


Обеспечение безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений





План

1. Характеристика ИИ, применение источников в медицине.
2. Биологические эффекты и гигиеническое нормирование.
3. Обеспечение радиационной безопасности и меры защиты при работе с источниками ИИ.



Изучению действия радиации на организм человека предшествовали открытия В. Рентгена, А. Беккереля, Э. Резерфорда, П. Кюри и М. Кюри.

- Первые данные о вредном действии радиоактивности на организм человека появились сразу же после открытия В. Рентгена, когда у больных после облучения появились дерматиты. А. Беккерель положил пробирку с радием в карман и получил в результате ожог кожи. Позднее П. Кюри описал процесс поражения кожи излучением радия. Сама Мария Кюри умерла от злокачественного заболевания крови, вызванного, скорее всего радиацией. Есть сведения о том, что около 330 человек, работавших с радиоактивными материалами в то время, умерли в результате облучения.

Характеристика ИИ, применение ИСТОЧНИКОВ в медицине.



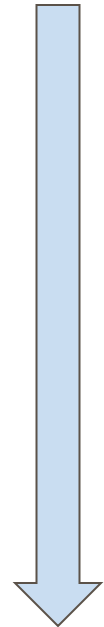
Методы использования ИИ в медицине по степени снижения безопасности работ

Безопасность
снижается

1. Рентгенодиагностика (**закрытый** ИИИ).
2. Дистанционная рентгено- и гамма-терапия (**закрытый** ИИИ).
3. Внутриполостная, внутритканевая и аппликационная терапия (**закрытый** ИИИ).

Наиболее **опасны**

4. Лучевая терапия и диагностика с помощью «**открытых**» ИИИ.





Важно знать определение терминов -

закрытый источник и открытый источник

Закрытый источник -

ИИИ, при
использовании
которого
исключается
попадание
радиоактивных
веществ в
окружающую среду

Открытый источник -

ИИИ, при
использовании
которого **возможно**
попадание
радиоактивных
веществ в
окружающую среду.

В качестве ИИИ в медицине применяются

- ускорители заряженных частиц
- рентгеновские установки
- гамма-установки
- радионуклиды (изотопы) – постоянные источники α , β , γ -излучений



Некоторые источники-радионуклиды и их периоды полураспада

Альфа - источники - Rn₂₂₂ - радон (3 дня)

Бета - источники - Y₉₀ - иттрий (64 часа),

I₁₃₁ (8,1 дня), P₃₂ (14,3 дня), Sr₉₀ (28 лет).

Гамма - источники – Tc₉₉ -технеций(6 часов)

Co₆₀ (5,3 года), Cs₁₃₇ (30 лет).





Свойства ИИ.

