



# Обеспечение безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений

# План

1. Характеристика и применение источников ионизирующего излучения (ИИ) 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 радиацией. Есть сведения о том, что около 330 человек, работавших с радиоактивными материалами в то время, умерли в результате облучения.

# Чернобыльская катастрофа



# Характеристика ИИ, применение ИСТОЧНИКОВ В МЕДИЦИНЕ.



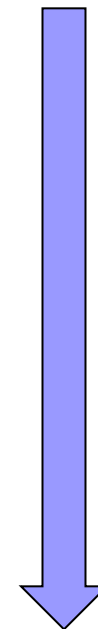
# Методы использования ИИ в медицине по степени снижения безопасности работ

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

Наиболее **опасны**

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

Безопасность  
снижается



## Важно знать определение терминов - закрытый источник и открытый источник

### Закрытый источник -

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

### Открытый источник -

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

В качестве ИИ в медицине применяются

- ускорители заряженных частиц
- рентгеновские установки
- гамма-установки
- радионуклиды (изотопы) – постоянные источники  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -излучений





## Некоторые источники-радионуклиды и их периоды полураспада

Альфа - источники -  $Rn_{222}$  - радон (3 дня)

Бета - источники -  $Y_{90}$  - иттрий (64 часа),

$I_{131}$  (8,1 дня),  $P_{32}$  (14,3 дня),  $Sr_{90}$  (28 лет).

Гамма - источники –  $Tc_{99}$  -технеций (6 часов)  $Co_{60}$  (5,3 года),  $Cs_{137}$  (30 лет).

