

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра общей гигиены, экологии и радиационной медицины

**В. Н. БОРТНОВСКИЙ, К. Н. БУЗДАЛКИН,
Е. К. НИЛОВА**

**БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ,
ПРИВЛЕКАЕМЫХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ**

**Учебно-методическое пособие
для студентов 2 курса лечебного и 4 курса
медико-диагностического факультетов
медицинских вузов**

**Гомель
ГомГМУ
2012**

УДК 614.256.5:614.876 (072)

ББК 51.26я7

Б 83

Рецензенты:

доктор медицинских наук, профессор,
заведующая кафедрой общественного здоровья и здравоохранения
Гомельского государственного медицинского университета

Т. М. Шаршакова;

кандидат биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой медицинской и биологической физики
Гомельского государственного медицинского университета

В. А. Игнатенко

Бортновский, В. Н.

Б 83 Безопасность медицинских работников, привлекаемых для ликвидации последствий радиационной аварии: учеб.-метод. пособие для студентов 2 курса лечебного и 4 курса медико-диагностического факультетов медицинских вузов / В. Н. Бортновский, К. Н. Буздалкин, Е. К. Нилова. — Гомель: учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», 2012. — 32 с.

ISBN 978-985-506-411-5

Цель учебно-методического пособия — предотвращение повышенного неоправданного облучения медицинских работников при ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ и проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах радиационного заражения.

Разработано на основе материалов лекций и практических занятий по учебной дисциплине «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность», «Радиационная медицина» на кафедре общей гигиены, экологии и радиационной медицины Гомельского государственного медицинского университета МЗ РБ.

Предназначено для подготовки студентов 2 курса лечебного и 4 курса медико-диагностического факультетов медицинских вузов.

Утверждено и рекомендовано к изданию Центральным учебным научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» 28 декабря 2011 г., протокол № 12.

УДК 614.256.5:614.876 (072)

ББК 51.26я7

ISBN 978-985-506-411-5

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Термины, определения и условные обозначения	4
Введение	8
Тема 1. Краткая санитарно-гигиеническая характеристика аварийного облучения	9
Тема 2. Особенности выполнения работ в условиях радиационной аварии.....	12
Тема 3. Метод построения прогноза ингаляционных доз облучения и от поступления радионуклидов через кожу	17
Тема 4. Метод построения прогноза контактных доз облучения кожных покровов.....	20
Тема 5. Метод построения прогноза внешних доз облучения	22
Тема 6. Анализ результатов оценки ожидаемых доз облучения.....	24
Литература	29
Приложение 1. Рекомендуемое оснащение средствами разведки и защиты	31
Приложение 2. Комплект защитной одежды от ионизирующих излучений	31
Приложение 3. Средства дезактивации.....	32

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Термины, определения и сокращения приведены в соответствии с Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» от 5 января 1998 г., гигиеническими нормативами (ГН) 2.6.1.8-127-2000 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000)», утвержденными Министерством здравоохранения Республики Беларусь 25 января 2000 г., Санитарными правилами и нормами 2.6.1. 8-8-2002 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)». Другие термины соответствуют принятым в документах серии норм безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

Авария радиационная проектная — авария, для которой проектом определены исходные и конечные состояния радиационной обстановки и предусмотрены системы безопасности.

Авария радиационная запроектная — авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями и сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа и реализацией ошибочных решений персонала.

Аэродинамический диаметр содержащейся в воздухе частицы — диаметр, который должна иметь сфера единичной плотности, для того чтобы иметь такую же конечную скорость при осаждении в воздухе, как и наблюдаемая частица.

Болезнь лучевая — общее заболевание организма, развивающееся в результате воздействия больших доз ионизирующего излучения. Различают острую лучевую болезнь и хроническую лучевую болезнь. Первая возникает после кратковременного (мин, ч, до 2 сут) внешнего облучения в дозах, превышающих пороговое значение (более 1 Гр); выражается в совокупности поражений органов и тканей (специфические синдромы). При внешнем относительно равномерном облучении различают костномозговую, кишечную, токсическую и церебральную клинические формы острой лучевой болезни. Хроническая лучевая болезнь от внешнего облучения возникает при длительном воздействии в дозах более $1 \text{ Гр} \cdot \text{год}^{-1}$.

Дезактивация — удаление радиоактивных веществ с какой-либо поверхности или из какой-либо среды, включая организм человека.

Доврачебная помощь (ДП) — помощь, оказываемая до вмешательства врача. К ДП относится первая помощь (самопомощь, взаимопомощь) и доврачебная медицинская помощь, оказываемая средним медицинским персоналом (фельдшер, медицинская сестра, санитарный инструктор) для спасения жизни пострадавших, предупреждения развития у них тяжелых осложнений, а также прекращения или уменьшения действия поражающих факторов путем проведения медицинских мероприятий.

Доза поражающая — величина дозы, полученная персоналом предприятия (лицами, вовлеченными в аварию), свидетелями аварии, которая может привести или приводит к соматическим последствиям в течение относительно короткого времени (от получаса до нескольких часов). Нижняя граница соматических эффектов принята равной $1-1,5 \text{ Зв}$. Абсолютно смертельная доза облучения находится за порогом 100 Зв (в данном определении понятие стохастического воздействия облучения не рассматривается).

Доза предотвращаемая — прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями. Определяется как разность между прогнозируемыми дозами облучения без применения и с применением защитных мероприятий для конкретного вида вмешательства.

Дозиметрическая поддержка — использование методов дозиметрии в целях медико-санитарного обеспечения персонала специализированных аварийных формирований и населения.

Защитная эффективность средств индивидуальной защиты (СИЗ) или их комплектующих — параметр, характеризующий защитные свойства изделия или его элементов. Численно выражается коэффициентом защиты от радиоактивных и опасных химических веществ или ионизирующих излучений.

Зона планирования — территория, в отношении которой прогнозируется проведение экстренных защитных мероприятий, введение контроля радиационной обстановки и доз облучения. Размеры зон оцениваются в соответствии с прогнозируемыми значениями доз.

Коэффициент дозы (дозовый коэффициент) — ожидаемая эквивалентная доза на ткань на единицу поступления в определенном возрасте t_0 или ожидаемая эффективная доза на единицу поступления за период времени, за который рассчитана доза; период времени для взрослых составляет 50 лет и $70-t_0$ лет — для детей ($\text{в Зв} \times \text{Бк}^{-1}$).

Лица, вовлеченные в аварию — как правило, лица из населения или лица из персонала в момент аварии, не принимающие участие в трудовой деятельности на данном предприятии — лица, оказавшиеся в момент аварии в зоне воздействия факторов аварии и подвергшиеся неконтролируемому воздействию этих факторов.

Облучение аварийное — неконтролируемое облучение лиц из персонала и (или) населения в результате радиационной аварии.

Облучение общее — относительно равномерное облучение (внешнее или внутреннее) всего тела. Облучение длительностью не более 2-х суток называется острым или кратковременным; более 2-х суток — пролонгированным или хроническим; в случаях, когда полная доза формируется с перерывами между отдельными фракциями — дробным или фракционированным облучением.

Облучение планируемое повышенное — планируемое облучение работников в дозах, превышающих основные дозовые пределы.

Объект радиационно опасный — объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества, при аварии на котором или его разрушении может произойти облучение людей, а также сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды или радиоактивное загрязнение их.

Период полувыведения — время, за которое биологическая система, такая как отдел ткани или организм в целом, удаляет в ходе естественных процессов, отличных от радиоактивного распада, 50 % от поступившего в нее количества радионуклида.

Период эффективного полураспада (получищения) — время, необходимое для уменьшения количества радионуклида, депонированного в живом организме или элементе окружающей среды, на 50 % в результате объединенного действия радиоактивного распада и совокупности процессов, способствующих его выносу за пределы этого элемента.

Персонал — лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).

Поступление — действие или процесс попадания радионуклидов в организм путем ингаляции, перорально или через кожу, или активность, поступающая в организм в результате этого действия или процесса.

Поступление хроническое — поступление в течение длительного периода времени, которое не может считаться происшедшим мгновенно.

Пути воздействия — совокупность процессов переноса и миграции радионуклидов, вызывающих загрязнение окружающей среды и формирование доз облучения. При облучении человека вместо термина «путь воздействия» применяется также термин «путь облучения».

Реакция лучевая — вызванные облучением обратимые изменения тканей, органов или целого организма и их функций.