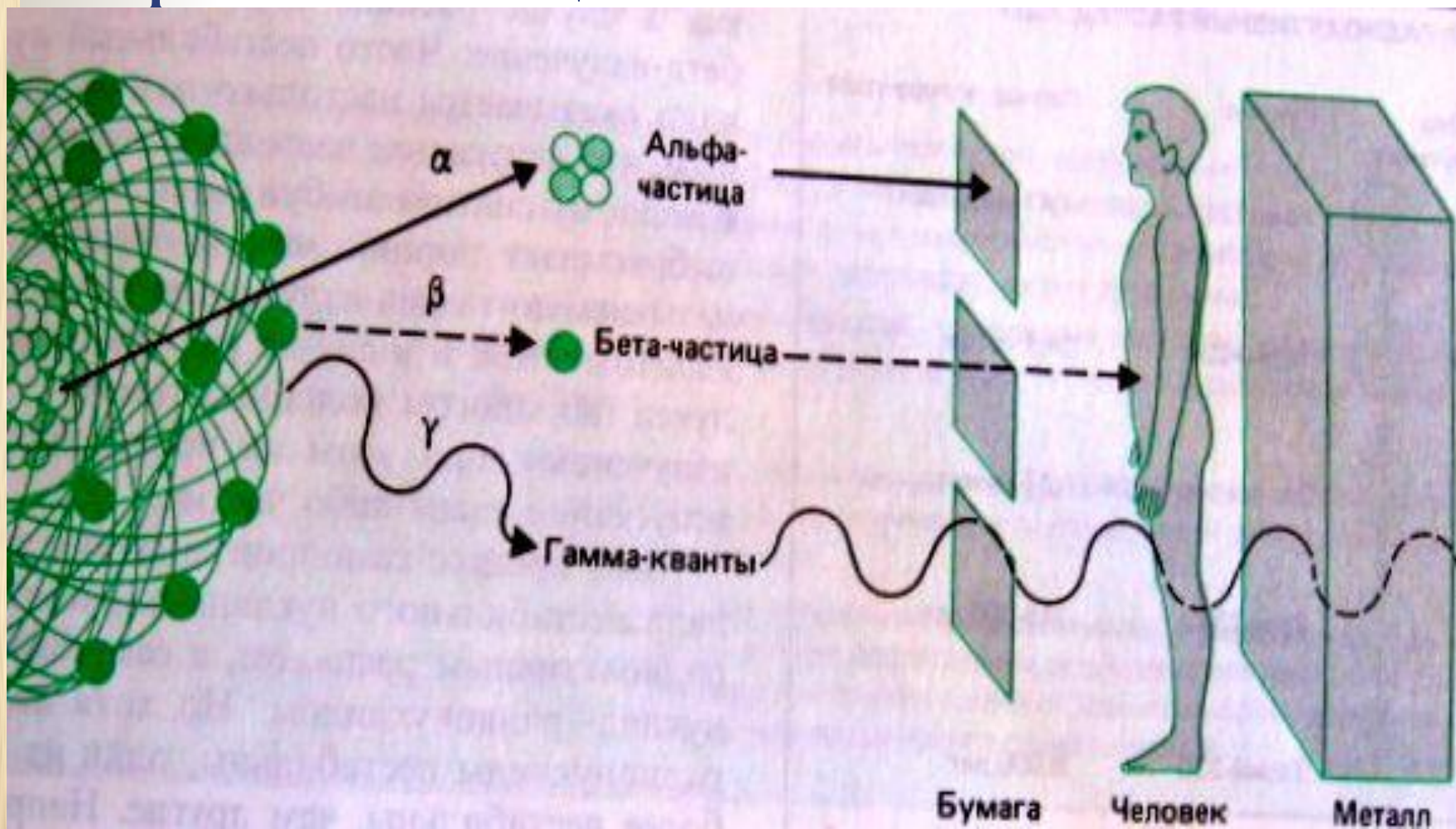
- **Ионизирующая способность.**

Характеризуется плотностью ионизации (количеством ионов на 1 см пробега в среде)

- **Проникающая способность.**

Характеризуется длиной пробега в среде.

Проникающая способность





Виды излучений

- α -излучение - поток положительно заряженных ядер атомов гелия (протонов); наибольшая ионизирующая и наименьшая проникающая способность - опасны при внутреннем облучении.
- β -излучение - поток отрицательно заряженных электронов; проникают на несколько см. - опасно при внешнем и внутреннем облучении.
- γ -излучение - электромагнитные колебания, максимальная проникающая и минимальная ионизирующая способность - опасно при внешнем облучении.
- Могут применяться нейтроны, позитроны



Этапы действия ИИ на организм

1. **Ионизация** – передача энергии ИИ атомам облучаемой ткани.
2. **Физико-химические превращения** с образованием свободных радикалов.
3. **Биохимические изменения** как последствия воздействия свободных радикалов – модификация молекул нуклеиновых кислот – нарушения в клетках, тканях, органах.
4. **Биологические эффекты** - **стохастические** и **нестохастические**.

Биологические эффекты

1. **Стохастические** (вероятностные или случайные) – не имеют порога вредного действия.

 канцерогенные

 мутагенные


2. **Нестохастические** (детерминированные или дозозависимые)

 лучевая болезнь и радиационные ожоги

 катаракты

- эмбрио- и гонадотропные эффекты

- дистрофические повреждения органов



Степень опасности радиоактивных веществ связана с **радиотоксичностью** – свойством радиоактивных элементов (изотопов) вызывать большие или меньшие патологические изменения.

Радиотоксичность зависит от :

вида излучения,
периода полураспада,
энергии излучателя,
продолжительности поступления,
путей поступления в организм,
времени пребывания в организме,
распределения по органам и системам.



Нормирование


- основано на определении доз, которые не должны превышать и соблюдение которых предотвращает возникновение **детерминированных** эффектов, при этом **стохастические** эффекты находятся на приемлемом уровне.



