

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Осетинская государственная медицинская академия»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

**КАФЕДРА ОБЩЕЙ ГИГИЕНЫ
И ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ**

Е.Г. Цилидас, А.Р. Наниева

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ МЕДИЦИНСКОГО
ПЕРСОНАЛА ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ И
ЗАКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**

Учебно-методическое пособие для студентов,
обучающихся по специальности «Лечебное дело», «Стоматология»

Владикавказ 2016

УДК 613.648
ББК 51.26

Е.Г. Цилидас, А.Р. Наниева

Организация радиационной безопасности медицинского персонала при работе с открытыми и закрытыми источниками: учебно-методическое пособие для студентов лечебного и стоматологического факультетов

Северо-Осетинская государственная медицинская академия. - Владикавказ, 2016. – 25с

Данное учебно-методическое пособие содержит материал, отражающий современные гигиенические требования к расположению, планировке и режиму эксплуатации больничных учреждений, работающих с источниками ионизирующих излучений. Изложены история открытия радиоактивных элементов, основы радиационной гигиены, причины и клиническое течение лучевой болезни. Приведена информация о методах защиты от вредного воздействия данного фактора

Пособие снабжено таблицами, рисунками, ситуационными задачами, тестовыми заданиями, списком основной и рекомендуемой дополнительной литературы, облегчающими усвоение материала.

Методическое пособие «Организация радиационной безопасности медицинского персонала при работе с открытыми и закрытыми источниками», подготовлено по дисциплине «Гигиена» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования для студентов, обучающихся по специальности Лечебное дело(31.05.01), Стоматология (31.05.03).

**УДК 613.648
ББК 51.26**

Рецензенты:

Астахова З.Т. - профессор, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой внутренних болезней № 4 ФГБОУ ВО СОГМА Минздрава России

Аликова З.Р. – профессор, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой гуманитарных, социальных и экономических наук ФГБОУ ВО СОГМА Минздрава России.

Утверждено и рекомендовано к печати Центральным координационным учебно-методическим советом ФГБОУ ВПО СОГМА Минздрава России (протокол №1 от 2 сентября 2016г.).

Радиационная гигиена – наука, изучающая условия, виды и последствия воздействия источников ионизирующего излучения на человека и разрабатывающая мероприятия, направленные на охрану его здоровья.

При оценке факторов, изменяющих экологию человека, постоянное внимание и серьезную озабоченность населения многих стран мира, вызывает вопрос действия радиации на человека и окружающую среду. Радиация или ионизирующее излучение, в отличие от многих загрязняющих окружающую среду веществ, порожденных бурным развитием современных технологий, присутствовала в природе всегда, и живые организмы постоянно испытывали на себе его действие.

Под радиационным фоном принято понимать ионизирующее излучение от природных источников космического и земного происхождения, а также от искусственных радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека. Различной длины радиоволны, свет и радиационное тепло от Солнца являются одной из разновидностей радиации, однако, она не является ионизирующей, так как не способна разрывать химические связи молекул живых организмов, вызывая биологически важные изменения.

Естественный радиоактивный фон создается за счет космического излучения и излучений от естественных радиоактивных веществ находящихся в почве, воде, атмосфере.

Благодаря постоянному круговороту веществ в природе человек вместе с пищей, водой и воздухом получает все естественные радиоактивные элементы. Ткани организма содержат ничтожно малые количества этих элементов.

Радиоактивные газы (радон, актинон, торон) являются продуктами распада естественных радиоактивных элементов (радия, актиния и тория), содержащихся в земных породах.

Выход радиоактивных газов из почвы определяется условиями газообмена между почвенным воздухом и атмосферой. В связи с этим величина естественной радиоактивности воздуха колеблется в зависимости от времени года и местности. Зимой радиоактивность меньше, чем летом и убывает с поднятием на высоту.

Очевидно, доза как внешнего, так и внутреннего облучения за счет естественной радиоактивности не оказывает вредного влияния на организм и является постоянно действующим фактором окружающей среды.

Создание в 20 веке искусственных источников, включающих медицинское и промышленное использование рентгеновских лучей, развитие атомной энергетики вызывают необходимость специалистам медицинского и фармацевтического профиля, как и всей общественности, иметь научно обоснованные представления о степени опасности воздействия тех или иных объектов и технологических процессов на человека и окружающий мир. Радиоактивность окружающей среды определяется также и радиоактивными веществами искусственного происхождения, появившимися в результате загрязнения среды при взрывах ядерных устройств и в связи с развитием атомной энергетики, использованием радиоактивных веществ в науке и на производстве.

Наиболее мощные источники загрязнения воздушного океана планеты - взрывы атомных устройств и крупные аварии на атомных электростанциях. При этом образуется большое количество радиоактивных веществ с различным периодом полураспада. Поэтому экологическое значение радиоактивных изотопов различно. Очевидно, что радионуклиды с коротким периодом полураспада (менее 2 суток) не представляют большой опасности (исключая случаи ядерных взрывов и аварии), так как они сохраняют высокий уровень радиации в загрязненной биоте лишь непродолжительное время. С другой стороны, вещества с очень большим периодом полураспада, как, например, уран-238, также почти безопасны, поскольку они в единицу времени испускают, слабое излучение.

Таким образом, наиболее опасными радиоактивными элементами являются те, у которых период полураспада изменяется от нескольких недель до нескольких лет. Наибольшую опасность представляют стронций-90 и цезий-137, период полураспада которых составляет соответственно 29 лет и 33 года. По физико-химическим свойствам стронций-90 подобен кальцию, цезий-137 - калию. В круговороте веществ в природе и в обменных процессах в организме, они участвуют наравне со стабильными элементами - кальцием и калием. Стронций-90, попадая в организм, депонируется в костях, а цезий-137 равномерно распределяется по органам, что обеспечивает внутреннее облучение организма на долгие годы. Осаждающиеся на землю радиоактивные примеси, первоначально рассеянные в атмосфере попадают в почву и могут проникать в грунтовые воды. Загрязнение почвы и воды способствует накоплению радиоактивных веществ в наземных и водных растениях, в кормах для животных, а, следовательно, в их организме. При этом концентрация радиоактивных веществ в растениях, теле животных, рыб, обитателей водоемов во много раз превышает таковую в воздухе, почве и воде, что связано, со способностью биологических объектов аккумулировать в своих структурах те или иные радиоактивные вещества.