# Свойства ИИ.

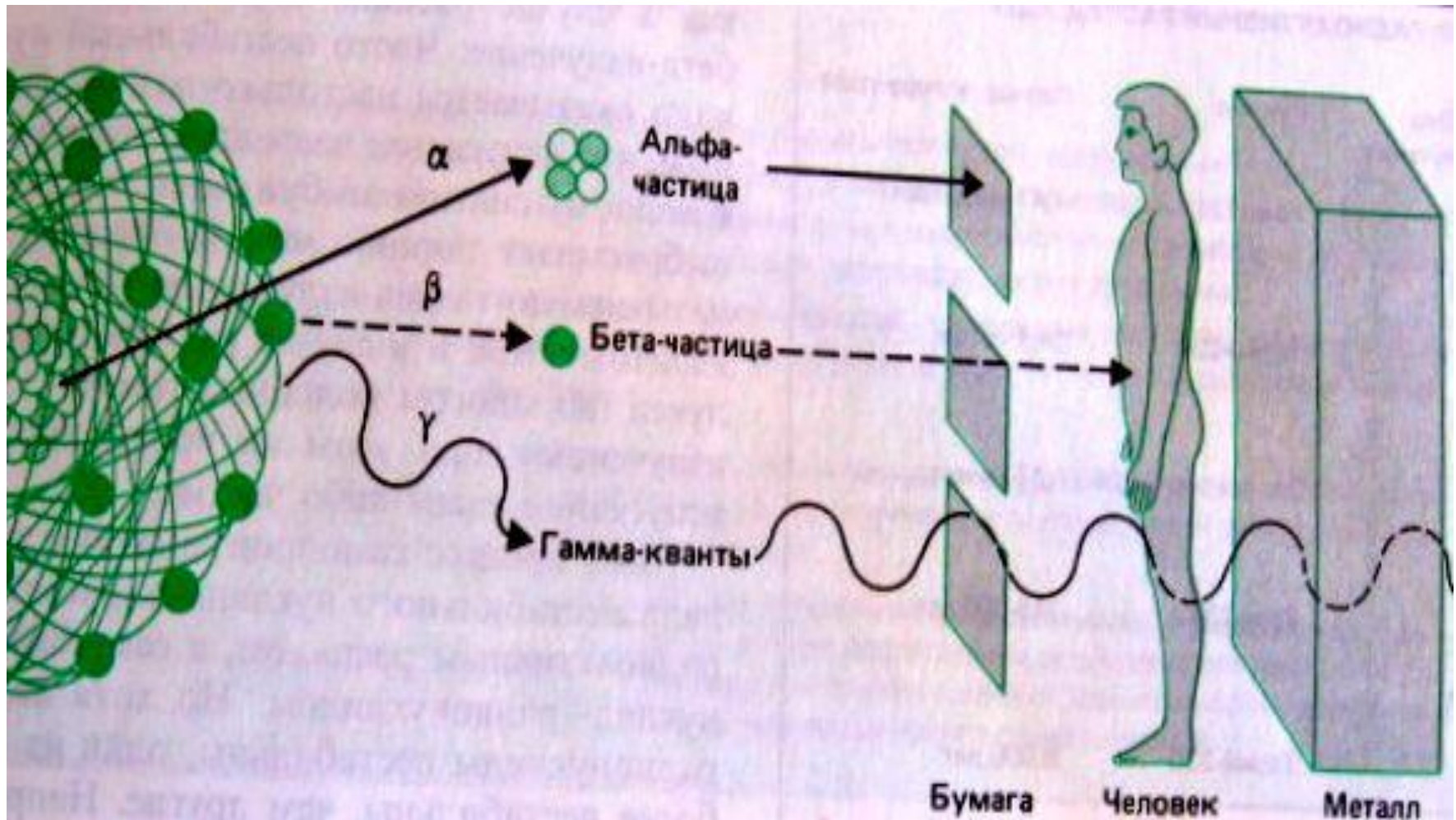
- **Ионизирующая способность.**

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

- **Проникающая способность.**

Характеризуется длиной пробега в среде.

# Проникающая способность



# Виды излучений

$\alpha$ -излучение - поток положительно заряженных ядер атомов гелия (протонов); наибольшая ионизирующая и наименьшая проникающая способность - опасны при внутреннем облучении.

$\beta$ -излучение - поток отрицательно заряженных электронов; проникают на несколько см. - опасно при внешнем и внутреннем облучении.

$\gamma$ -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)

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

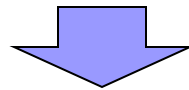


2 -я группа. Другие органы, не относящиеся к 1 и 3 группам.



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**
- внесистемной единицей измерения является **Рентген ( р )**

# Поглощенная доза

количество энергии, поглощенное единицей массы объекта за все время облучения

- в системе СИ измеряется в **Грей ( Гр )**
- внесистемной единицей измерения является **рад**

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$

# Эквивалентная доза

$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} \times K$  (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  $\alpha$  - частиц  $K=20$

Быстрых нейтронов и протонов  $K=10$

Рентгеновских,  $\beta$  и  $\gamma$  - 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

Проводится исходя из требований

ФЗ «О радиационной безопасности населения»

**НРБ** – нормы радиационной безопасности

**ОСПОРБ** – основные санитарные правила  
обеспечения радиационной безопасности



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

- **основные пределы доз (ПД)**
- допустимые уровни
- контрольные уровни

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

# Медицинское облучение

- В медицинских учреждениях добавляется еще одна группа лиц, облучение которых нужно контролировать – это пациенты.
- Медицинское облучение (диагностическое, терапевтическое, профилактическое) – второе по дозе воздействия после природного (20-29 % вклада всех источников)

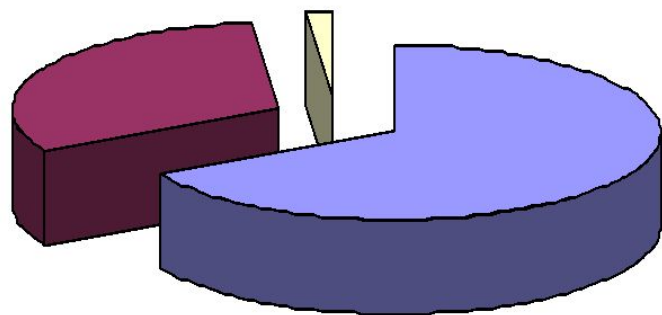


# Принципиальные отличия медицинского облучения

- Высокая мощность дозы
- Воздействие на ослабленный организм
- Преимущественное облучение одних и тех же органов
- Частое облучение групп высокого риска (детей, женщин детородного возраста)

- Основные пределы доз медицинского облучения не устанавливаются, ограничения устанавливаются путем обоснования и оптимизации.
- Принято обосновывать облучение, сравнивая пользу от него с возможным радиационным ущербом (риск должен быть обоснован и оптимизирован). Необходимо также учитывать пользу и риски, связанные с использованием альтернативных методов (МРТ, УЗИ...)

Уровень медицинского облучения (0,92 мЗв/чел в год



■ рентгенодиагностика

■ флюорография

■ нуклидная

■ Определенный вклад (около 30%) в эффективную дозу населения вносит медицинское облучение, а в последнее - его диагностические виды – флюорография и рентгенография.

# Обеспечение радиационной безопасности и меры защиты при работе с источниками



# Радиационно-опасные операции

- транспортировка ИИ,
- 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

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

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 ИИ материалами, поглощающими ионизирующее излучение.