Нормирование зависит от

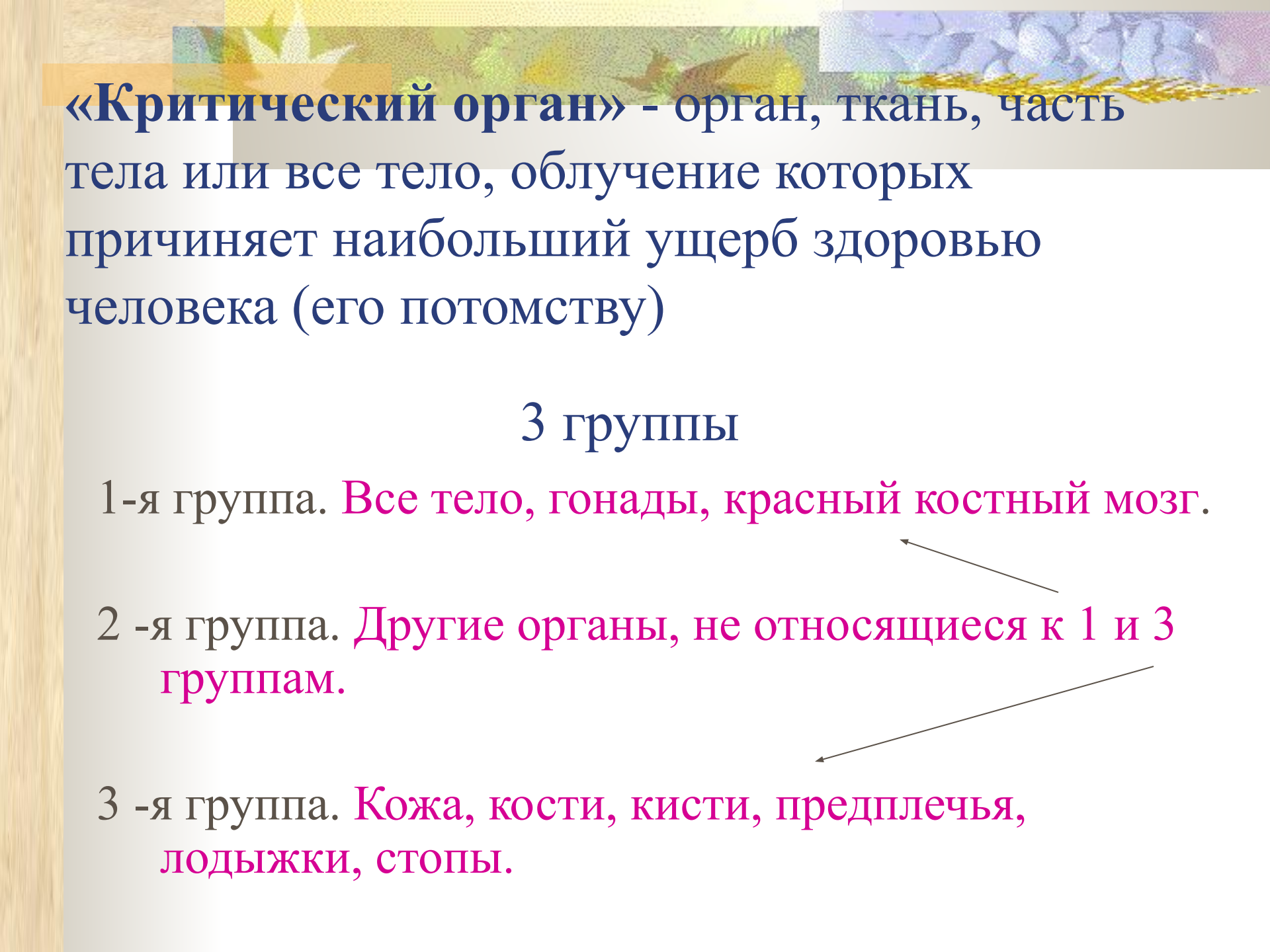
принадлежности человека к

- группам «персонала» (А, Б) или
- группе «населения»,
- а также понятия «критический орган»



«Персонал» подразделяют на подгруппы А, Б

- А - непосредственно работающие с ИИ
- Б - непосредственно не работают с ИИ, но могут находиться в сфере облучения.




«Критический орган» - орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которых причиняет наибольший ущерб здоровью человека (его потомству)

3 группы

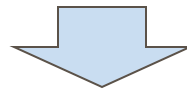
1-я группа. **Все тело, гонады, красный костный мозг.**

2 -я группа. **Другие органы, не относящиеся к 1 и 3 группам.**

3 -я группа. **Кожа, кости, кисти, предплечья, лодыжки, стопы.**




В основе распределения по группам «критических органов» лежит правило Бергонье - Трибондо.



- Интенсивность деления и степень дифференцированности клетки определяют ее радиочувствительность





Количественно ИИ характеризуется дозой.
Доза и мощность дозы определяют
биологический эффект.