Следовательно, радиоактивные вещества попадают к человеку через пищевые цепи: почва - трава - рогатый скот - молоко (мясо) - человек. Атомная промышленность также может быть источником радиоактивного загрязнения на трех этапах:

1. При добыче и обогащении ископаемого сырья
2. При использовании его в реакторах
3. При переработке ядерного горючего в установках.

Главные принципы защиты при работе с источниками излучения в открытом виде:

- А) соблюдение принципов защиты при работе с источниками излучения в закрытом виде;
- Б) герметизация производственного оборудования для изоляции процессов, в результате которых радионуклиды может поступать в окружающую среду;
- В) планировка помещений;
- Г) оптимизация санитарно-технических устройств и оборудования;
- Д) использование средств индивидуальной защиты;

- Е) санитарно-бытовые условия;
- ж) выполнение правил личной гигиены;

Если при добыче ископаемого сырья и его переработке загрязнение невелико, то потенциальная опасность загрязнения среды от атомных реакторов значительно выше, особенно на заводах по производству ядерного оружия. Также серьезным источником загрязнения являются заводы по производству ядерного горючего.

Большая часть радиоактивных элементов содержится в сточных водах. Только один небольшой завод сбрасывает от 500 до 1500 кубометров загрязненной воды.

Для дезактивации радиоактивных отходов до полной их безопасности необходимо время, равное примерно 20 периодам полураспада. Это значит, что продолжительность хранения отходов вне биосферы исключительно велика.

Так она составляет 640 лет для отходов, зараженных цезием-137 (период полураспада 25000 лет).

Договор о загрязнении испытания ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой имеет не только политическое значение, но и является серьезной программой охраны окружающей среды от радиоактивного заражения. Вопросы радиационной безопасности в международном масштабе организационно регламентируется Международным Комитетом по радиационной защите, который тесно сотрудничает с МАГАТЭ и Международной Комиссией по радиационным единицам.

Для количественной характеристики ионизирующей радиации используют понятие *«экспозиционная доза»*. Системной единицей экспозиционной дозы является кулон, деленный на килограмм (Кл/кг), внесистемной - рентген (Р). Обе единицы установлены, исходя из степени ионизации воздуха под влиянием ионизирующей радиации. Кулон, деленный на килограмм, - это количество энергии ионизирующего излучения, под действием которого в 1 кг воздуха образуются ионы, несущие заряд в 1 Кл количества электричества каждого знака. Рентген - это доза, под действием которой в 1 см³ воздуха образуются ионы, несущие заряд в одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака ($2,08 \cdot 10^9$ пар ионов): $1\text{Р} = 0,258 \text{ мКл/кг} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Для характеристики степени воздействия рентгеновского или γ -излучения на биологические объекты в указанных нормах пользуются понятием *«поглощенная доза»*, которая выражается системной единицей грей (Гр) или внесистемной рад. Грей (Дж/кг) - количество энергии ионизирующей радиации, под действием которого в 1 кг облучаемого вещества поглощается энергия, равная 1 Дж. Рад - единица поглощенной дозы, равная 100 эргам, поглощенным в 1 г вещества.

Для оценки степени радиационной опасности хронического облучения излучением произвольного состава введено понятие *«эквивалентная доза»* (H), представляющее собой произведение поглощенной дозы (D) и *взвешивающего коэффициента* для данного вида излучения (IV_R). В качестве

единиц эквивалентной дозы используют зиверт (системную единицу) и бэр (специальную единицу):

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot W_R = 100 \text{ рад} \cdot W_R = 100 \text{ бэр}.$$

Мощность дозы - это доза облучения, получаемая объектом в единицу времени (секунду, минуту, час).

Предел дозы - это величина годовой эффективной или эквивалентной дозы излучения, которую нельзя превышать в условиях нормальной работы. Нормы радиационной безопасности разрабатываются и перерабатываются на основе рекомендаций Международной комиссии по радиационной защите. В настоящее время в России действует НРБ-99 (СП 2.6.1.758-99).

Естественная радиоактивность – это самопроизвольное превращение ядер атомов одних элементов в другие, сопровождающиеся испусканием ионизирующих излучений. Единицей активности является беккерель (Бк)- один распад в секунду.

Лучевая болезнь - заболевание, возникающее в результате воздействия различных видов ионизирующих излучений и характеризующаяся симптомокомплексом, зависящим от вида поражающего излучения, его дозы, локализации источника радиоактивных веществ, распределения.

У человека лучевая болезнь может быть обусловлена внешним облучением и внутренним - при попадании радиоактивных веществ в организм с вдыхаемым воздухом, через желудочно-кишечный тракт или через кожу и слизистые оболочки, а также в результате инъекции.



Острая лучевая болезнь (ОЛБ) - наступившая вследствие однократного облучения.

Хроническая ЛБ - развивается в результате длительного непрерывного или фракционированного облучения организма в дозах 0,1-0,5 сГр/сут при суммарной дозе, превышающей 0,7-1 Гр. **ХЛБ** при внешнем облучении представляет собой сложный клинический синдром с вовлечением ряда органов и систем, периодичность течения которого связана с динамикой формирования лучевой нагрузки, т. е. с продолжением или прекращением облучения. Такие стабильные системы, как нервная, сердечно-сосудистая и эндокринная, отвечают на хроническое лучевое воздействие сложным комплексом функциональных реакций и крайне медленным нарастанием незначительных дистрофических изменений.

В зависимости от характера облучения различают следующие клинические формы хронической лучевой болезни:

А) клинические формы, возникновение которых в основном обусловлено либо действием общего внешнего излучения, либо поступлением в организм изотопов, быстро и равномерно распределяющихся во всех органах и тканях;

Б) клинические формы с медленно развивающимся клиническим синдромом преимущественного поражения отдельных органов, тканей и сегментов тела.

