, стали возможны лишь благодаря тесным связям этих наук с радиобиологией. Это и открытие механизмов ферментативной репарации ДНК, и выяснение и конкретизация наиболее ранних этапов развития кроветворных клеток, и раскрытие сложных межклеточных кооперативных взаимодействий в иммунном ответе, и изучение процессов физиологической регенерации и т.д.

ЦЕЛЮ радиобиологических исследований является познание закономерностей биологического действия ионизирующих излучений и обоснование таких важных прикладных аспектов, как:

- ✗ - прогнозирование последствий радиационных воздействий;
- ✗ - нормирование радиационных воздействий при работе с источниками ионизирующих излучений;
- ✗ - разработка режимов поведения и защитных мероприятий при вынужденном пребывании в зонах воздействия ионизирующих излучений;
- ✗ - разработка средств и методов профилактики радиационных поражений, диагностики и прогнозирования тяжести поражений, обоснование проведения при них неотложных мероприятий первой помощи и последующего лечения;
- ✗ - разработка наиболее рациональных режимов терапевтического облучения и др.

**СТРУКТУРА
РАДИОБИОЛОГИИ
В ПРАКТИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Радиобиология

```
graph LR; A[Радиобиология] --- B[Радиационная гигиена]; A --- C[Радиационная экология]; A --- D[Радиобиология опухолей]; A --- E[Космическая радиобиология];
```

**Радиационная
гигиена**

**Радиационная
экология**

**Радиобиология
опухолей**

**Космическая
радиобиология**

ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ИХ СВОЙСТВА.

Ионизирующие излучения (ИИ) получили своё название по свойству, отличающему их от большинства остальных излучений – способности вызывать ионизацию атомов и молекул в облучаемом веществе.

Все ИИ подразделяются на электромагнитные и корпускулярные.

- × В зависимости от источника электромагнитные ИИ подразделяются на тормозное, характеристическое и γ -излучение.**
- × К корпускулярным ИИ относят нейтроны и ускоренные заряженные частицы.**

- × **Тормозное излучение** возникает при замедлении в электрическом поле (например, окружающем атомные ядра), ускоренных заряженных частиц.
- × **Характеристическое излучение** обусловлено энергетическими перестройками внутренних электронных оболочек возбуждённых атомов.
- × **γ -излучение** является продуктом ядерных превращений радиоактивных элементов (радиоизотопов).

Рентгеновское излучение

Совокупность тормозного и характеристического излучения называют рентгеновским излучением («Х-излучение»).

В земных условиях оно всегда имеет искусственное происхождение, в то время как γ -излучение может иметь как искусственное, так и естественное происхождение

Рентгеновское излучение

Наиболее важные свойства электромагнитных ИИ стали известны человечеству уже через 50 суток после их обнаружения.

28 декабря 1895 г. В.К. Рёнтген вручил председателю вюрцбургского физико-медицинского общества тезисы, содержащие характеристику X-излучения.

Основные её положения приведены в таблице:

СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Общие со свойствами видимого света

- × распространяются прямолинейно;
- × не отклоняются в магнитном и электрическом полях;
- × имеют интенсивность, обратно пропорциональную квадрату расстояния до их источника

Отличные от свойств видимого света

- × Невидимы невооружённым глазом;
- × Проникают сквозь непрозрачные для видимого света материалы;
- × Частично задерживаются различными материалами в прямой зависимости от плотности этих материалов;
- × не отражаются от зеркальных поверхностей;
- × не фокусируются оптическими линзами и не преломляются оптическими призмами;
- × не дают интерференционную картину при пропускании сквозь обычные дифракционные решётки;
- × ионизируют газы, изменяют цвет стекла, минералов, засвечивают фотопластинки, завернутые в светонепроницаемую бумагу.

Несмотря на значительные различия свойств рентгеновского излучения и видимого света, немецкому физику Макс Лауэ в 1912 г. удалось выяснить, что они тождественны по своей природе, различаясь лишь длиной волн.