Дозы

ЭКСПОЗИЦИОННАЯ,
ПОГЛОЩЕННАЯ,
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ.



Экспозиционная доза

измеряется по ионизации воздуха

- в системе СИ измеряется в кулон на килограмм **Кл/кг** (при такой дозе излучения в 1кг воздуха образуются ионы, несущие заряд равный 1 кулону)
- внесистемной единицей измерения является **Рентген (р)**



Поглощенная доза

количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы объекта за все время облучения

- в системе СИ измеряется в **Грей (Гр)** (при такой дозе 1 кг облученного вещества поглощает 1 Дж энергии)
- внесистемной единицей измерения является **рад**

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$



Эквивалентная доза

- доза рентгеновского излучения, которой соответствует по биологическому эффекту рассматриваемый вид излучения

$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} \times K$ (коэффициент качества)

- в СИ измеряется в **Зиверт (Зв)**
- внесистемной единицей измерения является **бэр** (биологический эквивалент рентгена)

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$



коэффициент качества

Зависит от энергии и вида частицы

Для α - частиц $K=20$

Быстрых нейтронов и протонов $K=10$

Рентгеновских, β и γ - лучей $K=1$

Эквивалентная доза в бэр равна дозе в радах,
умноженной на коэффициент качества!



Эффективная доза

доза, используемая как **мера риска** возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их коэффициента радиочувствительности (K_p)

$$D_{\text{эфф}} = \sum D_{\text{экв}} \times K_p$$

для органов и тканей этот коэффициент разный вследствие их разной чувствительности

- гонады $K_p = 0,2$
- красный костный мозг $K_p = 0,12$
- щитовидная железа $K_p = 0,05$
- кожа $K_p = 0,01$




Коллективная эффективная доза

это сумма эффективных доз, полученных всеми членами коллектива.

Характеризует опасность облучения для данного региона (используется для расчета возможности возникновения стохастических эффектов).

- В системе СИ измеряется в **чел.Зв** (человеко-зивертах)




Гигиеническое нормирование ИИ – основа профилактики

Которая проводится исходя из требований
следующих документов

НРБ-99 – нормы радиационной безопасности

ОСП-99 – основные санитарные правила



Для категорий облучаемых лиц в **НРБ-99**
устанавливаются три класса нормативов

- **основные пределы доз (ПД)**
 - допустимые уровни
 - контрольные уровни
-
- Основные пределы доз не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения и дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

хрусталик

кожа, кисти, стопы

Величины	Персонал	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за 5 лет, но не более 5 мЗв в год

Эквивалентная

доза за год

хрусталик

кожа, кисти,

стопы

150 мЗв

500 мЗв

15 мЗв

50 мЗв

ОСНОВНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ДОЗ



Эффективная доза

- для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв ,
- для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв

Обеспечение радиационной безопасности и меры защиты при работе с источниками





Радиационно-опасные операции

- транспортировка ИИИ,
- подготовка препарата к стерилизации,
- введение препарата,
- проведение сеанса облучения,
- укладка, транспортировка и обслуживание больного, которому введен препарат ИИИ.



Безопасность персонала

- достигается комплексом законодательных, организационных, технических, санитарно-технических и лечебно-профилактических мероприятий, позволяющих снизить дозу облучения, предотвратить детерминированные и вероятность стохастических эффектов; эти мероприятия основаны на 4-х принципах - защиты количеством, временем, расстоянием, экраном.



Принципы защиты

1. Защита **количеством**
2. Защита **временем**
3. Защита **расстоянием**
4. Защита **экранами**





Эти принципы подчиняются
закономерности, описанной формулой

$$m t / k r^2 \leq 20 \quad (120)$$

где

m-активность в мГ-экв Ra (радия)

t-время в часах

k-кратность ослабления экраном

r-расстояние в метрах

при расчете за неделю



Защита количеством

- Обеспечивается проведением работ с минимальным количеством радиоактивных веществ, уменьшением дозы при диагностическом обследовании за счет усовершенствования оборудования, например замены обычной томографии компьютерной.



Пультовая компьютерного томографа



Защита временем

- уменьшаем дозы облучения, сокращая срок работы с источником за счет повышения квалификации персонала, высокой степени автоматизма при выполнении процедур; меньшее значение имеют дополнительный отпуск, сокращение рабочего дня.



Защита расстоянием

- Наиболее эффективный метод защиты, обеспечивается достаточным удалением работающих от источника – используются дистанционное управление, манипуляторы, удлиненные рукоятки инструментов, санитарно-защитные зоны...