Характерные изменения картины крови при хронической лучевой болезни заключаются в постепенном развитии лейкопении, нейтропении и тромбоцитопении, а при тяжелом лучевом поражении – выраженной анемии.

Отдалённые последствия облучения - соматические и стохастические эффекты, проявляющиеся через длительное время (несколько месяцев или лет) после однократного или в результате хронического облучения.

Включают в себя: изменения в половой системе; склеротические процессы; лучевую катаракту; иммунные болезни; радиоканцерогенез; сокращение продолжительности жизни; генетические и тератогенные эффекты. Принято различать два типа отдаленных последствий - соматические, развивающиеся у самих облучённых индивидуумов, и генетические - наследственные заболевания, развивающиеся в потомстве облучённых родителей.

К **соматическим** отдалённым последствиям относят прежде всего сокращение. Кроме того, отдалённые последствия облучения отмечают в коже, соединительной ткани, кровеносных сосудах почек и лёгких в виде уплотнений и атрофии облучённых участков, потери эластичности и других морфофункциональных нарушениях, приводящих к фиброзам и склерозу, развивающимся вследствие комплекса процессов, включающих уменьшение числа клеток, и дисфункцию фибробластов.

Особенности планировки радиологического отделения

Радиологическое отделение размещается в отдельном корпусе, или занимает изолированную пристройку к главному корпусу, и включает самостоятельные подразделения:

- радионуклидной диагностики,
- отделение открытых,
- отделение закрытых радионуклидов,
- отделение дистанционной лучевой терапии.

Эти отделения располагаются в порядке возрастания количества радиоактивных веществ.

При размещении рабочих помещений учитывается общий планировочный принцип: разделение помещений на радиационно-опасные («грязная» зона) и на (чистые) помещения.

Так в отделении радионуклидной диагностики выделяют процедурные, где вводят радионуклидные вещества, и помещения, где выполняют радиометрические исследования (радиометрия отдельных органов и биологических сред) и сканирование различных органов.

В отделениях открытых и закрытых радионуклидов помещения делятся на две группы:

- в первую входят помещения, где подготавливаются и вводятся больным радиоактивные вещества,

-вторую группу составляют палаты для больных.

К первой группе помещений относятся хранилище радиоактивных веществ, фасовочная радионуклидов, стерилизационная, моечная, процедурная и операционная - все эти помещения радиационно опасны.

После введения радиоактивного препарата больные поступают в палаты.

Отделения дистанционной лучевой терапии имеют процедурные с комнатой наблюдения, стены имеют большую толщину и выполнены из монолитного бетона.

При планировке радиологических отделений учитывается необходимость защиты соседних помещений по горизонтали и вертикали от радиоактивного излучения, поэтому толщина стен, перекрытий, оконных и дверных проемов рассчитывается в соответствии с требованиями радиационной безопасности.

Во всех подразделениях радиационного отделения выделяют «чистые» и «грязные» лифты для приема контейнеров с радиоактивными веществами, удаления загрязненного белья и радиоактивных отходов.

Для подачи пищи в отделение устраивается перегрузочный шлюз, предохраняющий тару и посуду от радиоактивного загрязнения.

Основы радиационной защиты при использовании ионизирующих излучений

Современная наука убедительно показала, что действие радиации на человека может быть смертельно опасным, при больших дозах вызывая серьезные поражения тканей, а при малых – возникновение онкологических заболеваний и генетических дефектов, проявляющихся у последующих поколений лиц, подвергшихся облучению.

Ионизирующим излучением называется любое излучение (кроме УФ и видимой части спектра), которое приводит к образованию электрических зарядов различных знаков и является потоком частиц и квантов, способных прямо или косвенно вызывать ионизацию атомов и молекул в облучаемом объекте.

При воздействии на организм человека ионизирующая радиация может вызвать два вида эффектов, которые клиническая медицина относит к болезням:

- детерминированным (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии развития плода);
- стохастическим (вероятные) беспороговым эффектам (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

В настоящее время в медицине широкое распространение для целей диагностики и терапии получили И.И., источниками которых являются рентгеновские и гамма - установки, а также радиофармацевтические препараты (РФП).

Как правило, проведение таких процедур дает прямую осязаемую пользу в виде уточнения диагноза или определенного эффекта, например, при онкологических заболеваниях.

Однако широкое неоправданное применение рентгеновских, гамма – и других излучений может вызвать иногда больший вред, чем принести пользу для здоровья людей и ведет к увеличению доз облучения персонала, пациентов, а также населения.

В мире насчитывается около 1,6 млн. профессионалов, связанных с использованием И.И., - это медицинские работники: врачи - рентгенологи, медицинские сестры - около 65%, а по отдельным странам колеблется от 29 (США) до 92 (Испания).

В последние десятилетия широкое распространение получили медицинские процедуры с использованием РФП и лечение болезней.

Радиофармацевтические препараты (РФП) - это ничтожно малые в весовом отношении количества радионуклидов и меченых ими соединений, которые при введении в организм отражают состояние органов и функциональных систем человека или используются для проведения аппликационной, внутритканевой и внутритканевой терапии.

Максимальное количество исследований приходится на Канаду (49), США (32,5) и Швецию (15) на 1000 человек, минимальное на Китай (0,6), Польшу (2,2) и СНГ (4) на 1000 человек.

Наиболее частой диагностической процедурой является радиоизотопное сканирование органов с целью выявления опухоли и определение ее характера (злокачественная или доброкачественная) по уровню обмена и накопления в ней радионуклидов. В мире ежегодно проводится 22 млн. сканирований, что указывает на высокую вероятность облучения значительного количества людей.

Система радиационной защиты включает в себя комплекс разнообразных мероприятий

Различают закрытые и открытые источники.

Закрытые источники делятся на источники непрерывного и прерывистого (периодического) действия.

К источникам непрерывного действия относятся установки с гамма -, бета - излучателями и нейтронными излучателями прерывистого действия.