Самые длинные из волн рентгеновского излучения на порядок короче, чем волны видимого света (длина волны меньше 365 нм), что объясняет их разное поведение на зеркальных поверхностях, в линзах и на дифракционных решетках.

С этим же связано и наличие у рентгеновских и γ -лучей ионизирующих свойств.

Ионизация веществ лежит в основе биологической активности ИИ.

Этот же феномен используется для их выявления и количественной оценки (дозиметрии).

Способы защиты от ионизирующих электромагнитных излучений

«Защита экранированием»

- × Показателем экранирующей способности материалов является толщина их слоя, ослабляющего излучение вдвое - СЛОЙ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ.
- × Коэффициент ослабления электромагнитных ИИ растёт с увеличением порядкового номера в таблице Менделеева, а значит, и атомной массы входящих в вещество элементов.
- × Наиболее эффективно экранируют от электромагнитных ИИ вещества, содержащие тяжёлые металлы.
- × Свинец и барий вводят в состав материалов, используемых при сооружении помещений для лучевой диагностики и терапии.

Способы защиты от ионизирующих электромагнитных излучений

«Защита расстоянием»

основана на зависимости интенсивности потока ИИ от расстояния до его источника.

«Защита временем»

минимизация времени воздействия ИИ на человека.

КОРПУСКУЛЯРНЫЕ ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

К корпускулярным ИИ относят **нейтроны** и **ускоренные заряженные частицы**.

Нейтронное излучение возникает при бомбардировке атомного ядра ускоренной заряженной частицей или фотоном высокой энергии.

При взрывах атомных боеприпасов источником этих частиц служат цепные реакции деления ядер урана. Другой путь образования нейтронов – синтез ядер лёгких элементов – дейтерия ($1D2$), трития ($1T3$) и лития ($3Li6$), происходящий при взрывах термоядерных (водородных) боеприпасов.

Большинство нейтронов, образующихся при взрывах атомных боеприпасов, относится к быстрым нейтронам, а при взрывах водородных боеприпасов – к нейтронам очень больших энергий.

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЙТРОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭНЕРГИИ

Название	Энергия частицы
Тепловые	$< 0,1 \text{ эВ}$
Медленные	$0,1 - 500,0 \text{ эВ}$
Промежуточные	$0,5 - 100,0 \text{ кэВ}$
Быстрые	$0,1 - 10,0 \text{ МэВ}$
Очень больших энергий	$10 - 1000 \text{ МэВ}$
Сверхбыстрые (релятивистские)	$> 1000 \text{ МэВ}$

Проникающая способность нейтронов несколько меньше, чем у γ -излучения, но существенно больше, чем у других ускоренных заряженных частиц.

При ядерных и водородных взрывах нейтронный поток распространяется на сотни метров, легко проникая сквозь стальную броню и железобетон.

Энергия нейтронов наиболее эффективно передаётся ядрам лёгких атомов. Поэтому вещества, богатые атомами водорода, бериллия, углерода, находят применение в экранировании от нейтронного излучения.

Тяжёлые металлы могут применяться для ослабления вторичного γ -излучения, возникающего в лёгких материалах в результате рассеяния нейтронов и ядерных перестроек.

УСКОРЕННЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ

Ускоренные заряженные частицы – это перемещающиеся в пространстве источники электрического поля (поток электронов - β -частиц и протонов, ядер атома гелия - α -частиц).

Естественные заряженных радиоизотопы.	источники частиц:	ускоренных природные
--	------------------------------	---------------------------------

Искусственные части:	источники	заряженных
искусственные радиоизотопы и ускорители заряженных частиц.		

Проникающая способность ускоренных заряженных частиц

Пробег β -частиц в воздухе составляет десятки сантиметров, а α -частиц – миллиметры.

Одежда надёжно защищает человека от воздействия этих излучений извне.

Однако поступление их источников внутрь организма является опасным, поскольку пробег α - или β -частиц в тканях превышает размеры клеток, что создаёт условия для воздействия излучения на чувствительные к нему субклеточные структуры.