Защита экранами

- Это экранирование ИИИ материалами, поглощающими ионизирующее излучение (ИИ).

В зависимости от вида ИИ для изготовления экранов применяются различные материалы.

Лучшим материалом от **рентгеновского и γ -излучений** считается **свинец**, при этом минимальную толщину экрана в зависимости от энергии излучения в МЭВ (мегаэлектронвольтах) можно определить по таблице, при этом минимальную толщину экрана в зависимости от энергии излучения в МЭВ (мегаэлектронвольтах) можно определить по таблице, рассчитав по формуле **кратность ослабления К**.

- Защитным эффектом от **рентгеновского и γ -излучений** обладают также **бетон, кирпич** и другие строительные

Толщина свинцового экрана в см при различных кратности ослабления и энергии излучения

Кратность ослабления								
2	0,1	0,5	1,3	1,5	1,7	2,0	2,1	
10	0,3	1,6	3,8	4,5	5,1	5,9	6,5	
20	0,3	2,0	4,9	5,8	6,6	7,6	8,3	
40	0,4	2,4	5,8	6,85	7,8	9,1	10,0	
80	0,45	2,8	6,7	8,0	9,2	10,7	11,7	
100	0,5	3,0	7,0	8,45	9,65	11,3	12,2	
200	0,6	3,4	8,0	9,65	11,1	12,9	14,0	
500	0,65	4,0	9,2	11,3	12,9	15,0	16,3	
1000	0,7	4,4	10,1	12,3	14,1	16,5	18,0	
Энергия излучения Мэв	0,1	0,5	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	





Для защиты от β -излучения

- используются **стекло, алюминий, различные пластмассы**; использовать свинец нельзя вследствие возникновения «тормозного» излучения.



Защита от нейтронного излучения экранами наиболее сложна и


- для поглощения быстрых нейтронов они должны быть предварительно замедлены. Максимальным замедляющим эффектом обладают элементы с малым атомным номером - вода, парафин, бетон и другие материалы, содержащие в своем составе большое количество атомов водорода. Второй слой экрана из бора или кадмия задерживает медленные нейтроны, а третий слой из свинца задерживает гамма-излучение, возникающее при этом.

По своему назначению экраны могут быть разделены на 5 групп

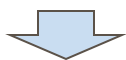
1. Защитные экраны – контейнеры для хранения ИИИ.
2. Защитные экраны оборудования.
3. Передвижные защитные экраны.
4. Защитные экраны как части строительных конструкций.
5. Экраны СИЗ (защищающие от внешнего облучения **фартуки и перчатки при работе с «закрытыми источниками»**)



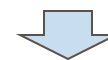
Передвижной экран



При работе с закрытыми ИИИ обязательно проводится контроль



Медицинский контроль – предварительные и периодические медосмотры, направленные на выявление противопоказаний к работе с ИИ и ранних изменений здоровья, регистрируемых по состоянию системы крови и функции нервной системы.



дозиметрический контроль - за дозой облучения персонала, по показаниям и другие виды контроля.



ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ в лечебных учреждениях

- **ВОЗМОЖНО** попадание **радиоактивных веществ в окружающую среду**. При этом опасно не только **внешнее**, но и дополнительное **внутреннее облучение** персонала за счет проникновения радиоактивных веществ в организм например через дыхательные пути; это определяет особенность мер защиты.



МЕРЫ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

- Использование основных принципов защиты (временем, расстоянием...)
- Герметизация
- Специальные СИЗ
- Планировка отделения
- Особенности санитарно-технических устройств
- Радиационная асептика
- Деконтаминация
- Все виды дозиметрического контроля