Активность закрытых источников используемых в медицинской практике различна. Эти гамма - источники, применяемые для дистанционной лучевой терапии, используют закрытые источники кобальта-60, золото-198 в виде бусинок, цилиндров, игл.

Обеспечение радиационной безопасности при работе с закрытыми источниками достигается комплексом санитарно-гигиенических, инженерно-технических и организационных мероприятий.

Отсюда вытекают основные принципы защиты:

- уменьшение мощности источников до минимальных величин (защита количеством) - основывается на уменьшении мощности излучения,
- увеличение расстояния от источников до места работы (защита расстоянием)- достаточное удаление работающих от излучателя,

- сокращение времени работы с источниками (защита временем)-автоматизм рабочих операций и высокая квалификация медицинского персонала позволяет сократить время контакта с радиоактивным источником,
- экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение (защита экранами)- лучшими материалами являются свинец или уран.

Если экранируются соседние помещения, то перекрытия помещения с гамма - излучателем делают из бетона, баритобетона, железобетона. Большая толщина таких строительных конструкций создает надлежащую защиту. Для защиты от бета- излучения используют более легкие материалы - алюминий, стекло, пластмассу.

Радиационная безопасность в рентгенодиагностических кабинетах

В современных аппаратах рентгеновская трубка заключена в специальный защитный кожух. Экран для просвечивания должен быть снабжен свинцовым защитным стеклом. К экрану - снимочному устройству подвешивается просвинцованный фартук для защиты врача. Для защиты персонала находящегося у пульта управления предусмотрена большая защитная ширма, а также используют просвинцованные защитные перчатки, нагрудные фартуки и юбки.

Радиационная безопасность при внутриполостной, внутритканевой и аппликационной лучевой терапии

В качестве закрытых источников гамма - излучений используют препараты кобальта-60, заключенные в оболочку из нержавеющей стали.

Внутриполостное облучение проводится для лечения злокачественных образований в полостных органах. Активность препарата, вводимого больному, зависит от локализации и размеров поражения. Данная терапия требует ручных манипуляций с самим препаратом (выемка из контейнера, подготовка, стерилизация, введение препарата в полость больного, его извлечение). Это приводит к опасному облучению персонала. В настоящее время для полостной терапии стали применять малую механизацию. В частности созданы специальные шланговые гамма - терапевтические аппараты, при помощи которых радиоактивные препараты перемещаются сжатым воздухом из контейнера по гибким шлангам - ампулопроводам в полость больного. После сеанса облучения препараты автоматически возвращаются в контейнер. При таком методе введения радиоактивных препаратов дозовые нагрузки на персонал будут незначительны.

Принципы защиты при работе с открытыми радиоактивными источниками

Работа с открытыми радиоактивными источниками связана с опасностью воздействия проникающего излучения и попадания внутрь организма радиоактивных веществ, что приводит к возможности как внешнего, так и внутреннего облучения персонала - возможны загрязнения рабочей

обстановки, одежды и рук, попадание их в воздух, образование радиоактивных газов.

Наиболее часто радиоактивные вещества вдыхаются, в меньшей степени заглатываются. Многие строительные материалы (кирпич, бетон, дерево, асфальт, линолеум) хорошо адсорбируют радиоактивные вещества и плохо поддаются дезактивации, что усугубляет опасность лучевого воздействия на персонал.

Существует три класса работ с радиоактивными источниками в открытом виде.

Работы I класса можно проводить в отдельном здании или изолированной части здания, имеющей отдельный вход. В основу планировки помещений для выполнения работ I класса положен принцип деления их на три зоны по степени возможного радиоактивного загрязнения.

Помещения для работ II класса должны размещаться изолированно от других помещений. Для планировки помещений может быть применён простейший вид трёхзональной планировки, при которой лабораторию делят стеклянными перегородками на 3 зоны.

Работы III класса могут выполняться в однокомнатной лаборатории, условно разделяемой на зоны, в которых потенциальная возможность загрязнения неодинакова.

Основные принципы защиты

- При внешнем излучении используются все способы защиты, применяемые при работе с закрытыми веществами.
- Работа с открытыми радиоактивными веществами должна исключать их поступление в окружающую среду.

Это достигается рациональной планировкой и оборудованием рабочих помещений, санитарно-техническими устройствами по удалению и дезактивации жидких, твердых и газообразных радиоактивных отходов, максимальной механизацией и автоматизацией рабочих операций. Необходимо исключить загрязнение кожи рук и лица персонала, а также рабочих поверхностей. Для этого используют средства индивидуальной защиты и санитарную обработку. Персонал должен соблюдать правила личной гигиены и техники безопасности.

К средствам индивидуальной защиты относятся: спецодежда, спецобувь, средства защиты органов дыхания и глаз. Для защиты органов дыхания применяют фильтрующие респираторы типа «Лепесток» из легкой синтетической ткани. Для защиты органов дыхания от бета - потоков и нейтронов используют специальные щитки из оргстекла. Все виды работ должны выполняться в резиновых перчатках.

Спецодежду стирают в специальных прачечных и затем подвергают дозиметрическому контролю.

Целью медицинского контроля являются выявление лиц, имеющих противопоказания для работы с ионизирующим излучением, а также обнаружение ранних признаков лучевого поражения. Периодические

медицинского осмотра проводятся не реже 1 раза в год, в случае переоблучения сотрудника или в аварийных ситуациях медицинское обследование осуществляется по показаниям.

Основным способом проверки достаточности мер радиационной защиты персонала является дозиметрический контроль, который включает:

- 1) определение индивидуальных доз облучения, получаемых каждым работающим;
- 2) систематический контроль за мощностью дозы облучения непосредственно на рабочих местах и в смежных помещениях;
- 3) применение приборов, сигнализирующих о превышении допустимой дозы облучения.

В соответствии с этим приборы, используемые для дозиметрического контроля, делятся на три группы.

