



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.

Характеристика ИИ, применение ИСТОЧНИКОВ В МЕДИЦИНЕ.



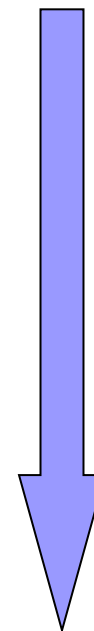
Методы использования ИИ в медицине по степени снижения безопасности работ

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 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.

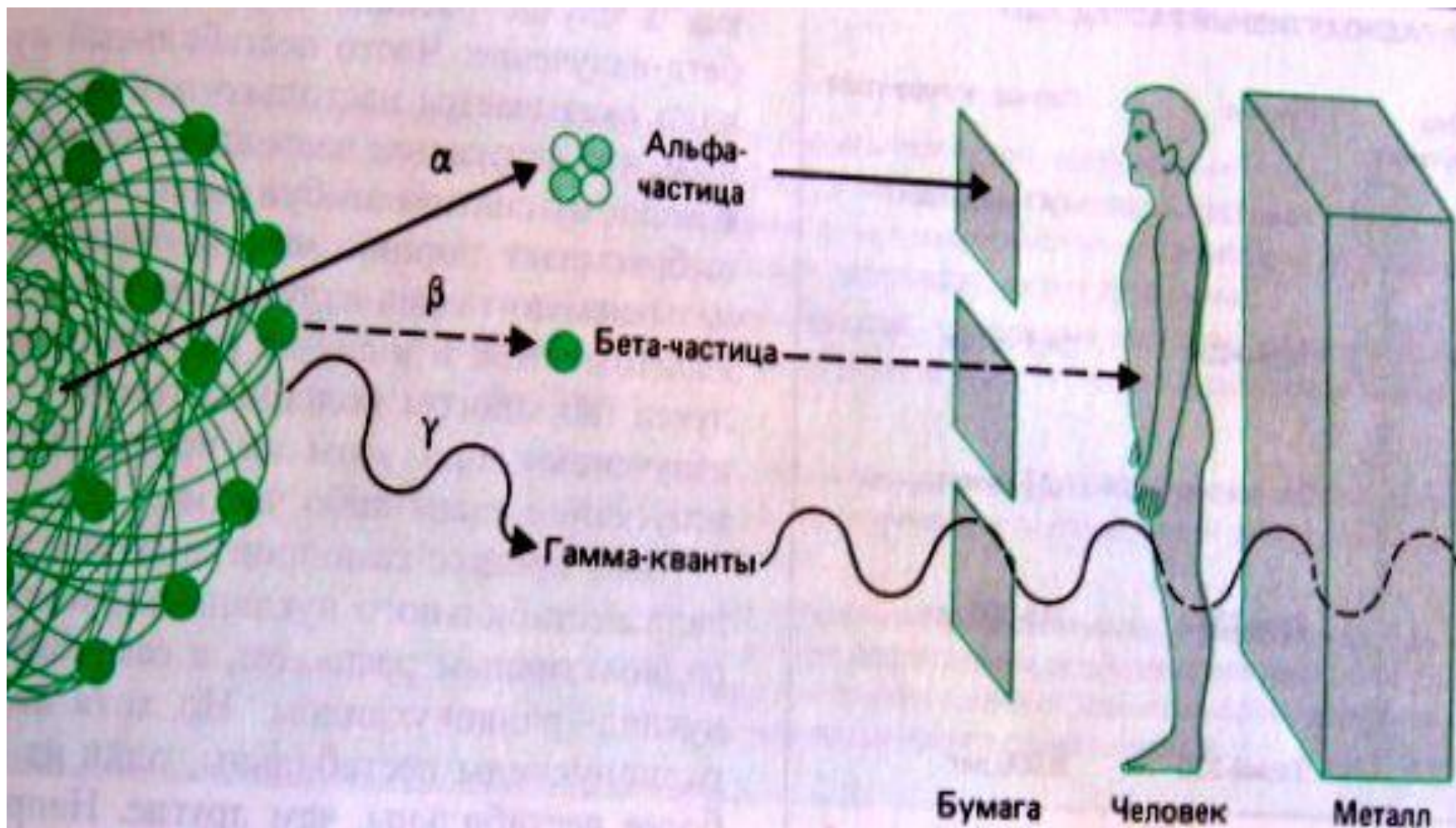
- **Ионизирующая способность.**

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)

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

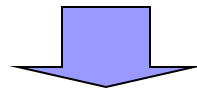


2-я группа. Другие органы, не относящиеся к 1 и 3 группам.