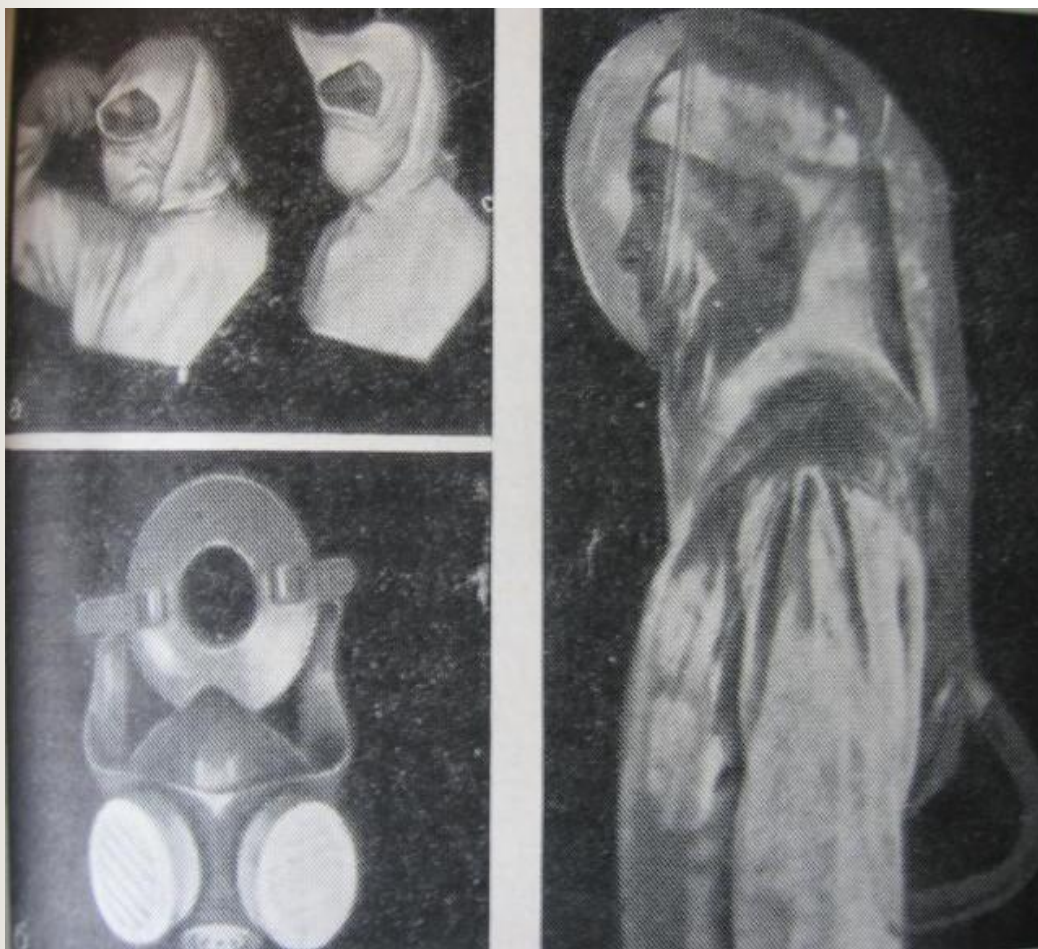




Герметизация

- оборудования, аппаратуры с целью изоляции процессов, которые могут явиться источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду - используются камеры-боксы, вытяжные шкафы
- Герметизация учитывается и в особенной конструкции СИЗ (пневмокостюмов, пневмошлемов)

конструкции СИЗ при работе с открытыми ИИИ




- СИЗ – для защиты органов дыхания, кожи и слизистых - **респираторы, пневмошлемы, пневмокостюмы** из полимерных материалов, которые легко поддаются деконтаминации и дезактивации



Планировка отделения

- Предусматривает максимальную изоляцию помещений и их **зонирование** (хранилище, фасовочная, операционная - «грязная зона») от помещений иного назначения и постоянного пребывания персонала (ординаторская, операторская... – так называемая «чистая» зона).
- Между зонами – санпропускник и дозиметрический контроль.
- Распределение помещений с учетом **поточности** – при этом пути движения ИИИ (хранилище → фасовочная → операционная...) не должны пересекаться.



Особенности санитарно-технических устройств и отделки помещений предусматривают возможность безопасного удаления возможных загрязнений

- Приточно-вытяжная **вентиляция** с потоком от менее загрязненных зон к более загрязненным с последующей **фильтрацией** удаляемого воздуха .
- В учреждениях, где ежедневно образуются жидкие радиоактивные отходы объемом свыше 200 л и удельной активностью, превышающей в 10 и более раз допустимую, устраивается **специальная канализация**.
- Если суточное количество жидких радиоактивных отходов не превышает 200 л., они собираются в специальные емкости для последующей отправки на пункты захоронения.
- Стены должны быть покрыты несорбирующими материалами, легко поддающимися обработке.



Условия безопасности при работе с открытыми источниками выполнение правил

радиационной асептики

и

личной гигиены

- совокупности мер, направленных на предупреждение попадания радиоактивных веществ на спецодежду и кожные покровы работающих

- в рабочей зоне запрещается курение, хранение пищевых продуктов, косметики, домашней одежды...
- необходимо предупредить прикосновение незащищенных пальцев руки к наружной (потенциально загрязненной) поверхности перчаток.