1. Дозиметры индивидуального контроля, предназначенные для измерения доз внешнего облучения, получает каждый работник, подвергающийся

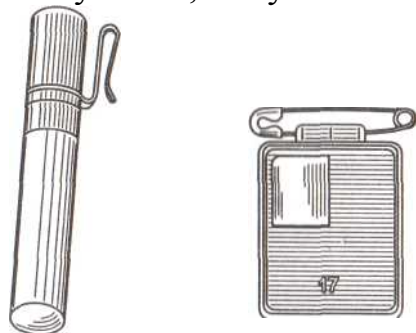


Рис. Индивидуальный дозиметр:

а — из комплекта КИД-2; *б* — кассета дозиметра ИФК-1

воздействию ионизирующей радиации. Они могут быть ионизационными, фотохимическими, термолюминесцент-Ш.1МИ (КИД-6; ДК-02; ИФК-1 и др.) (рис.).

2. Стационарные или переносные приборы предназначены для измерения мощностей доз излучения. К приборам этого типа относятся радиометры и интенсивметры «Аргунь», РУП-1, «Луч-А», «Лракс», «Актиния» и др.

Датчики приборов указанных двух групп работают обычно по принципу ионизационных счетчиков или сцинтилляторов.

3. Стационарные установки для регистрации мощности излучений применяют в помещениях. Датчики таких приборов размещают в местах измерений, а пульт управления может быть вынесен. Как правило, приборы такого типа оборудованы сигнализирующими устройствами, которые подают световые или звуковые сигналы в случае превышения допустимой мощности дозы (прибор заранее настраивают на определенный уровень радиации). К таким приборам относят установки типа УСИТ-1, УСИТ-2, УСИД-12 и др.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов

При работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения используются 4 принципа защиты: количеством, временем, расстоянием, экранами. Соблюдение всех этих правил должно обеспечить на рабочем месте дозу, не превышающую предельно допустимую (5 бэр в год).

а) Предельно допустимая доза не будет превышена, если полная гамма-активность источника (m), выраженная в миллиграмм-эквивалентах радия (мг экв.), умноженная на продолжительность рабочей недели в часах (t), деленная на квадрат расстояния от туловища до источника в метрах (R), будет не более 120.

$$\frac{mt}{R^2} = 120$$

Студенты самостоятельно решают задачи по защите от внешнего гамма-излучения по вышеуказанной формуле.

Пример расчета определения защиты количеством

Рабочий работает 36 часов в неделю, его рабочее место находится на расстоянии 1 метра от источника гамма-излучения. С какой предельно допустимой активностью источника излучения можно работать без защиты, не получив при этом дозу облучения, не превышающую предельно-доступную?

$$\frac{mt}{R^2} = 120;$$

$$m = \frac{120R^2}{T} = \frac{120 \cdot 1}{36} = 33 \text{ мг экв. радия}$$

б) Защита экранами является наиболее эффективным средством. Толщина экрана, который ослабит дозу излучения от источника до предельно допустимой величины при данных условиях, рассчитывается по специальным таблицам, по величине коэффициента ослабления, а также по слоям половинного ослабления.

При использовании экранов из других материалов можно сделать перерасчет защиты по соотношению плотностей.

Пример расчета защиты экранами по величине коэффициента ослабления

Измеренная на рабочем месте мощность физической дозы $P_0 = 76$ мР/с (микрорентген в секунду). Источником гамма-излучения является Co^{60} со средней энергией гамма квантов $E = 1,25$ МэВ (мегаэлектронвольт). Найти толщину свинцового экрана, необходимую для ослабления этого излучения до $P = 0,76$ мР/с (радиохимик работает с излучением 36 часов в неделю).

Величину коэффициента ослабления излучения определяют по формуле:

$$K = \frac{P_0}{P}$$

где P_0 – замеренная на рабочем месте мощность дозы;

P – предельно допустимая мощность дозы для данных условий (при работе с излучением в течение 36 часов в неделю).

$$K = \frac{P_0}{P} = \frac{76}{7,6} = 100$$

в) По таблице для энергии гамма-излучения 1,25 МэВ находим необходимую толщину из свинца, равную 84,5 мм.

Приближенный расчет толщины экрана по слоям половинного ослабления

При отсутствии универсальных таблиц или номограмм для быстрого расчета толщины защиты от гамма-излучения можно использовать значения слоев половинного ослабления широких пучков гамма-излучения различными материалами (см. табл.1)

Таблица 1

Значение слоев половинного ослабления (см) в зависимости от энергии гамма-излучения (широкий пучок)

<i>Материал</i>	<i>Энергия гамма-излучения, МэВ</i>				
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,25
Вода	11,0	11,5	12,0	12,0	14,0
Бетон	4,7	5,0	5,8	6,4	7,5
Железо	1,5	1,7	2,0	2,1	2,4
Свинец	0,5	0,6	0,85	1,0	1,1

г) Соотношение кратности ослабления и числа слоев половинного ослабления представлены в таблице 2.

Таблица 2

Соотношение между числом слоев половинного ослабления и кратности ослабления

«К» Кратность ослабления	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
Число слоев половинного ослабления	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Пример: Требуется ослабить интенсивность гамма-излучения (энергия гамма-излучения около 1,25 МэВ) в 512 раз экраном из свинца. Какова должна быть его толщина?

Решение: Для ослабления гамма-излучения в 512 раз требуется 9 слоев половинного ослабления. Искомая толщина свинцового экрана:

$$1,1 \text{ см} * 9 = 9,9 \text{ см}$$

В том случае, если в качестве защиты используются экраны из других материалов (бетон, железо, кирпич, чугун), можно сделать перерасчет защиты по соотношению плотностей.

В таблице 3 приводятся данные о плотности некоторых материалов (г/см³).

Таблица 3

Плотность различных материалов (г/см³)

Алюминий	2,7	Железо	7,89
Вода	2,1 – 2,7	Кирпич	1,4 – 1,9
Бетон	1,0	Свинец	11,34
Воздух	0,00129	Чугун	7,2

При расчете толщины экранов по плотности следует исходить из следующего соотношения:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$d_2 = \frac{d_1 \rho_1}{\rho_2}$$

где d_1 и ρ_1 – толщина и плотность свинца,

d_2 и ρ_2 – толщина и плотность искомого материала

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- 1) Понятие об ионизирующем излучении.
- 2) Физическая природа различных видов ионизирующего излучения, их ионизирующая и проникающая способность.
- 3) Особенности планировки радиологического отделения.
- 4) Характеристика закрытых источников ионизирующих излучений.
- 5) Характеристика открытых источников ионизирующих излучений.
- 6) Какие существуют принципы защиты, дозиметрический контроль.