Реакция на облучение первичная — начальный период клинического течения острой лучевой болезни, проявляющийся при общем облучении организма в дозах, как правило, превышающих величину 1 Гр. В зависимости от дозы и мощности излучения первичная реакция на облучение развивается в первые часы или даже минуты и сопровождается диспепсическими расстройствами (саливация, тошнота, рвота, понос), общеклиническими симптомами (слабость, головная боль, изменение двигательной активности, повышение температуры тела, тахикардия, одышка, нарушение сознания), гематологическими нарушениями (относительная и абсолютная лимфоцитопения, нейтрофильный лейкоцитоз) и местной реакцией (гиперемия кожных покровов, слизистых оболочек и других тканей).

Свидетели аварии — как правило, лица из персонала, не принимавшие в момент аварии участие в производственном процессе (или, во всяком случае, в процессе, явившемся причиной аварии).

Специализированная медицинская помощь (СМП) — представляет собой высшую форму медицинской помощи, которая носит исчерпывающий характер. Оказывается врачами-специалистами в специализированных лечебных учреждениях, оснащенных соответствующим лечебно-диагностическим оборудованием.

Управление аварией — действия, направленные на предотвращение развития проектных аварий в запроектные и на ослабление последствий запроектных аварий.

Флюенс — отношение dN/da , где dN — количество частиц, падающих на сферу с площадью поперечного сечения da , m^{-2} .

Эквивалент дозы индивидуальный — операционная величина, введенная для инструментальной оценки эффективной дозы при размещении измерительного средства на теле человека.

Эффекты радиационные — различают стохастические, детерминированные, соматические и наследственные эффекты. Стохастические эффекты (злокачественные опухоли и наследственные заболевания) — для которых предполагается отсутствие дозового порога возникновения. Принимается, что вероятность возникновения этих эффектов пропорциональна величине воздействующей дозы, а тяжесть их проявления от дозы не зависит. Детерминированные эффекты — для которых существует дозовый порог, выше которого тяжесть этого эффекта возрастает с увеличением дозы. Соматические эффекты — это детерминированные и стохастические эффекты у облученного индивидуума. Наследственные — стохастические эффекты, проявляющиеся у потомства.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях радиационной аварии планирование и организация медико-санитарного обеспечения аварийно-спасательных работ и проведения защитных мероприятий в значительной степени определяются ожидаемыми дозами облучения самих медицинских работников. Выбор и использование методов прогноза доз облучения определяются результатами оценки радиационной обстановки. Это обуславливает необходимость осуществления достаточно сложных измерений.

Прогноз развития радиационной обстановки, оценки дозовых нагрузок и последствий для здоровья привлеченных медицинских работников, как правило, необходимо осуществлять в сжатые сроки, что выдвигает к методам прогноза особые требования. Особенности воздействия ионизирующего излучения на организм человека определяют специфику ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ, проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах радиационного заражения. Несмотря на то, что первичные биофизические процессы взаимодействия ионизирующего излучения с живыми тканями вызывают в клетках организма множественные патологические изменения практически сразу после воздействия, первичные клинические проявления выявляются (в зависимости от дозы) лишь через несколько минут, часов, а иногда и суток после облучения [1]. Это определяет необходимость превентивного построения прогнозов доз облучения и устранения, при необходимости, дальнейшего воздействия ионизирующего излучения.

Основными принципами организации и проведения защитных мероприятий являются недопущение острых (детерминированных) эффектов облучения и максимальное снижение отдаленных стохастических эффектов. В связи с этим защитные мероприятия носят экстренный характер. Неправильная оценка радиационной обстановки, неудачная и несвоевременная организация комплекса первоочередных мер могут привести в дальнейшем к значительным отрицательным последствиям для здоровья.

Важнейшие изменения в подходах к оценке внутренней дозы облучения, произошедшие в международной практике, отражены в [2]. Конкретные указания по оценке доз от внешних источников излучения представлены в [3]. Международные рекомендации по радиационной защите при профессиональном облучении приведены в [4–6].

При оценках суммарной ожидаемой эффективной дозы учитывается вклад внешнего как γ -, так и β -облучения, внутреннего облучения за счет ингаляции радионуклидов и поступления радионуклидов через кожу. Предложены различные методы прогноза доз облучения в зависимости от характера чрезвычайной ситуации и наличия данных измерений.

Ожидаемые эквивалентные дозы облучения кожи и щитовидной железы рассчитываются в зависимости от изотопного состава выпадений, продолжительности проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в зоне радиационного загрязнения, а также наличия исходных данных.

Прогнозы ожидаемых доз внутреннего облучения и контактных доз облучения кожи включают дозы, полученные как в ходе работ, так и в последующий период за счет распада инкорпорированных в организм и коже радионуклидов. Особое внимание уделено ингаляционным компонентам доз за счет поступления трансурановых элементов.

ТЕМА 1

КРАТКАЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Данное учебно-методическое пособие разработано на основании закона Республики Беларусь от 5 января 1998 г. «О радиационной безопасности населения» (Ведамасці Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь, 1998 г., № 5, ст. 25), гигиенических нормативов (ГН) 2.6.1.8-127-2000 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000)», утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 25 января 2000 г. № 5 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2000 г., № 35, 8/3037) и санитарных правил и норм 2.6.1.8-8-2002 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)», утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22 февраля 2002 г. № 6 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2002 г., № 35, 8/7859).

В терминах норм и правил [7, 14] планируемое повышенное облучение медицинского работника квалифицируется и организуется как контролируемое облучение персонала. Риск попадания в неконтролируемые условия облучения должен связываться только с внезапным изменением состояния аварийного источника.

Планируемое повышенное облучение может допускаться только для выполнения следующих видов аварийных работ:

- медицинские мероприятия экстренной помощи (купирование наиболее угрожающих симптомов) при тяжелых, потенциально опасных для жизни травмах и urgentных состояниях;
- дезактивация и подготовка пострадавших к транспортированию в лечебное учреждение;
- экстренная эвакуация людей из зоны воздействия поражающих факторов в очаге аварии;
- контроль на отсутствие в очаге аварии пострадавших, не способных покинуть его самостоятельно;
- освобождение пострадавших из-под обломков, завалов.

Спасение людей осуществляется как персоналом радиационно-опасного объекта, находящемся на месте аварии, так и аварийно-спасательными формированиями, включая медицинских работников. При спасении людей допускается планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 200 мЗв и в эквивалентной дозе до 600 мЗв в хрусталике глаза и 2000 мЗв в коже, кистях и стопах. Допускается одновременное облучение медицинских работников до указанных значений.

Для персонала группы А, привлекаемого к аварийно-спасательным работам, при установлении значений планируемого повышенного облучения рекомендуется учитывать индивидуальную дозу профессионального облучения, полученную в текущем году до момента аварии. Данная рекомендация позволит избежать облучения медицинских работников в потенциально опасных дозах (свыше 200 мЗв в течение года) и специальной процедуры разрешения последующей профессиональной деятельности [7].

Спасение людей является приоритетной задачей в ряду других защитных мероприятий. По этим основаниям допускается 4-х-кратное превышение основных пределов доз с разрешения республиканского органа Госсаннадзора. При невозможности оперативного получения такого разрешения допускается планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв и в эквивалентной дозе до 300 мЗв в хрусталике глаза и 1000 мЗв в коже, кистях и стопах с разрешения территориальных органов Госсаннадзора. При этом индивидуальную дозу профессионального облучения в текущем году до момента аварии можно не учитывать для повышения оперативности проведения спасательных работ [7]. Привлечение к спасению людей медицинского работника, уже подвергшегося неконтролируемому облучению в момент аварии, допускается при условии, что доза неконтролируемого облучения оценена и суммарная доза в текущем году (облучение при нормальной эксплуатации, планируемое и оцененное неконтролируемое облучение) не превысит 200 мЗв .

Следует отметить, что медицинские работники, в случае радиационной аварии согласно международным требованиям [15], могут также осуществлять действия, имеющие целью предотвратить получение высокой коллективной дозы, включая управление медицинским реагированием.

Ранней фазой развития чрезвычайной ситуации является период, продолжающийся до момента прекращения выброса радиоактивных веществ в атмосферу и окончания формирования радиоактивного следа на местности и загрязнения поверхностей зданий, сооружений, помещений, оборудования и т. д. Продолжительность этой фазы в зависимости от характера и масштаба чрезвычайной ситуации может длиться от нескольких часов до нескольких суток. В некоторых случаях раннюю фазу целесообразно подразделять на период до начала выброса (но когда уже признана потенциальная возможность облучения) и период, в который происходит большая часть выброса. На ранней фазе доза внешнего облучения формируется, в основном, за счет гамма- и бета-излучения радиоактивных веществ, содержащихся в радиоактивном облаке. Возможно также контактное облучение за счет излучения радионуклидов, осевших на кожу и слизистые. Внутреннее облучение обусловлено ингаляционным поступлением радиоактивных продуктов из облака в организм человека. Во время этой фазы могут оказаться доступными измерения мощности дозы и концентрации некоторых радионуклидов в атмосферном воздухе. Вследствие изменений мощности и продолжительности выброса, направления ветра и наличия других параметров, эти измерения имеют ограниченную ценность для расчета прогнозируемых доз. В то же время результаты этих измерений могут лечь в основу принятия решений по экстренным мерам радиационной защиты.