В случае загрязнения кожных покровов радиоактивными веществами

- требуется их своевременное удаление, так как со временем повышается степень фиксации радиоактивных веществ на коже.
- кожные покровы хорошо очищаются с помощью мыла и теплой воды.



Деконтаминация – удаление, обеззараживание (дезактивация) радиоактивных веществ

с рабочих поверхностей, оборудования, кожи, СИЗ
может быть проведена


- **механическим** (протираанием, снятием поверхностного слоя, с помощью щетки, пылесоса...) и
- **химическим** способами





Химическая деконтаминация


- К веществам, применяемым для этого, относятся поверхностно-активные (мыло, стиральные порошки, препараты ОП-7, ОП-10, «Контакт Петрова») и комплексообразующие соединения (полифосфаты, аминокполикарбоновые, лимонная и щавелевая кислоты и их соли).
- Для удаления радиоактивных загрязнений, имеющих химическую связь с материалом поверхности, могут применяться кислоты (соляная, серная, азотная) и окислители (перманганат калия, перекись водорода).



Так как при использовании **открытых ИИИ** возможно загрязнение среды, применяются все виды дозиметрического контроля

- За дозой облучения
- За загрязнением поверхностей
- За содержанием в воздухе
- За внутренним облучением





При дозиметрическом контроле используются следующие способы индикации

- Фотохимический
- Ионизационный (ионизационная камера и газоразрядный счетчик)
- Сцинтиляционный
- Термолюминесцентный



Фотохимический метод

Основан на потемнении **фотопленки** под действием ионизирующего излучения. Степень потемнения зависит от дозы. Оценка производится путем сравнения со стандартными шкалами или путем измерения на специальных приборах - денситометрах.



ИОНИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД

Основан на способности ионов, образующихся под воздействием ИИ, к направленному движению в электрическом поле. Такое поле может создаваться с помощью:

- Ионизационной камеры, где излучение вызывает образование ионов, возникает электрический ток, сила которого пропорциональна дозе.
- Газоразрядного счетчика - трубки, заполненной смесью инертных газов с галогенами под высоким напряжением - в этих условиях ионы способны при направленном движении выбивать электроны (e) из молекул газа – эффект вторичной ионизации.



Сцинтилляционный метод

Основан на том, что некоторые вещества (сернистый цинк, фосфор и другие) под воздействием излучения начинают светиться. Возникающие **световые вспышки (сцинтилляции)** регистрируются с помощью фотоумножителя.



Термолюминесцентный метод

- При нагревании таблеток фторидов некоторых элементов возникают световые вспышки, интенсивность которых пропорциональна полученной дозе ИИ и измеряется с помощью фотоумножителя.



Захоронение радиоактивных отходов

- Проводится на специальных пунктах захоронения **наземным или подземными** способами при использовании защитных мероприятий, аналогичных тем, которые используются **ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**



Радиационная безопасность считается обеспеченной, если соблюдаются :

- Принцип обоснования - запрещено всякое использование ИИ, если польза от этого не превышает вред.
- Принцип нормирования – не превышать гигиенические нормативы.
- Принцип оптимизации - поддержание на возможно низком уровне доз и количества облучаемых людей.



Радиация и гормезис

- Малые дозы радиации являются стимулирующим фактором - активируется клеточное размножение, повышается ферментативная активность; растет плодовитость животных, увеличивается их продолжительность жизни. Считается, что радиация – один из факторов появления жизни на Земле. Исследования Б. Коэна показали, что при концентрации радо́на в жилых помещениях от 20 до 250 Бк/м³ у жителей США при более высоких концентрациях смертность от рака легких была ниже!?





Приложение

Рентген Вильям (1845 – 1923)

- Выдающийся немецкий физик. Важнейшим достижением явилось сенсационное открытие X-лучей в 1895 г., позже названных рентгеновскими. Это открытие, наряду с открытием излучения урана Беккерелем, послужило толчком к развитию физики атома и имело важное прикладное значение в медицине.