СИТУАЦИОННАЯ ЗАДАЧА №1

В Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, была изучена загрязнённость объектов окружающей среды радиоактивным изотопом стронцием-90.

В пищевых продуктах местного производства обнаружено содержание Sr-90: в животных продуктах - 25 Бк/кг; в растительных продуктах - 60 Бк/кг; в питьевой воде 10 Бк/л. Поступление Sr-90 с атмосферным воздухом не превышало 1% и могло не учитываться. Эквивалентом годового потребления взрослым человеком животных продуктов является 300 кг молока, растительных продуктов - 300 кг картофеля. Величина суточного потребления воды равна 2 кг(л).

(Нормативные документы: Нормы радиационной безопасности – 99 СП 2.6.1.758-9, Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности – СП 2.6.1.799-99, МУ 2.6.1.1868-04 «Внедрение показателей радиационной безопасности о состоянии объектов окружающей среды, в т.ч. продовольственного сырья и пищевых продуктов, в систему социально-гигиенического мониторинга»).

ЗАДАНИЕ

А. Оцените уровень загрязнения стронцием данной территории с позиций возможного годового поступления его в организм людей с питьевой водой и продуктами питания.

Б. Ответьте на следующие вопросы:

1. Можно ли считать исчерпывающими для оценки внутреннего облучения людей, данные о содержании в природных объектах и поступлении в организм изотопа стронция-90?
2. Какие ещё естественные и искусственные (в результате техногенного загрязнения) радиоактивные изотопы могут поступать в организм человека с пищей растительного и животного происхождения?
3. Назовите пищевые продукты, накапливающие в себе наибольшие
4. концентрации радиоактивных изотопов.
5. Перечислите искусственные радиоактивные изотопы, которые
6. нормируются в пищевых продуктах?
7. Дайте определение явлению естественной радиоактивности. Назовите
8. единицы измерения радиоактивности.
9. При каком характере воздействия на организм ионизирующего
10. излучения возможно развитие хронической лучевой болезни?
11. Назовите клинические формы хронической лучевой болезни, в
12. зависимости от характера облучения.
13. Перечислите степени тяжести хронической лучевой болезни.
14. Изложите характерную динамику изменения картины крови при
15. хронической лучевой болезни.

ЭТАЛОНЫ ОТВЕТОВ

А. Годовое поступление в организм взрослого человека стронция-90 с продуктами питания и питьевой водой составит $3,28 \cdot 10^4$ Бк/год. ($25 \text{ Бк/кг} \times 300 \text{ кг/год}$ растительных продуктов + $60 \text{ Бк/кг} \times 300 \text{ кг/год}$ продуктов животного происхождения + $10 \text{ Бк/л} \times 2 \text{ л/день}$ питьевой воды $\times 365$ дней = $32800 \text{ Бк} = 3,28 \cdot 10^4 \text{ Бк}$), что значительно превышает допустимый предел годового поступления для данных источников, установленный для взрослого человека ($1,3 \cdot 10^4 \text{ Бк/год}$)

В качестве мер профилактики следует рекомендовать использование в данном регионе привозных продуктов питания и питьевой воды, радиоактивность которых не превышает регламентируемых величин.

Б.

1. Учитывая большое число естественных и искусственных радионуклидов, содержащихся в объектах окружающей среды, данные о концентрации в природных объектах и о поступлении в организм людей только одного изотопа стронция-90 не являются исчерпывающими.

2. С пищей растительного и животного происхождения в организм человека могут поступать следующие радиоактивные изотопы: естественные - калий-40, уран-238, торий-232, радий-226, радий-228 и др;

искусственные - йод-131, теллур-132, цезий-134, цезий-137, стронций-89, стронций-90 и др.

3. К пищевым продуктам, накапливающим в себе наибольшие концентрации радиоактивных изотопов относятся: грибы дикорастущие, морепродукты, сушёные продукты, мясо северных оленей.

4. В пищевых продуктах нормируется содержание двух радиоактивных изотопов: стронция-90 и цезия-137.

5. Естественная радиоактивность - это самопроизвольное превращение ядер атомов одних элементов в другие, сопровождающиеся испусканием ионизирующих излучений.

Единицей активности является беккерель (Бк) - один распад в секунду.

6. Развитие хронической лучевой болезни возможно при длительном повторном или постоянном воздействии ионизирующих излучений в сравнительно малых дозах, но всё же превышающих основные пределы доз.

7. В зависимости от характера облучения различают следующие клинические формы хронической лучевой болезни:

а) клинические формы, возникновение которых в основном обусловлено либо действием общего внешнего излучения, либо поступлением в организм изотопов, быстро и равномерно распределяющихся во всех органах и тканях;

б) клинические формы с медленно развивающимся клиническим синдромом преимущественного поражения отдельных органов, тканей и сегментов тела.

8. Различают I, II, III, и IV степени тяжести хронической лучевой болезни.

9. Характерные изменения картины крови при хронической лучевой болезни заключаются в постепенном развитии лейкопении, нейтропении и тромбоцитопении, а при тяжёлом лучевом поражении - выраженной анемии.

СИТУАЦИОННАЯ ЗАДАЧА №2

В ночь аварии на Чернобыльской АЭС наибольшие дозы облучения получили 600 человек из числа охраны промплощадки. Эти люди подверглись сравнительно равномерному внешнему облучению всего тела. Из них у 134 человек средняя индивидуальная доза составила 3,4 Зв. У всех 134 ликвидаторов была диагностирована острая лучевая болезнь. У других ликвидаторов в первые дни после аварии средние индивидуальные дозы составили - 0,56 Зв, у пилотов вертолётов - 0,26 Зв, у персонала ЧАЭС - 0,087 Зв.