В условиях ранней фазы радиационной аварии первоочередными задачами в области радиационной безопасности медицинских работников, привлеченных для медико-санитарного обеспечения аварийно-спасательных работ, ликвидации последствий радиационной аварии, действий на территории

радиоактивного загрязнения и в случаях инцидентов с источниками ионизирующего излучения, становятся оценка ожидаемых доз облучения и планирование продолжительности работ каждого работника, выбор адекватных средств индивидуальной защиты кожи и органов дыхания.

В зависимости от состава радиоактивного выброса может преобладать (т. е. приводить к наибольшим дозовым нагрузкам) тот или иной из вышеперечисленных путей воздействия. Выброс радиоактивных веществ в окружающую среду снижается в следующем порядке: газообразные вещества — летучие твердые вещества — нелетучие твердые вещества. В качестве примера в таблице 1 приведена обобщенная оценка [1] аварийных выбросов при максимальных проектных и запроектных авариях на атомных электростанциях с водо-водяными энергетическими реакторами, которые планируется установить на Белорусской АЭС.

Таблица 1 — Аварийные выбросы при максимальных проектных и запроектных авариях на атомных электростанциях с водо-водяными энергетическими реакторами

Класс аварии	Относительный вклад в суммарный выброс			
	инертные радиоактивные газы	йод	долгоживущие аэрозоли	актиниды
Максимальная проектная	0,99	0,01	—	—
Запроектная	0,39	0,53	0,08	—

Многообразие химических форм, в которых радиоактивные продукты могут попадать в окружающую среду, и наличие в выбросе высокотоксичных соединений требует дифференцированного подхода к оценке инцидентов с источниками ионизирующего излучения, даже если по величине радиоактивного выброса чрезвычайная ситуация не рассматривается как тяжелая.

Радионуклиды, вносящие существенный вклад в облучение организма и его отдельных органов при максимальной проектной аварии на планируемой АЭС, приведены в таблице 2, при запроектной аварии — в таблице 3 [9].

Таблица 2 — Радионуклиды, вносящие существенный вклад в облучение организма в целом и его отдельных органов при максимальной проектной аварии на планируемой АЭС

Внешнее облучение всего тела		Облучение щитовидной железы		Облучение легких и внутреннее облучение всего тела	
радионуклид	период полураспада (сут)	радионуклид	период полураспада (сут)	радионуклид	период полураспада (сут)
^{131}I	8,04	^{131}I	8,04	^{131}I	8,04
^{132}Te	3,258	^{132}I	0,096	^{132}I	0,096
^{133}Xe	5,24	^{133}I	0,867	^{133}I	0,867
^{133}I	0,867	^{134}I	0,0365	^{134}I	0,0365

Окончание таблицы 2

Внешнее облучение всего тела		Облучение щитовидной железы		Облучение легких и внутреннее облучение всего тела	
радионуклид	период полураспада, сутки	радионуклид	радионуклид	период полураспада, сутки	радионуклид
^{135}Xe	0,378	^{135}I	0,275	^{135}I	0,275
^{135}I	0,275	^{132}Te	3,258	^{134}Cs	752,63
^{134}Cs	752,63			^{88}Kr	0,118
^{88}Kr	0,118			^{137}Cs	10950
^{137}Cs	10950			^{106}Ru	368,2
				^{132}Te	3,258
				^{144}Ce	284,3

Таблица 3 — Типичные радионуклиды, содержащиеся в выбросе вследствие расплавления активной зоны с отказом или без отказа защитной оболочки (выделенные жирным шрифтом радионуклиды являются особенно значимыми)

Первый день (радионуклиды с периодом полураспада 6 часов и более)	Первая неделя (радионуклиды с периодом полураспада около 1 дня и более)	Долговременный период
Y-90, Sr-91, Zr-90, Mo-99, Rh-105, Pd-109, Ag-111, Pd-112, Cd-115, Sn-121, Sn-125, Sb-126, I-131, I-132 , Te-131m, Te-132 , I-133, I-135 , La-140, Pr-142, Ce-143, Pr-143, Ba-146, Nd-147, Pm-149, Pm-151, Sm-153, Sm-156, Eu-57, Np-239	Rh-86, Sr-89 , Y-90 , Nb-95 , Zr-95 , Y-91, Nb-96, Mo-99, Rh-105, Ru-103, Ag-111, Pd-112, Cd-115, Sn-121, Sb-124, Sb-127, I-131, Te-131m, Te-132, I-133, Cs-136, Ba-140 , La-140 , Ce-141, Ce-143, Pr-143, Nd-147, Pm-149, Pm-151, Sm-153, Eu-157, Np-239	H-3, Sr-89, Sr-90 , Y-91, Nb-93m, Nb-95, Ag-110m, Cd-113m, Cd-115m, Sn-121m, Sn-123, Sb-124, Sb-125, I-129, Cs-134 , Cs-137 , Ce-141, Ce-144 , Pm-147, Tb-160, Pu-238 , Pu-239 , Pu-240 , Am-241 , Pu-241 , Cm-242 , Pu-242, Am-243, Cm-244

ТЕМА 2

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Медицинские работники, привлекаемые для медико-санитарного обеспечения аварийно-спасательных и иных работ по ликвидации последствий радиационной аварии, тушения пожаров в зоне аварии, квалифицируются и оформляются как персонал группы А [7, 14]. Лица, выполняющие вспомогательные работы и не имеющие прямого контакта с источниками ионизирующего излучения, квалифицируются и оформляются как персонал группы Б. Они должны пройти освидетельствование на допуск к работе в соответствии с действующими приказами по принадлежности и обучены приемам работы в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды.

В связи с возможностью потенциального облучения медицинских работников выше основных пределов доз проводится категорирование всех лиц, привлекаемых к аварийно-спасательным и иным работам по ликвидации последствий аварии, на категории по допускаемой степени опасности оправданного целями радиационного воздействия [13]. Документально предписываются для каждой категории следующие ограничения на облучение:

- устанавливаемый предел дозы (основной предел доз или предел планируемого повышенного облучения) в величинах, в которых эти пределы установлены законодательно;

- пределы допустимого поступления радиоактивных веществ в организм (производные пределы);

- пределы доз облучения (поступления) за контрольные периоды выполнения работ;

- контрольные уровни доз облучения (поступления) в операционных величинах.

Критерием категорирования служит прогнозируемая доза облучения, определяемая с учетом приоритетности неотложно выполняемых видов работ по ликвидации последствий аварии, характером и спецификой деятельности, профессиональными показателями. Персонал подразделяется на следующие категории привлекаемых для медицинского обеспечения аварийно-спасательных и иных работ по ликвидации последствий радиационной аварии, тушения пожаров:

- а) основная категория* — работники, которые могут подвергаться максимальному радиационному риску в условиях ограничения времени работы в сочетании со значительными физическими нагрузками и необходимостью применения средств индивидуальной защиты; условия деятельности допускают планируемое повышенное облучение;

- б) категория обеспечения* — персонал, характер деятельности которого связан с облучением; условия деятельности не предполагают превышения основных пределов доз для персонала группы А.

Не относится к категории привлекаемых для проведения аварийных и спасательных работ *вспомогательная категория* — медицинский персонал, деятельность которого не связана непосредственно с проведением аварийных и спасательных работ по ликвидации последствий аварии, но условия работы допускают выполнение служебных обязанностей в зоне радиационного контроля; по условиям деятельности относится к персоналу группы Б.

При радиационных авариях, при которых основным фактором воздействия является внешнее гамма-излучение, рекомендуется использовать следующие дозовые критерии [13]:

- работа без превышения основных дозовых пределов в течение 1,7 тыс. часа возможна в зоне, в которой эффективная доза не превышает $7,5 \times 10^{-2}$ мЗв/сутки;

- работа без превышения основных дозовых пределов при ограничении времени проведения работ возможна в зоне, в которой эффективная доза составляет от $7,5 \times 10^{-2}$ до 20 мЗв/сут;

— возможна работа в условиях планируемого повышенного облучения в зоне, в которой доза от 20 до 200 мЗв/сут;

— зона, в которой облучение возможно в потенциально опасных дозах, определяется дозой более 200 мЗв/сут.