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 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

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

150 мЗв

15 мЗв

кожа, кисти,

500 мЗв

50 мЗв

СТОПЫ

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

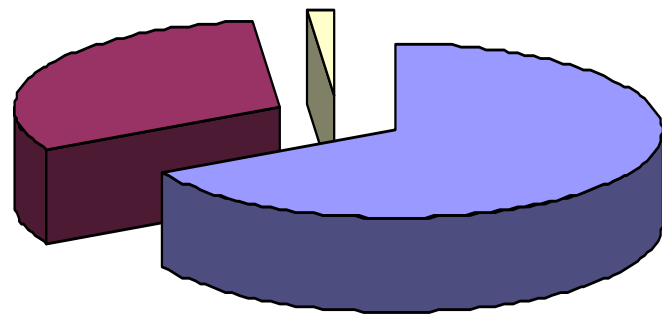
- В медицинских учреждениях добавляется еще одна группа лиц, облучение которых нужно контролировать – это пациенты.
- Медицинское облучение (диагностическое, терапевтическое, профилактическое) – второе по дозе воздействия после природного (20-29 % вклада всех источников)

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

■ Наибольший вклад 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 γ -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 γ -излучений обладают также бетон, кирпич и другие строительные материалы

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 задерживает медленные нейтроны, а третий слой из свинца задерживает гамма-излучение, возникающее при этом.

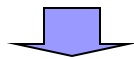
По своему назначению экраны могут быть разделены на 5 групп

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»**)

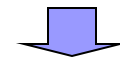


Передвижной экран

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.

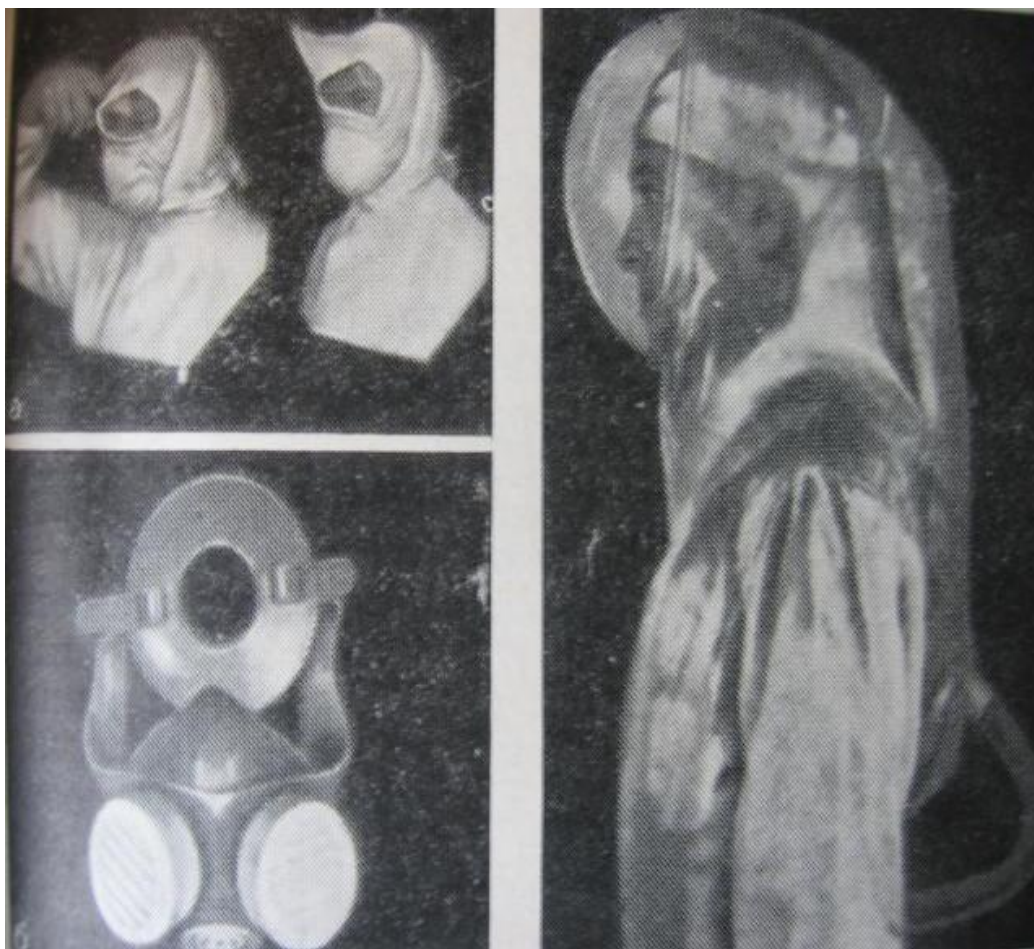
МЕРЫ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

- 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** (протираaniem, 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, аминополикарбоны)
- 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/м³ у жителей США при более высоких концентрациях смертность от рака легких была ниже!?