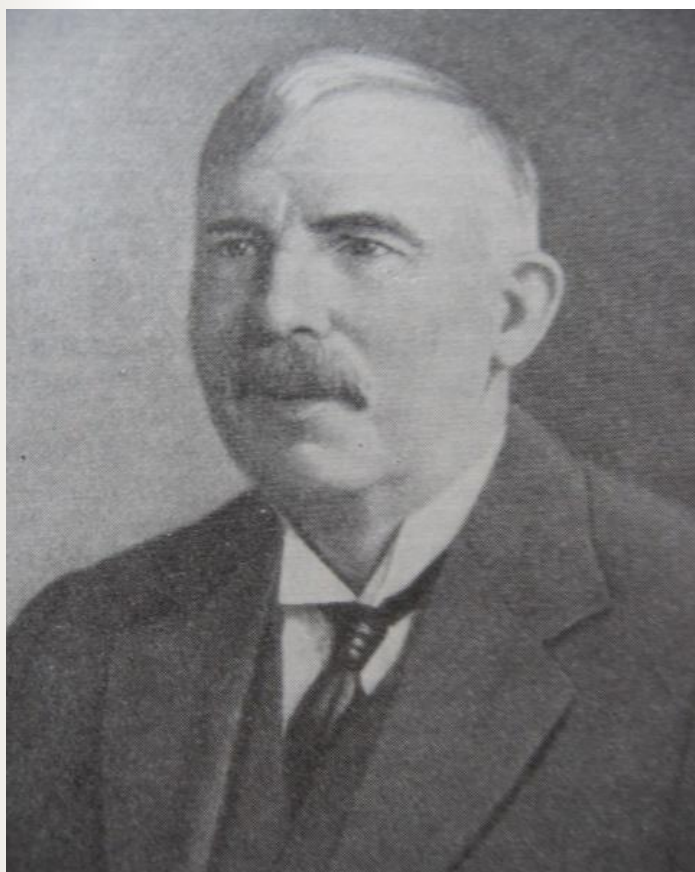
Беккерель Антуан Анри (1852 – 1908)



- физик, член Парижской Академии наук. В 1896 г. открыл явление излучения урана по засвечиванию фотопластины, позже названное радиоактивностью.



Резерфорд Эрнест (1871 – 1937)



- английский физик, своими открытиями заложил фундамент учения о строении атома и радиоактивности. В 1899 впервые обнаружил, что лучи от радиоактивных элементов имеют разную проникаемость и дал им название α - и β - лучей. Позже создал теорию радиоактивного распада, предложил планетарную модель атома, совершил ряд других открытий. Основал школу физиков, его учениками были Н. Бор, Дж. Чэдвик, Г. Гейгер и другие известные ученые, у него работали П. Л. Капица и Ю.Б. Харитон.



Кюри Пьер (1859 – 1906)



- французский физик и химик, совместно с женой Марией установили, что радиоактивные лучи вызывают изменения в клетках живых организмов. Совместно сделали и ряд других открытий.



М. Склодовская-Кюри (1867 – 1934)



- организовала работу Радиевого института в Париже, рентгеновского обслуживания госпиталей Франции в период 1-й Мировой войны,
- подготовила ряд известных ученых, среди которых ее дочь И. Жолио-Кюри и Ф. Жолио-Кюри.





Глоссарий



АКТИВНОСТЬ

- мера радиоактивности радионуклида





Внешнее облучение

- Воздействие на организм ИИ извне





Внутренне облучение

- Облучение организма, отдельных органов и тканей ИИ, испускаемым содержащимися в них радионуклидами





Дезактивация

- удаление или снижение радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или среды.





Загрязнение радиоактивное

- присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, теле человека.





Захоронение отходов

- безопасное размещение радиоактивных отходов без намерения их последующего извлечения.





Ионизирующее излучение (ИИ)

- Это любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков





Источник излучения (ИИИ)

- Вещество (установка), способное испускать ионизирующее излучение





Мощность дозы

- доза ИИ за единицу времени.





Население

- все лица, включая персонал вне работы с источниками ИИ.





Персонал

- лица, работающие с техногенными ИИИ (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).





Предел дозы

- величина годовой эффективной или эквивалентной дозы облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы






Радиоактивность

- явление, состоящее в самопроизвольном превращении ядер одних элементов в другие, которое сопровождается ионизирующим излучением (ИИ).





Средство индивидуальной защиты (СИЗ)

- средство защиты персонала от внешнего облучения, поступления радиоактивных веществ внутрь организма и загрязнения кожных покровов.





Литература.

1. Большаков А.М., Маймулов В.Г. Общая гигиена: учебное пособие.- М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006.- 736 с.
2. Василенко О.И. Радиационная экология.- М.: Медицина, 2004. - 216 с.
3. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена: учебник. - М.: Медицина, 1999. - 383 с.
4. Гигиена / Под ред. Г.И. Румянцева/.М: ГЭОТАР-Медиа, 2001.
5. Пивоваров Ю.П., Королик В.В., Зиневич Л.С. Гигиена и основы экологии человека. Ростов н/Дону, 2002.- 512 с.