В случае радиационной аварии специализированные подразделения радиационной и химической разведки устанавливают изотопный состав радиоактивного выброса, границы радиоактивного загрязнения и пути его распространения, выполняют прогноз развития (динамики) радиационной обстановки, определяют вид и уровни загрязнения в помещениях и на территории объекта, в том числе [13]:

— объемные активности радиоактивных аэрозолей и паров в воздухе, дисперсность и типы химических соединений по скорости перехода из легких в кровь при ингаляции;

— объемные активности радиоактивных газов в воздухе;

— радиоактивное загрязнение поверхностей и почвы с учетом вероятности вторичного ветрового подъема (диффузии);

— мощности доз от загрязненных поверхностей и взвешенного аэрозоля, их динамики с учетом расположения источника, метеоусловий, рельефа местности;

— поверхностное загрязнение спецодежды и открытых участков тела персонала объекта и свидетелей аварии.

Для проведения таких измерений используются пробоотборники воздуха, γ - и α -спектрометры с полупроводниковыми детекторами, бета-радиометры, лабораторные методы радиохимического выделения и т.д. При необходимости проводится дооснащение (переоснащение) службы техническими средствами, методиками и организуется кадровое усиление службы радиационной и химической разведки. Ожидаемые индивидуальные дозы медицинских работников, привлеченных к работе в составе аварийных формирований МЧС, в том числе контактные и от внутреннего поступления радионуклидов в организм, на основе проведенных измерений могут быть оценены согласно темам 3, 4, 5 настоящего пособия. Фактические дозы внешнего облучения, накапливаемые в ходе выполнения аварийно-спасательных и иных работ, устанавливаются по показаниям индивидуальных дозиметров, контроль уровней поступления радиоактивных веществ в организм и доз внутреннего облучения, включая полученные перкутанно (в частности, через раневые образования), и за счет изотопов йода в щитовидной железе, производится с использованием методов прямой и косвенной радиометрии по показаниям. Фактическое удельное содержание отдельных радионуклидов на поверхности спецодежды и открытых частях тела свидетелей аварии и участников ликвидации ее последствий определяется прямыми методами измерений.

До получения заключения специализированного подразделения радиационной и химической разведки о характере радиоактивного выброса ведение работ в зоне аварии должно проводиться с применением индиви-

дуальных средств защиты кожи и органов дыхания (защитных костюмов и дыхательных аппаратов на сжатом воздухе) с тщательной герметизацией соединений элементов защитного костюма, например, скотчем, (см. приложения 1 и 2). В этот период ранней фазы развития аварии радиационную разведку в местах формирования, размещения, действий и маршрутов выдвигания сил и средств проводит дозиметрист, который должен быть включен в группу, а все работники обеспечены индивидуальными дозиметрами. После получения заключения специализированного подразделения радиационной и химической разведки, в зависимости от уровня радиационной опасности, применение средств индивидуальной защиты может быть оптимизировано с учетом их эффективности применительно к дисперсности радиоактивного воздушного загрязнения.

Оперативное радиационное зонирование рекомендуется проводить на основе данных радиационной разведки по мощности дозы γ -излучения: 1 мЗв/ч ; 10 мЗв/ч и 100 мЗв/ч [7]. Когда основным фактором воздействия является внутреннее облучение (например, при диспергировании плутония и/или трития), возможна работа без превышения основных дозовых пределов при использовании СИЗ органов дыхания и кожи. Тем не менее, должна быть определена внешняя граница, в пределах которой может быть превышен предел годового поступления [7] и использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожи является обязательным. При наличии жестких β -излучателей рекомендуется проводить зонирование с использованием критериев, приведенных в [7].

Картограммы радиационной обстановки в зоне проведения аварийных работ должны ежедневно обновляться и использоваться для предварительного оценивания возможных доз контролируемого облучения, но не заменять инструментальный индивидуальный дозиметрический контроль. Расчетная и групповая дозиметрия при работе в условиях планируемого повышенного облучения современными требованиями не допускается [13].

На территории радиационно-опасного объекта сосредоточивается минимальная часть сил и средств, которые необходимы для выполнения неотложных аварийно-спасательных работ. Остальные силы и средства отводятся за пределы территории объекта и располагаются на безопасном расстоянии. Категорически запрещается пребывание в опасной зоне лиц руководящего состава, не связанного с выполнением непосредственных работ по руководству и обеспечению аварийно-спасательных подразделений. Пункт размещения резервных сил и средств не должен размещаться на подветренной стороне от источника радиоактивного загрязнения.

Перед началом действий необходимо в установленном порядке получить письменное разрешение от администрации объекта на работу в зоне ионизирующего излучения, организовать дозиметрический контроль медицинских работников. Для непосредственной организации и обеспечения этой работы в состав должен быть включен ответственный за дозиметри-

ческий контроль, который ведет учет доз облучения. Работа медицинских работников в опасной зоне организуется посменно в зависимости от ожидаемых доз облучения. Режим работы на следующие дни определяется с учетом ранее полученной дозы облучения. Планируемое повышенное облучение допускается с учетом требований НРБ-2000 [7]. Организуется постоянный контроль радиационной обстановки в зоне аварии и вносятся предложения по организации своевременной замены работающих. Также организуется санитарная обработка работников, дезактивация техники в подразделениях, укрытие и эвакуация, при необходимости, медицинских работников и членов их семей, попавших в режимные зоны.

Для предотвращения переоблучения радиоактивными аэрозолями, осевшими на одежду и кожу, производится санитарная обработка и периодическая полная смена нательного и постельного белья, а также спецодежды. Для этого создается необходимый запас белья и верхней одежды, разворачиваются санитарно-обмывочные пункты и станции обеззараживания одежды на базе бань и прачечных вне зоны радиационной аварии. После вывода медперсонала и техники из загрязненных радиоактивными веществами помещений и опасной зоны производится тщательная проверка уровня загрязнения людей, техники и средств защиты. В зависимости от степени загрязнения радиоактивными веществами производится санитарная обработка работников и дезактивация техники, оборудования и имущества. Частичная санитарная обработка производится до начала полной санитарной обработки. При частичной санобработке проводятся индивидуальные санитарно-гигиенические мероприятия. Приступать к частичной обработке следует после снятия защитной одежды, причем снятие СИЗ органов дыхания, по возможности, производится после снятия защитных костюмов и верхней одежды, дезактивации техники. Полная санитарная обработка производится в специализированных помещениях, например, санпропускниках радиационно-опасного объекта после частичной санобработки.

При обосновании мер безопасности и защиты работников от воздействия ионизирующих излучений необходимо руководствоваться временными допустимыми уровнями радиоактивного загрязнения кожи, белья, верхней одежды, транспортных средств, механизмов, продуктов питания, помещений, утверждаемых главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь.

Дезактивация загрязненной техники и имущества проводится в целях предотвращения переоблучения медицинских работников на специальных обмывочных пунктах. Для дезактивации техники используются как штатные средства, так и пожарные автомобили, заправленные водой или специальными моющими веществами (приложение 3). При дезактивации контролируется степень радиоактивного загрязнения техники. При неудовлетворительных результатах дезактивации составляется акт на списание указанных средств представителями администрации и соответствующих служб. Использованная техника, дезактивация которой не дала удовлетво-

рительных результатов, направляется в отстойники или временные пункты сбора, места размещения которых определяются администрацией радиационно опасного объекта и районов.

Питание медицинских работников, привлеченных к ликвидации радиационной аварии, производится за пределами зоны аварии в точках общественного питания, определенных администрацией района по утвержденным нормам. При организации питания в загрязненных зонах пища доставляется в плотно закрытых термосах в объеме разового употребления.

ТЕМА 3

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗА ИНГАЛЯЦИОННЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И ОТ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЧЕРЕЗ КОЖУ

Для целей радиационной защиты используются значения ожидаемой эквивалентной дозы, а также величина эффективной дозы E , которые могут быть сформированы в результате поступления активности радионуклидов ингаляционным путем, а также за счет проникновения их через кожные покровы. При построении прогнозов ингаляционных доз облучения следует использовать коэффициенты дозы (формула 1), приведенные в приложении 2 НРБ-2000 [7]:

$$E = \sum_R \{ \varepsilon_{\text{перс}}^{\text{возд}} \times A_{\text{в},R} \} \times V_{\text{перс}} \times t, \quad (1)$$

где E — ожидаемая эффективная доза на организм от поступления радионуклидов ингаляционным путем, Зв (*Зиверт*);

$\varepsilon_{\text{перс}}^{\text{возд}}$ — дозовый коэффициент (значение ожидаемой эффективной дозы на единицу поступления радионуклида R в виде аэрозоля с логарифмически нормальным распределением частиц по активности при медианном по активности аэродинамическом диаметре 1 $\mu\text{м}$ и стандартном геометрическом отклонении, равном 2.5 в соответствии с моделью органов дыхания, рекомендованной МКРЗ и НРБ-2000 [7, 8]), $\text{Зв} \times \text{Бк}^{-1}$;

$A_{\text{в},R}$ — максимальная объемная активность радионуклида R в воздухе, $\text{Бк} \times \text{м}^{-3}$;

$V_{\text{перс}}$ — объем вдыхаемого воздуха в час, для стандартных условий равен $1,4 \text{ м}^3 \times \text{ч}^{-1}$ [7] (в международных рекомендациях меньше — $1,2 \text{ м}^3 \times \text{ч}^{-1}$ [2]), при повышенных физических нагрузках и в стрессовых ситуациях может быть выше: при тяжелой работе интенсивность дыхания увеличивается в среднем в 2 раза, а при очень тяжелой до 4–5 раз [9];

t — время выполнения аварийно-спасательных работ, ч .