(Нормативные документы: «Нормы радиационной безопасности 99(2009) СП 2.6.1.758-99 (2009)»

ЗАДАНИЕ

А. Дайте оценку полученных ликвидаторами доз облучения и тактику их дальнейшего трудоустройства и лечения.

Б. Ответьте на следующие вопросы:

1. Как рассчитать необходимую толщину экранов из свинца и из бетона для защиты персонала ЧАЭС от внешнего γ -излучения с целью обеспечения необходимых норм радиационной безопасности. Какие ещё факторы защиты от внешнего излучения следовало применять в данной ситуации?
2. Какие лучевые поражения (кроме лучевой болезни) можно ожидать у людей-ликвидаторов аварии на ЧАЭС?
3. Назовите лучевые поражения, относящиеся к детерминированным и стохастическим эффектам. Объясните, в чём заключается принципиальное отличие этих двух групп заболеваний.
4. Объясните, что такое «эффективная коллективная» доза и как её величина связана с вероятностью возникновения стохастических эффектов?
5. Назовите принципы измерения радиоактивности и доз излучения, а также объясните на каких явлениях основаны эти принципы.
6. Перечислите и дайте определение доз, используемых для количественной оценки ионизирующих излучений. Назовите единицы измерения этих доз.
7. Какой термин используется в настоящее время для регламентации облучения людей в нашей стране? Какие категории облучаемых лиц установлены НРБ-99?
8. Из каких величин складывается понятие «дозы эффективной (эквивалентной) годовой»?
9. Дайте определение и приведите примеры радиоактивных источников в закрытом виде.
10. Назовите источники ионизирующей радиации, дающие в настоящее время (в среднем по РФ) наибольший вклад в полную годовую эффективную дозу населения. Укажите (в процентах) долю вклада каждого источника.

11. Каково значение вклада в коллективную дозу облучения у населения за счёт прошлых радиационных аварий?

ЭТАЛОНЫ ОТВЕТОВ

А. Из приведенных в задаче данных ясно, что у всех категорий аварийного персонала произошло значительное переоблучение. Предел эффективной дозы для персонала группы А не должен превышать 20 мЗв в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв за год. Таким образом, превышение индивидуальных доз составило:

1 группа: $3400 \text{ мЗв} : 50 \text{ мЗв} = 68$ раз;

2 группа: $560 \text{ мЗв} : 50 \text{ мЗв} = 11,2$ раза;

3 группа: $260 \text{ мЗв} : 50 \text{ мЗв} = 5,2$ раза;

4 группа: $87 \text{ мЗв} : 50 \text{ мЗв} = 1,7$ раза.

Практика показывает, что облучение дозой 150 мЗв могут наблюдаться клинически значимые нарушения кроветворения, а доза более 1000 мЗв приводит к развитию острой лучевой болезни. В связи с этим, ликвидаторы 1 группы должны быть срочно госпитализированы и подвергнуты комплексному лечению лучевой болезни. Лица 2 и 3 групп должны быть также госпитализированы и подвергнуты динамическому обследованию с целью выявления начальных стадий нарушения процессов кроветворения и их последующего лечения и коррекции. Персонал 4 группы должны проходить динамическое наблюдение, однако при отсутствии каких либо нарушений со стороны здоровья, они могут быть допущены к продолжению работы по специальности, при условии получения ими в течение следующего года индивидуальной дозы, не превышающей 20 мЗв/год. При выявлении нарушений со стороны здоровья вопрос об их трудоустройстве должен решаться индивидуально.

Б.

1. Для расчета защиты экранами с целью предупреждения превышения допустимого предела эффективной дозы может быть использован расчет по слою половинного ослабления. Для этого в таблице расчета слоёв половинного ослабления в графе «кратность ослабления» находим величину, точно соответствующую полученным уровням превышения, или, округленную в сторону увеличения ближайшую к полученным. В результате получаем, что необходимые кратности ослабления составляют 128, 16, 8 и 2 раза, что по таблице соответствует 7-ми, 4-м, 3-м и 1-му слою половинного ослабления. Учитывая, что толщина одного слоя половинного ослабления для свинца составляет - 1,8 см, а для бетона - 10 см, вычисляем общую толщину экранов из свинца и бетона для защиты всех четырёх групп ликвидаторов.

Для I группы толщина свинцового экрана составит $1,8 \cdot 7 = 12,6$ см; толщина экрана из бетона - $10 \cdot 7 = 70$ см.

Для II группы толщина свинцового экрана = $1,8 \times 4 = 7,2$ см; толщина экрана из бетона = $10 \cdot 4 = 40$ см.

Для III группы толщина свинцового экрана = $1,8 \times 3 = 5,4$ см; толщина экрана из бетона = $10 \times 3 = 30$ см.

Для IV группы толщина свинцового экрана = $1,8 \times 1 = 1,8$ см; толщина экрана из бетона = $10 \times 1 = 10$ см.

Кроме защиты экранами в данной ситуации можно было применить защиту расстоянием (увеличение расстояния от источника γ -излучения до людей) и защиту временем (сокращение времени пребывания людей в зоне повышенной радиации).

2. Кроме лучевой болезни у ликвидаторов аварии следовало ожидать: лучевые ожоги, лучевые катаракты хрусталика глаза, нарушения гемопоэза, временную или постоянную стерильность, генетические нарушения, лейкозы и опухоли.

3. К детерминированным эффектам относятся острая и хроническая лучевая болезнь, лучевые ожоги, лучевые катаракты, нарушения гемопоэза, временная или постоянная стерильность.

К стохастическим эффектам относятся генетические нарушения, лейкозы и опухоли.

Детерминированные эффекты излучения возникают только после воздействия определённых пороговых доз, ниже которых эти эффекты клинически не проявляются. При воздействии доз выше пороговых тяжесть эффекта зависит от дозы.

Стохастические вероятностные эффекты не имеют дозового порога. Возникновение стохастических эффектов теоретически возможно при сколь угодно малой дозе облучения, при этом вероятность их возникновения тем меньше, чем ниже доза.