СИ

Внесистемные единицы (СГС)

Экспозиционные дозы (единицы излучения до полного распада)	измерения интенсивности
Доза, при которой в 1 кг сухого воздуха ионы несут заряд в 1 Кл 1 Кл/кг	Доза, при которой в 1 см³ сухого воздуха образуется $2,08 \times 10^9$ пар ионов $1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза	γ-излучения
1 Гр = 1 Дж/кг	1 рад = 1 Р = 0,01 Гр («radiation absorbed dose»)
Биологическая	эквивалентная доза
1 Зв – доза, вызывающая при хроническом облучении любого типа биологический эффект, сопоставимый с 1-кратным воздействием 1 Гр γ-лучей	1 бэр = 0,01 Зв

СИ

Внесистемные единицы (СГС)

Мощность	излучения
1 А/кг или 1 Зв/год	1 Р/ч (мР/ч, мкР/ч) или бэр/год
Активность	излучения
1 Бк = 1 распад /сек	1 Ки = $3,7 \times 10^9$ Бк = активность 1 г радия до полного распада

ОСНОВНЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

Дозиметрическая величина	Единица, её наименование, обозначение		Соотношение единиц
	Внесистемная	СИ	
Экспозиционная доза	Рентген (Р)	Кулон на килограмм (Кл/кг)	$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$
Мощность экспозиционной дозы	Рентген в час (Р/час)	Ампер на килограмм (А/кг)	$1 \text{ А/кг} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ Р/час}$
Поглощённая доза	Рад (рад)	Грей (Гр)	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
Мощность поглощённой дозы	Рад в час (рад/час)	Грей в секунду (Гр/с)	$1 \text{ Гр/с} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ рад/час}$
Эквивалентная доза	Бэр (бэр)	Зиверт (Зв)	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Мощность эквивалентной дозы	Бэр в год (бэр/год); зиверт в год (Зв/год)	Зиверт в секунду (Зв/с)	$1 \text{ Зв/с} = 3,15 \cdot 10^9 \text{ бэр/год}$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (ОБЭ) ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ КЛЕТОК

Ионизирующее излучение	Величина ОБЭ
Рентгеновское, γ - и β -излучение	1
Нейтроны медленные	3
Нейтроны быстрые и очень больших энергий	10
α -излучение	20

Значение **мощности дозы** излучения состоит в том, что при равной дозе облучения радиобиологические эффекты выражены тем сильнее, чем больше мощность дозы излучения.

В зависимости от величины мощности дозы различают

- **кратковременное,**
- **продолгованное**
- **хроническое облучение.**

Кратковременным облучение считается при мощности дозы свыше 0,02 Гр/мин.

В случае облучения организма человека, если не менее 80% всей дозы регистрируются не более чем за 4 суток, облучение называется **ОДНОКРАТНЫМ**.

Непрерывное радиационное воздействие в течение нескольких месяцев или лет называют **ХРОНИЧЕСКИМ**, а **продолгованное** облучение занимает промежуточное положение между первыми двумя.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

- **естественные**
- **искусственные (техногенные)**

Совокупность потоков ИИ, происходящих из **естественных источников**, называется **природным радиационным фоном Земли** и играет важную роль в качестве движущей силы изменчивости биологических видов, а также одного из факторов поддержания неспецифической резистентности организма.

Извне на организм воздействует в основном **γ -излучение**, источником которого являются, преимущественно, **радиоактивные вещества**, присутствующие в земной коре.

В промышленно развитых странах от естественных источников население получает около $2/3$ суммарной дозы облучения.

Большинство естественных источников ИИ таковы, что избежать их излучения невозможно: это радиоактивные вещества, входящие в состав организма.

Их вклад в суммарную дозу от естественных источников составляет около $2/3$.

Медицинские процедуры (лучевая диагностика и лучевая терапия) обуславливают около $1/3$ суммарной дозы, а вклад в неё атомной энергетики, других мирных форм применения источников ИИ и испытаний ядерного оружия пренебрежимо мал.