По формуле (1) при использовании дозовых коэффициентов из НРБ-2000 [7] рассчитывается прогноз ожидаемой эффективной дозы, включая как дозу, полученную в ходе работ (за время t), так и дозу за последующие 50 лет за счет распада инкорпорированных в организме радионуклидов.

При выборе дозового коэффициента $\varepsilon_{\text{перс}}^{\text{возд}} R$ в случае нахождения радионуклидов в воздухе в форме аэрозолей необходимо учитывать тип их химического соединения. Для аэрозолей в приложении 2 [7] определены 3 типа в зависимости от скорости перехода радионуклида из легких в кровь:

- медленно растворимые в легких соединения, радиоактивная компонента активности которых поступает в кровь со скоростью порядка 10^{-4} в сут;
- соединения, основная часть активности которых растворяется в легких со средней скоростью (порядка 5×10^{-3} в сут);
- быстро растворимые в легких соединения, основная радиоактивная компонента активности которых поступает в кровь со скоростью порядка 10^2 в сут.

В случае нахождения радионуклидов в воздухе в виде радиоактивных газов, определены, соответственно, 3 типа газов и паров соединений некоторых элементов (приложение 10 в [7]), которые также следует учитывать при построении прогноза. Принято [7] не оценивать дозу облучения от вдыхания инертных (благородных) радиоактивных газов, а рассматривать их как источник только внешнего облучения. Из-за химической токсичности урана поступление через органы дыхания его быстро и средне растворимых соединений не должно превышать 2,5 мг в сут. Если химическая форма соединения радионуклида неизвестна, то следует использовать дозовый коэффициент для соединения с наибольшим значением его величины.

Наиболее опасными при ингаляционном пути поступления и сложно детектируемыми радиоактивными веществами являются соединения трансурановых элементов (в основном изотопов плутония, америция и урана). Специфический тип радиационных аварий представляют собой аварии, сопровождающиеся диспергированием изотопов плутония (оружейного ^{239}Pu или в составе отработанного ядерного топлива, радиоактивных отходов, начинки «грязных» бомб) и его выбросом в окружающую среду. Их особенность состоит в том, что наиболее характерным соединением плутония в аэрозолях является двуокись плутония, основной путь поступления которой в организм человека — ингаляционный; воздействующий на человека радиационный фактор — внутреннее облучение легких, а с течением времени по мере выведения плутония из легких — внутреннее облучение костных поверхностей и печени. Экстренная эвакуация работников необходима уже при ожидаемой мощности поглощенной дозы в легких за первые сутки на уровне 20 мГр .

В случае известной плотности загрязнения территории некоторыми радионуклидами консервативный прогноз ингаляционной дозы облучения можно построить по рассчитанным с помощью моделей значениям концентраций этих радионуклидов в воздухе (формула 2):

$$E = \sum_R \{ \varepsilon_{\text{перс}}^{\text{возд}} R \times V_{\text{max}} \times \sigma_{g,R} \} \times V_{\text{перс}} \times t, \quad (2)$$

где V_{max} — максимальное значение скорости ветрового подъема (равное $3 \times 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ [16], не применимо в случаях торфяных пожаров);

$\sigma_{g,R}$ — плотность загрязнения почвы радионуклидом R , $\text{Бк} \times \text{м}^{-2}$.

Преимуществом предложенного метода является простота и оперативность при достаточном уровне консервативности, несмотря на то, что не учитываются распределение радионуклидов по размерам частиц и их миграция по профилю почвы после выпадений. Размер частиц влияет на депонирование их в дыхательных путях, поэтому информация относительно распределения размеров частиц необходима для более точного построения прогноза ингаляционных доз облучения. В необходимых случаях распределение содержащихся в воздухе частиц по размерам следует определять с применением каскадного импактора (пробоотборника воздуха) и далее проводить оценку величины вдыхаемой фракции содержащихся в воздухе твердых частиц.

Следует отметить, что для соединений, легко рассеивающихся в воздухе, таких как радиоактивные газы и пары (например, $^{14}\text{CO}_2$ и тритированная вода), только пробы из стационарных пробоотборников могут дать адекватное представление о вдыхаемых радиоактивных веществах, особенно в небольших помещениях. Однако, в отношении других источников, таких как ресуспандированные частицы, такие пробы могут привести к оценке активности вдыхаемого материала с ошибкой по величине на порядок или больше, в зависимости от относительного расположения источника, пробоотборника и работника. Более репрезентативные пробы отбираются с помощью индивидуального пробоотборника воздуха (ИПВ) с автономным питанием, который можно носить на себе. ИПВ отбирает пробы воздуха непосредственно из зоны дыхания. Но и эти пробы могут привести к переоценке или недооценке поступлений, в зависимости от верности допущений относительно размера частиц и частоты дыхания. Использование ИПВ позволяет только оценить поступление радионуклидов и не учитывает индивидуальные характеристики удержания.

Наиболее распространенные чрезвычайные ситуации с наличием радиоактивных веществ были связаны с выбросом радиоактивного йода, который характеризуется высокой величиной всасывания в легких (для растворимых соединений — до 100 %). 30 % йода, достигшего крови, переносится к щитовидной железе. Период полувыведения из крови — 6 часов, из других тканей — 12 дней. Йод, инкорпорированный в гормоны щитовидной железы, покидает железу с периодом полувыведения 80 дней. Оценка ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения за счет ингаляции этих радионуклидов обычно рассчитывается по известной концентрации радионуклидов в воздухе и планируемой продолжительности выполнения работ в зоне загрязнения по формуле 1. Ожидаемую эквивалентную дозу в щитовидной железе можно также оценить с помощью формулы 1, однако с дозовыми коэффициентами, приведенными в таблице 4 [9].

Косвенно риски от проникновения радионуклидов в кожу и далее в организм учитываются в международных рекомендациях и нормативных отечественных документах дважды: путем завышения на $1/3$ допустимых объ-

емных активностей, рекомендуемых для оценки ингаляционного пути облучения [2], и при нормировании контактных доз облучения кожных покровов [7] (при условии, что общая площадь загрязнения не превосходит 300 см^2).

Таблица 4 — Ожидаемая эквивалентная доза в щитовидной железе от поступления в организм $I \text{ Бк}$ радионуклида с вдыхаемым воздухом*

Радионуклид	$\varepsilon_{\text{перс}}^{\text{возд}}$, Зв/Бк
$^{131\text{m}}\text{Te}$	$1,3 \times 10^{-8}$
^{132}Te	$2,5 \times 10^{-8}$
^{125}I	$1,0 \times 10^{-7}$
^{129}I	$7,1 \times 10^{-7}$
^{131}I	$1,5 \times 10^{-7}$
^{132}I	$1,4 \times 10^{-9}$
^{133}I	$2,8 \times 10^{-8}$
^{134}I	$2,6 \times 10^{-10}$
^{135}I	$5,7 \times 10^{-9}$

Примечание. *Для аэрозолей с быстро растворимыми соединениями.

Через неповрежденную кожу, в зависимости от вида радионуклида и соединения, может поступать в организм до $\frac{1}{2}$ от величины активности радионуклидов, поступившей ингаляционным путем (например, в случае облака пара тритированной воды). Таким образом, консервативной оценкой дозы облучения от поступления радионуклидов через кожу является половина дозы от ингаляционного поступления (без применения СИЗ).

ТЕМА 4

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗА КОНТАКТНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ КОЖНЫХ ПОКРОВОВ

Небольшая проникающая способность и, соответственно, большие энергетические потери dE/dx на единицу длины поглощающего вещества (биологической ткани) приводит к тому, что β -частицы являются опасным поражающим фактором незранированных кожных покровов. Общепринято, что облучение кожи характеризуется поражением тонкого наиболее чувствительного базального слоя клеток, принятого в качестве критического органа.