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

Лучшим материалом от рентгеновского и  $\gamma$ -излучений считается свинец, при этом минимальную толщину экрана в зависимости от энергии излучения в МЭВ (мегаэлектронвольтах) можно определить по [таблице](#), рассчитав по формуле кратность ослабления  $K$ .

- Защитным эффектом от рентгеновского и  $\gamma$ -излучений обладают также бетон, кирпич и другие строительные материалы

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

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

# Для защиты от $\beta$ -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 задерживает медленные нейтроны, а третий слой из свинца задерживает гамма-излучение, возникающее при этом.

# По своему назначению экраны могут быть разделены на 5 групп

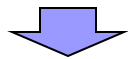
1. Защитные экраны – контейнеры для хранения источников.
2. Защитные экраны оборудования.
3. Передвижные защитные экраны.
4. Защитные экраны как части строительных конструкций.
5. Экраны СИЗ (защищающие от внешнего облучения **фартуки и перчатки при работе с «закрытыми источниками»**)



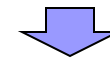
Передвижной экран



# 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.

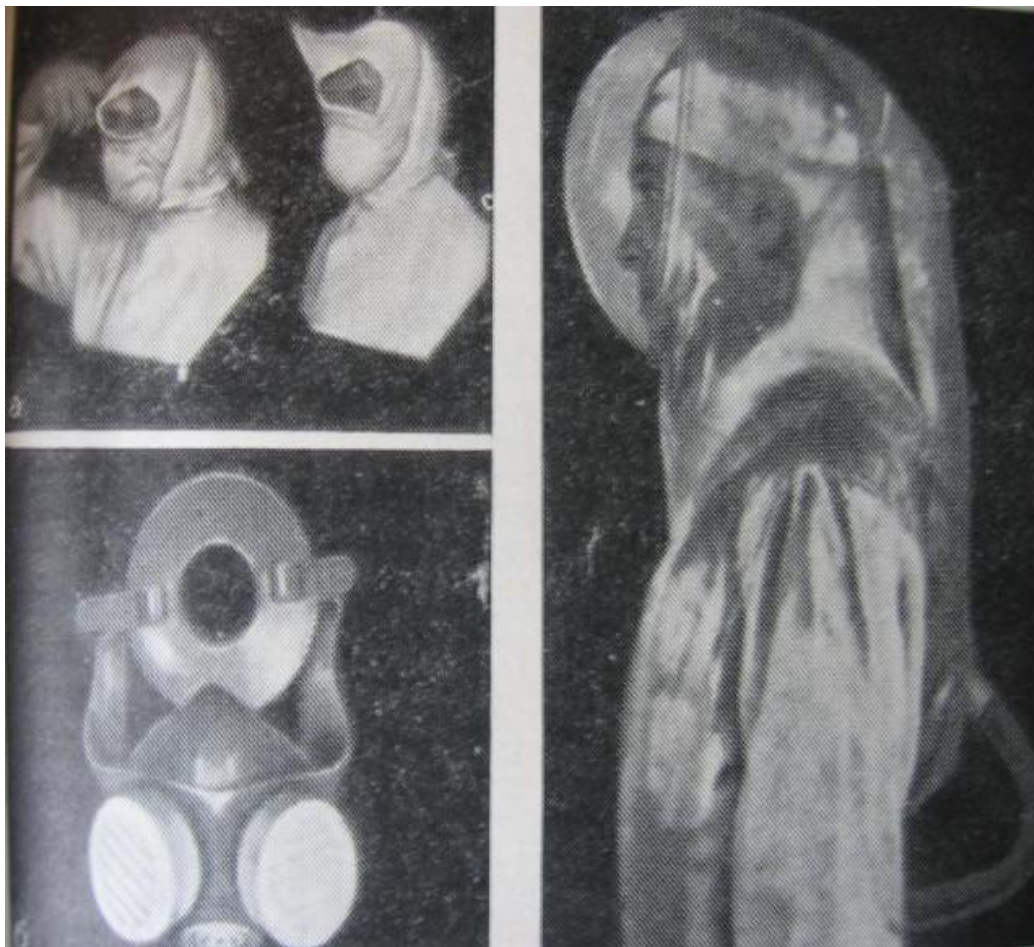
# МЕРЫ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

- 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 источника (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 **ПАВ** (мыло, стиральные порошки, препараты ОП-7, ОП-10, «Контакт Петрова») и **комплексоны** (полифосфаты, аминополикарбонаты)
- 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 **фото пленки** 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 радона в жилых помещениях от 20 до 250 Бк/м<sup>3</sup> у жителей США при более высоких концентрациях смертность от рака легких была ниже!?