Искусственные (техногенные) источники ИИ

- рентгеновские трубки,
- ускорители заряженных частиц,
- устройства, содержащие радионуклиды:
 - **открытые** (имеющие непосредственный контакт с атмосферой),
 - **закрытые** (в герметичной оболочке).

Закрытые источники ИИ используют с целью внешнего лучевого воздействия на объекты.

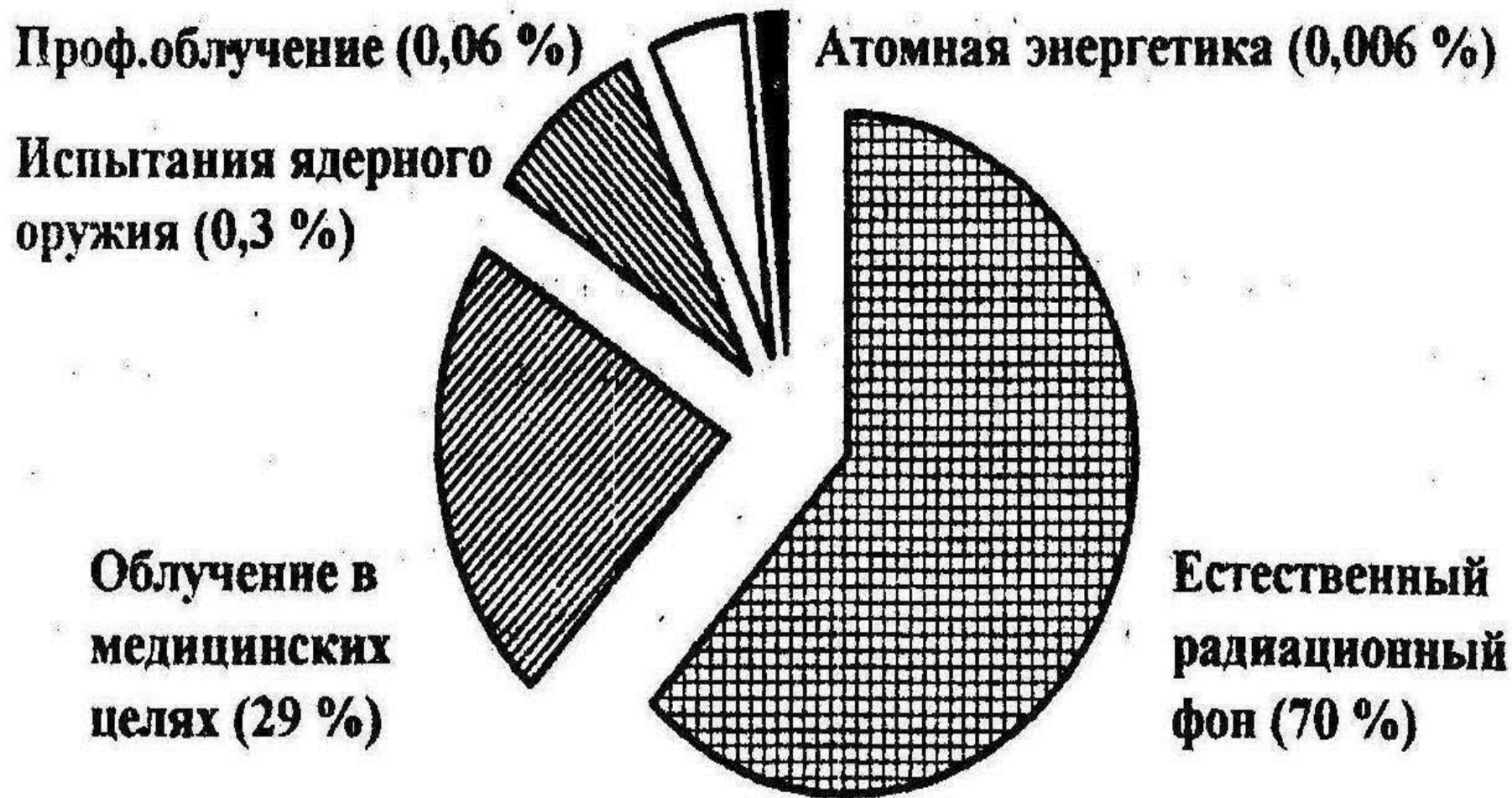
Они являются конструктивным элементом γ -терапевтических установок, дефектоскопов, атомных реакторов, а также некоторых дозиметрических и радиометрических приборов.