Прогноз контактных доз облучения кожных покровов может быть построен по расчетному значению мощности эквивалентной дозы $H'(t)$, $\text{Зв} \times \text{с}^{-1}$, на незащищенную одеждой поверхность кожи. Вводя понятие эффективного периода, учитывающего радиоактивный распад и выведение радионуклида R с поверхности кожи (формула 3):

$$\tau_{\text{эфф}}, R = [(T_{1/2} \cdot T_b) / (T_{1/2} + T_b)] / 0.693, \quad (3)$$

где $T_{1/2}$ — период радиоактивного распада радионуклида R ;
 T_b — период полувыведения радиоактивных частиц с кожных покровов (предлагается в целях консервативности считать загрязнение несмываемым и принять $T_b = 20$ сут).

Получаем выражение (формула 4):

$$H'_R(t) = A_{sR} \cdot B_{s\beta R} \cdot e^{-0.693 \cdot \frac{t}{\tau_{эффR}}} \quad (4)$$

где A_{sR} — плотность загрязнения кожи радионуклидом R , $\text{Бк} \times \text{м}^{-2}$;

$B_{s\beta R}$ — дозовый коэффициент внешнего облучения базального слоя кожи β -частицами и электронами конверсии при равномерном загрязнении кожи радионуклидом R , $\text{Зв} \times \text{м}^2 \text{ с}^{-1} \times \text{Бк}^{-1}$ (значения приведены в таблице 5 [17], в целях консервативности следует выбирать наибольшее значение из приведенных для различной толщины эпидермиса и привести в соответствие размерность времени).

Интегрируя выражение (4) по планируемому интервалу времени проведения аварийно-спасательных работ T , получаем выражение для ожидаемой контактной дозы облучения кожных покровов от загрязнения радионуклидом R (формула 5):

$$H_R(T) = A_{sR} \cdot B_{s\beta R} \cdot \frac{\tau_{эфф,R}}{0.693} \cdot (1 - e^{-0.693 \cdot \frac{T}{\tau_{эфф,R}}}) \quad (5)$$

Таблица 5 — Дозовый коэффициент внешнего облучения базального слоя кожи β -частицами и электронами конверсии при равномерном загрязнении кожи радионуклидами ($B_{s\beta R}$, $\text{Зв} \times \text{см}^2 \text{ год}^{-1} \times \text{Бк}^{-1}$)

Нуклид	Толщина эпидермиса Δx , $\text{мг} \times \text{см}^{-2}$			Нуклид	Толщина эпидермиса Δx , $\text{мг} \times \text{см}^{-2}$			Нуклид	Толщина эпидермиса Δx , $\text{мг} \times \text{см}^{-2}$		
	7	4	40		7	4	40		7	4	40
^{14}C	$2,9 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-3}$	0,0	^{132}Te	$7,0 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-5}$	^{140}La	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$9,2 \times 10^{-3}$
^{32}P	$2,1 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	^{129}I	$1,9 \times 10^{-3}$	$5,7 \times 10^{-3}$	0,0	^{144}Ce	$8,9 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-4}$
^{60}Co	$9,9 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-4}$	^{131}I	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-3}$	^{144}Pr	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-2}$
^{65}Zn	$2,3 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$	^{132}I	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$8,2 \times 10^{-3}$	^{203}Hg	$9,6 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$3,7 \times 10^{-4}$
^{90}Sr	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$3,4 \times 10^{-3}$	^{133}I	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$7,6 \times 10^{-3}$	^{210}Bi	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$7,4 \times 10^{-3}$
^{90}Y	$2,1 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$	^{135}I	$1,8 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-3}$	^{214}Bi	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$9,6 \times 10^{-3}$
^{95}Zr	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$7,4 \times 10^{-4}$	^{134}Cs	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-3}$	^{235}U	$1,1 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-7}$
^{95}Nb	$2,3 \times 10^{-3}$	$6,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-5}$	^{137}Cs	$1,4 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-3}$	^{237}Np	$6,8 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-3}$	0,0
^{106}Rh	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$^{137\text{m}}\text{Ba}$	$2,1 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	^{238}Np	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-3}$
^{131}Te	$2,3 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	^{140}Ba	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-3}$	^{239}Np	$2,3 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-3}$

Так как радиоактивное загрязнение принято несмываемым, то оно может формировать дозу и после окончания работ. Поэтому полную ожидаемую контактную дозу облучения кожных покровов следует рассчитывать для периода времени не менее 3 периодов полуочищения (в этом случае неучтенное облучение составит около 12 %). Ожидаемая контактная

доза облучения кожных покровов за 2 периода полураспада кожи составит (формула 6):

$$H_R(3 \cdot \tau_{эфф,R}) = 1.3 \cdot A_{sR} \cdot B_{s\beta R} \cdot \tau_{эфф,R}, \quad (6)$$

или, при расчетном периоде много большим $\tau_{эфф,R}$ (формула 7):

$$H_R = 1.44 \cdot A_{sR} \cdot B_{s\beta R} \cdot \tau_{эфф,R} \quad (7)$$

При оценке рисков и контактных доз облучения кожных покровов плотность загрязнения кожи радионуклидом A_{sR} при расчетах можно консервативно считать равной плотности загрязнения других поверхностей. Пробы с поверхности обычно получают, протирая определенную область поверхности такими материалами, как ватные тампоны или фильтровальная бумага. Эффективность сбора следует определять по каждому конкретному сочетанию поверхности и обтирочного материала, но для влажного тампона на умеренно пористой поверхности она близка к 10 % [2].

Следует отметить, что по некоторым оценкам, в реальной чрезвычайной ситуации построение прогнозов с применением концепции «критического органа» может на порядок и более занижать фактические дозовые нагрузки. Если эффективная толщина обуви, одежды или средств индивидуальной защиты превосходит $2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$, то они до 95 % экранируют поток β -частиц [10].

При наличии результатов измерений плотности потока β -частиц $F, \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, эквивалентная доза при контактном облучении кожи $H_T, \text{ Зв}$, рассчитывается по формуле 8:

$$H_T = \varepsilon_{перс}^{конт} \times F \times t, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{перс}^{конт}$ — эквивалентная доза в коже на единичный флюенс, $\text{Зв} \cdot \text{см}^2$, значения приведены в [7];

t — время облучения, с.

В реальных чрезвычайных ситуациях (катастрофа на ЧАЭС, в Фукусиме, авариях на атомных подводных лодках) дозы облучения часто оценивались по специфическим детерминированным эффектам. Например, для кожи порог эритемы и сухого шелушения — симптомов, появляющихся спустя примерно 3 недели после облучения, составляет 3–5 Зв. Влажное шелушение возникает после 20 Зв. При этом пузыри появляются примерно спустя 4 недели после облучения. Гибель клеток в эпидермальном и дермальном слоях, приводящая к некрозу тканей, наступает после локального облучения участка кожи в дозе около 50 Зв [1].

ТЕМА 5 МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗА ВНЕШНИХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

Прогноз внешних доз фотонного облучения от радиоактивного источника, облака и выпадений на почву и другие поверхности выполняется путем умножения измеренного штатным дозиметром значения мощности до-

зы ($мЗв \times ч^{-1}$) в разных точках зоны выполнения аварийно-спасательных работ на их планируемую продолжительность ($ч$). Количество измерений мощности дозы определяется характером чрезвычайной ситуации, но должно быть не менее 5, вес (значимость) каждого измерения при принятии решения об использовании его результата в прогнозе дозы, зависит от продолжительности работ в данной точке. В ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ и проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах радиационного загрязнения необходимо контролировать дозиметром величину мощности дозы, внося, при значимых ее изменениях, соответствующие поправки в прогноз внешних доз облучения.

Однако радионуклиды, рассеянные в атмосфере, могут быть источником и β -частиц, поток которых может не регистрироваться обычными дозиметрами (если эффективная толщина их корпуса превосходит $2 \text{ г} \times \text{см}^{-2}$). При этом доза от облака и факела радиоактивных газов и аэрозолей в значительной степени зависит от энергии β -частиц. Для прогноза доз облучения при достаточно продолжительном выбросе радиоактивное облако имитируется источником в форме полубесконечного пространства с равномерно распределенной по объему активностью $A_v, \text{Бк} \times \text{м}^{-3}$. Это приближение верно с погрешностью не более 5–10 %, если размеры загрязненного слоя воздуха превосходят 3 длины свободного пробега β -частиц в воздухе (до нескольких десятков метров). При меньших размерах радиоактивного облака мощность дозы будет ниже, т. е. расчеты будут являться консервативной оценкой. Расчет доз производится «методом погружения». Согласно закону лучевого равновесия, внешняя эквивалентная доза на кожные покровы может быть рассчитана по формуле 9:

$$H_T = B_{\alpha\beta} \times A_v \times t, \quad (9)$$

где A_v — равномерно распределенная по объему активность β -излучателей, $\text{Бк} \times \text{м}^{-3}$;

$B_{\alpha\beta}$ — дозовый коэффициент внешнего β -облучения, $(Зв \times \text{м}^3) \cdot (\text{с} \times \text{Бк})^{-1}$, который может быть определен по формуле 10:

$$B_{\alpha\beta} = \frac{1,602 \cdot 10^{-13}}{2 \cdot \omega \cdot \rho} \sum_i n_i \cdot E_i \cdot \{S_m(E_i)_b / S_m(E_i)_a\} \cdot k, \quad (10)$$

где $S_m(E_i)_b / S_m(E_i)_a$ — отношение полных тормозных способностей β -частиц и электронов конверсии i -ой энергии в коже $S_m(E_i)_b$ и воздухе $S_m(E_i)_a$, равное $1,09 \pm 0,04$ [10];

$1,602 \cdot 10^{-13}$ — энергетический эквивалент, $\text{Дж} \cdot \text{Мэв}^{-1}$;

ρ — плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho = 1,293, \text{кг} \times \text{м}^{-3}$;

2 — коэффициент, учитывающий 2π -геометрию облучения (облако в форме полубесконечного пространства);

ω — энергетический эквивалент грея, $\omega = 1 \text{ Дж} \times (\text{Гр} \times \text{кг})^{-1}$;

n_i — абсолютный выход в системе распада с учетом электронов конверсии, *частиц/распад*;

k — коэффициент качества, равный $1 \text{ Зв} \times \text{Гр}^{-1}$.