4. Коллективная эффективная доза - это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных эффективных доз. Вероятность возникновения отдалённых или стохастических последствий будет возрастать линейно с увеличением коллективной дозы.

5. Существует несколько принципов измерения радиоактивности и доз излучения:

а) ионизационный принцип - основан на ионизации воздуха или другого газа между двумя электродами, имеющими разные потенциалы, измеряемая по возникающему электрическому току;

б) сцинтилляционный принцип - основан на возбуждении и ионизации атомов и молекул вещества при прохождении через него заряженных частиц, сопровождаемых испусканием светового излучения - сцинтилляции, которые усиливаются с помощью фотоэлектронного умножителя и регистрируются счётным устройством.

в) люминесцентные принципы - радиофотолюминесценция и радиотермолюминесценция. Эти принципы основаны на накоплении в люминофорах поглощенной энергии, которая освобождается под воздействием

ультрафиолетового излучения или нагревания, в результате чего наблюдаемые оптические эффекты могут служить мерой поглощённой энергии.

г) фотохимический принцип - основан на воздействии ионизирующих излучений на фотоэмульсию фотографической плёнки. Доза измеряется по оптической плотности почернения проявленной и фиксированной плёнки.

6. Для количественной оценки ионизирующих излучений используют:

а) поглощённую дозу - величину энергии ионизирующего излучения, переданную веществу. В единицах СИ измеряется в Джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг^{-1}) и имеет специальное название - грей (Гр.).

б) эквивалентную дозу - поглощённую дозу в органе или ткани, умноженную на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения. Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

в) эффективную дозу - дозу гипотетического одномоментного облучения человека, вызывающую такие же биологические эффекты, что и подобная доза протяженного во времени или фракционированного облучения. Это доза, используемая как мера риска возникновения отдалённых последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учётом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Единица эффективной дозы - зиверт (Зв).

7. В соответствии с НРБ-99 в настоящее время установлены «пределы индивидуальных доз» облучения граждан от всех источников ионизирующих излучений.

Нормами радиационной безопасности устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

а) персонал (группа А) - лица, работающие с техногенными источниками излучения;

б) персонал (группа Б) - лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия излучения;

в) население - все лица, включая персонал, вне работы с источниками ионизирующего излучения.

8. Доза эффективная (эквивалентная) годовая - это сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

9. Радиоактивный источник в закрытом виде - источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нём радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.

Примеры: рентгеновские и гамма-аппараты, аппараты для гамма-дефектоскопии, флюорографические аппараты и др.

10. В среднем по РФ наибольший вклад в полную годовую эффективную дозу населения дают:

а) природные источники - 69,8%;

б) медицинское облучение - 29,4%.

11. Вклад в коллективную дозу облучения у населения за счёт прошлых радиационных аварий, в среднем по РФ, составляет менее 1%.

КОНТРОЛЬНО-ОБУЧАЮЩИЕ ТЕСТЫ:

1. КОМПОНЕНТАМИ ЕСТЕСТВЕННОГО (ПРИРОДНОГО) РАДИАЦИОННОГО ФОНА ЯВЛЯЕТСЯ ИЗЛУЧЕНИЕ:

1. космическое;
2. естественных радиоактивных веществ, находящихся в земных породах, воде, воздухе;
3. радиоактивных элементов содержащихся в растительном и животном мире и в организме человека;
4. возникающие при испытании ядерного оружия.

2. ИЗОТОПАМИ НАЗЫВАЮТСЯ ЭЛЕМЕНТЫ:

1. обладающие одинаковой атомной массой;
2. имеющие одинаковый заряд, но различное массовое число;
3. обладающие одинаковыми химическими свойствами, но различными атомными массами.

4. В ПРОЦЕССЕ РАДИОАКТИВНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗНИКАЮТ ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЙ:

1. α ;
2. β ;
3. γ ;
4. нейтронное;
5. ультрафиолетовое.

5. САМОЙ ВЫСОКОЙ ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ОБЛАДАЕТ ВИД ИЗЛУЧЕНИЯ:

1. α ;
2. β ;
3. γ ;
4. нейтронное;
5. рентгеновское

5. РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА МОЖНО ПРИМЕНИТЬ В ВИДЕ:

1. а) открытом;
2. б) закрытом;
3. в) комбинированном.

6. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ОТ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ:

1. а) защита временем;
2. б) защита расстоянием;
3. в) защита экранами;
4. г) защита количеством;
5. д) использование защитных костюмов.

7. ОСНОВНАЯ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ РЕНТГЕНОВСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ:

1. а) внешнее облучение;
2. б) внутреннее облучение;
3. в) облучение рук и туловища;
4. г) неблагоприятный микроклимат.

8. В ОТДЕЛЕНИЯХ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАЩИТА МЕДПЕРСОНАЛА ДОЛЖНА ОСУЩЕСТВЛЯТЬСЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

1. а) защита органов дыхания и кожи от попадания радиоактивных веществ;
2. б) защита от внешнего облучения;
3. в) правильное планировочное решение отделения;
4. г) применение индивидуальных средств защиты.

9. ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗУЮТ ДОЗИМЕТРЫ:

1. а) ионизационные;
2. б) фотохимические;
3. в) химические;
4. г) термолюминесцентные.

Ответы:

1. а, б, в;
2. б;
3. а, б, в, г;
4. в, г, д;
5. а, б;
6. а, б, в, г;
7. а, в;
8. а, б, в, г;
9. а, б, в, г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

Основная литература:

1. Гигиена. /Под редакцией Г.И. Румянцева. М., 2009, с. 393-419.
2. Пивоваров Ю.П. Гигиена и основы экологии человека. М., 2008, с. 360 – 372.
3. Пивоваров Ю.П. Руководство к лабораторным занятиям по гигиене и экологии человека. М., 2006, с. 275-287

Дополнительная литература:

1. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф. Радиационная безопасность и защита. М., 1996 – с. 301 – 336.
2. Кириллов В.Ф. Руководство к практическим занятиям по радиационной гигиене. М., 2001, с. 13-24.