Источниками слабого рентгеновского излучения могут служить радиолампы и электронно-лучевые трубки, широко представленные в производственной и бытовой технике.

Однако в штатных условиях эксплуатации интенсивность лучевого воздействия на человека со стороны этих устройств не выходит за основные дозовые пределы, регламентируемые нормами радиационной безопасности.

Основной вклад в дозу, получаемую человеком от искусственных источников ИИ, в настоящее время вносят лечебные и диагностические процедуры. Лучевая нагрузка при некоторых из них указана в таблице. В развитых странах дозы облучения населения с медицинскими целями втрое выше, чем в мире в среднем.

ВКЛАД ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ СТРАН



Основной вклад в дозу, получаемую человеком от искусственных источников ИИ, вносят лечебные и диагностические процедуры

**ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ
ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ МЕДИЦИНСКИХ ПРОЦЕДУРАХ**

Медицинская процедура	Доза излучения, сГр (Р)
Рентгенография грудной клетки	1
Флюорография грудной клетки	5
Рентгеноскопия грудной клетки	5 – 10
Рентгеноскопия брюшной полости	10 - 20
Лечение злокачественных опухолей	2000 - 10000

ИСТОЧНИКИ ИИ, НАИБОЛЕЕ АКТУАЛЬНЫЕ В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

В случае применения ядерного оружия или крупномасштабных аварий на объектах ядерной энергетики ожидается многократное возрастание интенсивности лучевых воздействий на организм.

Основными радиационными факторами ядерного взрыва являются

- × проникающая радиация,**
- × радиоактивное заражение местности**



Воздействие ионизирующей радиации на биологические объекты



«Рыжий лес» – легенда Чернобыльской зоны отчуждения. После аварии на ЧАЭС радиоактивному заражению подверглись около 10 км² хвойных деревьев. Во время работ по дезактивации территории лес был снесен бульдозерами и захоронен.

ЛУЧЕВЫЕ ПОРАЖЕНИЯ

- × Лучевые поражения от внешнего облучения
 - поражения в результате общего (тотального) облучения
 - местные лучевые поражения от внешнего облучения
- × Поражения от наружного заражения покровных тканей радионуклидами
- × Поражения от внутреннего радиоактивного заражения

КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Радиобиологическими эффектами называются изменения, возникающие в биологических системах при действии ИИ.

Критериями их классификации служат

- × уровень формирования,**
- × сроки появления,**
- × локализация,**
- × характер связи с дозой облучения,**
- × значение для судьбы облучённого организма,**
- × возможность передачи по наследству последующим поколениям и другие.**

Уровни формирования радиобиологических эффектов

- × На **молекулярном уровне** облучение биосистем вызывает изменения, обусловленные взаимодействием биомолекул с самим излучением либо продуктами радиолиза воды: разрывы, сшивки, изменения последовательности мономеров в молекулах биополимеров, потерю ими фрагментов, окислительную модификацию, образование аномальных химических связей с другими молекулами. Повреждения ДНК - основа радиобиологических эффектов, формирующихся на более высоких иерархических уровнях биосистемы.
- × На **клеточном уровне** воздействие ИИ вызывает интерфазную или репродуктивную гибель клеток, временный блок митозов и нелетальные мутации.
- × Действие ИИ на **системном уровне** характеризуется цитопеническим эффектом, в основе которого - гибель клеток и радиационный блок митозов.
- × Радиобиологические эффекты, возникающие **на уровне организма и популяции**, классифицируются в соответствии с критериями, перечисленными ниже.