Значения дозовых коэффициентов в базальном слое кожи, $B_{\alpha\beta}$, $(Зв \times м^3) \cdot (год \times Бк)^{-1}$, создаваемые β -частицами и электронами конверсии для основных радионуклидов, содержащихся в полубесконечном радиоактивном облаке, приведены в таблице 6 [11].

Таблица 6 — Дозовые коэффициенты в базальном слое кожи, создаваемые β -частицами и электронами конверсии радионуклидов, содержащихся в полубесконечном радиоактивном облаке, $B_{\alpha\beta}$, $(Зв \times м^3) \cdot (год \times Бк)^{-1}$

Нуклид	$B_{\alpha\beta}$	Нуклид	$B_{\alpha\beta}$	Нуклид	$B_{\alpha\beta}$	Нуклид	$B_{\alpha\beta}$
^{14}C	$2,16 \times 10^{-8}$	^{91}Y	$9,85 \times 10^{-7}$	^{131}I	$3,44 \times 10^{-7}$	^{140}La	$9,31 \times 10^{-7}$
^{41}Ar	$7,62 \times 10^{-7}$	^{95}Zr	$1,91 \times 10^{-7}$	^{132}I	$8,79 \times 10^{-7}$	^{141}Ce	$2,83 \times 10^{-7}$
^{51}Cr	$9,68 \times 10^{-11}$	^{95}Nb	$2,62 \times 10^{-8}$	^{133}I	$7,19 \times 10^{-7}$	^{144}Ce	$1,19 \times 10^{-7}$
^{54}Mn	$4,04 \times 10^{-10}$	^{99}Mo	$6,73 \times 10^{-7}$	^{134}I	$1,05 \times 10^{-6}$	^{144}Pr	$1,95 \times 10^{-6}$
^{59}Fe	$1,77 \times 10^{-7}$	^{99}Tc	$1,14 \times 10^{-7}$	^{135}I	$6,93 \times 10^{-7}$	^{147}Pm	$6,30 \times 10^{-8}$
^{58}Co	$5,37 \times 10^{-10}$	^{99m}Te	$1,78 \times 10^{-8}$	^{131m}Xe	$1,98 \times 10^{-7}$	^{154}Eu	$4,31 \times 10^{-7}$
^{60}Co	$1,36 \times 10^{-7}$	^{103}Ru	$7,18 \times 10^{-8}$	^{133m}Xe	$3,19 \times 10^{-7}$	^{155}Eu	$2,60 \times 10^{-8}$
^{85m}Kr	$4,41 \times 10^{-7}$	$^{106}Ru/Rh$	$2,19 \times 10^{-6}$	^{133}Xe	$1,62 \times 10^{-7}$	^{239}Np	$3,87 \times 10^{-7}$
^{85}Kr	$3,89 \times 10^{-7}$	^{124}Sb	$6,46 \times 10^{-7}$	^{135m}Xe	$1,80 \times 10^{-7}$	^{238}Pu	$9,81 \times 10^{-11}$
^{87}Kr	$2,10 \times 10^{-6}$	^{125}Sb	$1,48 \times 10^{-7}$	^{135}Xe	$5,99 \times 10^{-7}$	^{239}Pu	$8,70 \times 10^{-9}$
^{88}Kr	$5,85 \times 10^{-7}$	^{125m}Te	$1,06 \times 10^{-7}$	^{137}Xe	$2,78 \times 10^{-6}$	^{240}Pu	$9,81 \times 10^{-11}$
^{89}Kr	$1,93 \times 10^{-6}$	^{127m}Te	$6,00 \times 10^{-8}$	^{138}Xe	$1,10 \times 10^{-6}$	^{241}Pu	$3,69 \times 10^{-13}$
^{86}Rb	$1,07 \times 10^{-6}$	^{127}Te	$4,03 \times 10^{-7}$	^{134}Cs	$2,87 \times 10^{-7}$	^{242}Pu	$7,56 \times 10^{-10}$
^{88}Rb	$3,06 \times 10^{-6}$	^{129m}Te	$4,14 \times 10^{-7}$	^{135}Cs	$5,43 \times 10^{-8}$	^{241}Am	$3,17 \times 10^{-10}$
^{89}Rb	$1,44 \times 10^{-6}$	^{129}Te	$9,02 \times 10^{-7}$	^{136}Cs	$1,77 \times 10^{-7}$	^{242}Cm	$1,01 \times 10^{-14}$
^{89}Sr	$9,32 \times 10^{-7}$	^{131m}Te	$2,46 \times 10^{-7}$	^{137}Cs	$4,16 \times 10^{-7}$		
^{90}Sr	$3,02 \times 10^{-7}$	^{132}Te	$8,68 \times 10^{-8}$	^{138}Cs	$1,91 \times 10^{-6}$		
^{90}Y	$1,49 \times 10^{-6}$	^{129}I	$1,92 \times 10^{-8}$	^{140}Ba	$5,05 \times 10^{-7}$		

ТЕМА 6

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

Суммарная ожидаемая эффективная доза (доза облучения всего тела) медицинских работников, которая может быть получена в результате медико-санитарного обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах радиационного загрязнения, вычисляется как сумма:

— доз внешнего γ -облучения от радиоактивного облака и выпадений (эта компонента дозы вычисляется по измеренным значениям мощности дозы в соответствии с положениями п. 3);

— β -облучения от радиоактивного облака (формула 9);

— дозы внутреннего облучения за счет ингаляции радионуклидов (по формулам 1 или 2 в зависимости от наличия данных измерений).

Ожидаемая эквивалентная контактная доза облучения кожи вычисляется по формулам 5, 6, 7 или 8 в зависимости от изотопного состава выпадений, их физико-химических свойств и продолжительности проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах радиационного загрязнения, наличия данных измерений. Прогноз эквивалентной дозы в щитовидной железе можно построить с помощью выражения (1) и дозовых коэффициентов, приведенных в таблице 4.

Допустимое время работы в смене при действиях на территории радиоактивного загрязнения определяется исходя из построенного прогноза суммарной эффективной дозы согласно национальному законодательству по радиационной безопасности [7].

Критерием для планирования мер радиационной защиты при ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ и проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах радиационного загрязнения являются уровни ожидаемых (прогнозируемых) доз, при превышении которых возможны клинически определяемые эффекты (для острого облучения) или неприемлемо высокий риск стохастических эффектов (таблица 7).

Таблица 7 — Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство [7]

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе или ткани за 2-е сут, Gp (≈ 36)
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3

Критерием для эвакуации работников является превышение прогнозируемой дозы за первые 10 суток предела в $0,5 Gp$ на все тело (или $5 Gp$ на щитовидную железу, легкие, кожу), временного укрытия — $0,05 Gp$ ($0,5 Gp$ соответственно) [7]. Йодная профилактика, согласно современным научным представлениям, практически не купирует поступление радиоактивного йода в щитовидную железу (необходимо принять более 1 тыс. доз препарата для достижения значимого эффекта, что является неосуществимым).

Опыт аварийного и терапевтического облучения показывает, что ни один из облученных не погибнет после радиационного воздействия на все тело в дозе менее 1 Гр. По мере увеличения дозы погибает больше облученных, пока, наконец, с дальнейшим увеличением дозы не погибнут все. Одной из основных характеристик для прогноза медицинских последствий от облучения является величина дозы, при которой из облученной группы людей за 60 суток (время развития и реализации острой лучевой болезни)

без специализированной медицинской помощи погибнет 50 % ($LD_{50/60}$). Для здорового взрослого человека эта величина после острого равномерного облучения оценивается в диапазоне от 3 до 5 Гр (доза по средней линии тела, которая аппроксимирует дозу на красный костный мозг для гамма-излучения с энергией 1 МэВ). Причиной смерти при этом служит нарушение функции красного костного мозга, связанное с гибелью его стволовых клеток (так называемая костномозговая форма острой лучевой болезни) [1].