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НА УРОВНЕ организма

Ближайшие эффекты

проявляются в сроки до нескольких месяцев после облучения и связаны с развитием цитопенических состояний в различных тканевых системах организма:

- острая лучевая реакция,**
- острая лучевая болезнь,**
- лучевая алопеция,**
- лучевой дерматит**

Отдалённые эффекты

Возникают спустя годы после облучения, на фоне полной регрессии основных клинических проявлений острого поражения.

Несмотря на причинную связь с облучением, отдалённые радиобиологические эффекты не являются специфическими для радиационного воздействия – эта патология вызывается и нелучевыми факторами.

Примерами отдалённых последствий облучения являются

- **опухоли,**
- **гемобластозы,**
- **гипопластические, дистрофические, склеротические процессы.**

Интегральным проявлением этих последствий служит **сокращение продолжительности жизни организмов**, перенесших острое лучевое поражение.

В случае общего внешнего однократного облучения млекопитающих сокращение продолжительности жизни составляет 2-6% средней видовой продолжительности жизни на каждый грей.

Сокращение продолжительности жизни у человека может составить по разным оценкам от 100 до 1000 сут на 1 Гр при однократном кратковременном облучении и порядка 8 сут - при хроническом.

При дозах < 2 Гр сокращение продолжительности жизни признается не всеми исследователями.

Предельно допустимые дозы облучения

В условиях ЧС

- × при **1-кратном** облучении (4 сут.):

$$50 \text{ Р} = 25 + 10 + 8 + 7$$

- × при **длительном (хроническом)**:

10-30 сут. - 100 Р

3 мес. - 200 Р,

12 мес. - 300 Р

В повседневной жизни

- × для **профессиональных категорий**:

5 бэр/год,

- × для **населения**:

0,5 бэр/год или 35 бэр/жизнь (на 70 лет)

КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

ЛОКАЛИЗАЦИЯ

При локальном облучении органа или сегмента тела наиболее сильное поражающее действие ИИ проявляется именно в нём (такой эффект называют местным действием ИИ).

Местное действие ИИ имеет решающее значение для возникновения не только ближайших, но и отдалённых радиобиологических эффектов.

КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

ХАРАКТЕР СВЯЗИ С ДОЗОЙ ОБЛУЧЕНИЯ

По данному критерию радиобиологические эффекты чётко разграничены на *стохастические (вероятностные) и нестохастические (детерминированные)*.

Признаками стохастического эффекта являются (1) беспороговость и (2) альтернативный характер. Беспороговость стохастических эффектов означает, что сколь угодно малые дозы облучения способны влиять на частоту их возникновения. Альтернативный характер проявляется в том, что стохастические эффекты, подчиняясь закону «всё или ничего», не могут быть охарактеризованы таким показателем, как «выраженность». Примером стохастического эффекта облучения на клеточном уровне может служить гибель клетки; на уровне целостного организма – возникновение злокачественной опухоли. С увеличением дозы облучения вероятность возникновения стохастического эффекта растёт.

Признаками нестохастического эффекта являются (1) пороговый характер и (2) градиентная связь амплитуды с дозой облучения. Если доза облучения превышает пороговую величину (D_n), то нестохастический эффект возникает со 100% вероятностью, причём его амплитуда монотонно возрастает с увеличением дозы.

КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

У больных, перенесших острую лучевую болезнь, в течение длительного времени, иногда всю жизнь, могут сохраняться **остаточные явления** и развиваться **отдаленные последствия**.

Остаточные явления чаще всего проявляются гипоплазией и дистрофией тканей. Это следствие неполного восстановления повреждений, лежавших в основе острого поражения: лейкопения, анемия, нарушения иммунитета, стерильность и др.

В отличие от них **отдаленные последствия** - это развитие новых патологических процессов, признаки которых в остром периоде отсутствовали, таких как катаракты, склеротические изменения, дистрофические процессы, новообразования, сокращение продолжительности жизни.

У потомства облученных родителей в результате мутаций в герминативных клетках могут проявиться генетические последствия.

Формы отдаленной лучевой патологии:

- неопухолевые отдаленные последствия;
- канцерогенные эффекты;
- сокращение продолжительности жизни.