При дозах от высокоэнергетического γ -излучения равномерно распределенного по всему телу, полученных в течение нескольких минут и превышающих 5 Гр, возникают новые эффекты, включая тяжелое поражение желудочно-кишечного тракта и, прежде всего, стволовых клеток крипт кишечного эпителия и эндотелия капилляров, что в сочетании с повреждением красного костного мозга приводит к летальному исходу в течение месяца. После облучения в дозе 10 Гр развивается острый воспалительный процесс в легких, приводящий к смерти. Этот процесс существенен при избирательном облучении легких, т. к. при общем облучении организма гибель наступит раньше от кишечного синдрома. После облучения в дозе больше 10 Гр проявляется действие на нервную и сердечно-сосудистую системы и гибель может наступить через несколько суток от шока. Если доза формируется в течение нескольких часов или дольше, то для появления этих эффектов потребуются большая доза на все тело [1].

Некоторые детерминированные эффекты после облучения происходят в результате такого нарушения функции ткани или органа, причиной которого является не только гибель клеток. Дисфункция может возникнуть в результате влияния поражения одного из облученных органов на функции других органов и тканей (например, нарушение функций гипофиза после его облучения, приводящее к гормональным дисфункциям в других эндокринных железах). Общим свойством для этих проявлений является обратимость преходящих эффектов. Примерами таких функциональных изменений являются снижение секреции слюнных и эндокринных желез, изменение электроэнцефалографических ритмов, сосудистые реакции типа ранней эритемы кожи или подкожного отека, подавление иммунной системы. Эти функциональные эффекты могут иметь клинически важные последствия [6].

При переоблучении работника необходимо купирование первичной реакции и отправка пораженного в стационар. Учитывая небольшую практику в диагностике и лечении лучевой патологии в местных медицинских учреждениях, целесообразно ориентироваться на специализированные медицинские бригады, функционирующие на базе ведущих специализированных учреждений, имеющих соответствующий опыт.

Стохастические беспороговые эффекты у людей достоверно не выявлены при суммарных дозах облучения менее 200–500 мЗв. Однако в целях обеспечения более надежной безопасности облучаемых лиц в соответствии с международными и отечественными рекомендациями принимается, что

стохастические эффекты возможны при любых, отличных от нуля дозах, но с разной вероятностью. Следует подчеркнуть, что используемая гипотеза о беспороговом характере индукции стохастических эффектов является консервативной и завышает реально возможные риски отдаленных последствий. Использовать коэффициенты риска выхода стохастических эффектов для оценки реальных последствий облучения людей в условиях радиационного воздействия следует очень осторожно, учитывая, что это может привести к необъективным оценкам, результатом которых могут стать тяжелые и неоправданные социально-психологические и экономические последствия.

Теоретически считается, что не существует порога индуцирования молекулярных изменений на особых участках ДНК, затронутых исходными актами взаимодействия ионизирующего излучения с клетками, которое приводит к злокачественному перерождению и, в итоге, к злокачественному росту. Сами исходные события могут включать более одного этапа, среди которых излучение или любой другой внешний пусковой сигнал не обязательно является первым. В последующем может возникнуть клон потенциально злокачественных клеток, а после дальнейших событий в клетках или в их окружении может развиваться рак. Вероятность явного развития рака значительно меньше вероятности исходных событий из-за наличия защитных репаративных процессов в организме. У человека период между облучением и возникновением рака (т. н. латентный период) может длиться многие годы. Минимальный латентный период может составлять 2–5 лет в случае лейкемии и в 2–3 раза больше для многих твердых (солидных) опухолей (например, легкого). В среднем для всех опухолей длительность латентного периода принимается 10 лет [6]. В качестве характеристики радиационно-индуцированного риска, согласно международным рекомендациям, используют полученные с учетом всех вышеперечисленных факторов, влияющих на радиационно-индуцированный канцерогенез, коэффициенты вероятности смертельного исхода от конкретного злокачественного заболевания после облучения в малых дозах (таблица 8).

Количественной оценкой радиационно-индуцируемых эффектов является также коэффициент вероятности наследуемых эффектов, отнесенный к дозам на половые железы и распространенный на всю популяцию. Для тяжелых наследованных эффектов во всех поколениях облученных родителей он принимается равным 0,006 при облучении в дозе 1 Зв (или 6 случаев при облучении 1 тыс. работников в дозе 1 Зв). Для стохастических эффектов ущерб включает не только оценки смертельных случаев рака, но и другие вредные эффекты излучения. Учитываются 4 основных компонента ущерба при облучении всего тела в малых дозах. Они включают: риск смертельных случаев рака соответствующих органов, длительность латентного периода, от которого зависит ожидаемое число потерянных лет жизни от смертельных случаев рака разных органов, учет заболеваний, вы-

званных несмертельными случаями рака и, наконец, учет риска серьезных наследуемых нарушений у всех будущих потомков облученного человека [6].

Таблица 8 — Вероятность индукции смертельных злокачественных опухолей за все время жизни [6]

Орган	Коэффициент вероятности смертельного исхода (число исходов при облучении в дозе 1 Зв)
Желудок	0,011
Легкие	0,0085
Толстый кишечник	0,0085
Щитовидная железа	0,008
Красный костный мозг	0,005
Пищевод	0,003
Мочевой пузырь	0,003
Печень	0,0015
Поверхности костей	0,0005
Кожа	0,0002
Остальные органы	0,005
Полный коэффициент	0,05

Важным фактором является также уровень образования медицинских работников в области радиационной безопасности, иначе отсутствие достаточных знаний или, что бывает чаще, наличие неверных представлений по такому сложному вопросу как влияние радиационного фактора на здоровье, может существенно затруднить решение поставленных задач. В таких случаях возможны медицинские последствия, не связанные непосредственно с воздействием радиационного фактора, например, психотические и стрессорные состояния, обострение ряда общесоматических заболеваний, избыточный травматизм и другие значимые расстройства здоровья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по организации санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях: утв. МЗ РФ, 24.01.2000 г., № 20.
2. Оценка профессионального облучения вследствие поступления радионуклидов: рук. по безопасности / Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). — Вена: МАГАТЭ, 1999. — № RS-G-1.2 (Серия норм безопасности).
3. Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения / Международное агентство по атомной энергии. — Вена: МАГАТЭ, 1999. — № RS-G-1.3 (Серия норм безопасности).
4. Радиационная защита при профессиональном облучении / Международное агентство по атомной энергии, Международное бюро труда. — Вена: МАГАТЭ, 1999. — № RS-G-1.1 (Серия норм безопасности).
5. International Commission on Radiological Protection, «General principles for the radiation protection of workers». — Oxford: Pergamon Press, 1997. — ICRP Publication No. 75.
6. International Commission on Radiological Protection, «Recommendations of the International Commission on Radiological Protection». — Oxford: Pergamon Press, 1991. — ICRP Publication No. 60.
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000): ГН 2.6.1.8-127-2000: утв. МЗ РФ, 25.01.2000 г., № 5.
8. International Commission on Radiological Protection, «Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection». — Oxford: Pergamon Press, 1994. — ICRP Publication No. 66.
9. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: МУ 2.6.1.2153-06: утв. рук. Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 4 декабря 2006 г. / ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; сост. В. Ю. Голиков. — СПб, 2006. — 83 с.
10. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, Н. Г. Григорьев, В. А. Беляев. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 254 с.
11. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад научн. комитета ООН по действию атомной радиации. — НКДАР, 1982.
12. Рекомендации по планированию, организации и ведению боевых действий подразделениями ГПС при тушении пожаров на АЭС в условиях радиационной аварии. — М.: ВНИИПО, 2002. — 68 с.
13. Современные принципы и методология дозиметрической поддержки медико-гигиенического обеспечения персонала радиационно опас-

ных объектов и населения, проживающего в районе их расположения, в случае радиационной аварии: метод. рекомендации. — М.: Федеральное медико-биологическое агентство, 2008. — 85 с.

14. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002): Санитарные правила и нормы 2.6.1.8-8-2002: утв. пост. Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22 февраля 2002 г., № 6 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2002 г., № 35, 8/7859).

15. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной ситуации. Требования / Международное агентство по атомной энергии. Вена, 2004. — № GS-R-2. (Серия изданий по безопасности).

16. Определение содержания альфа-излучателей в атмосферной пыли при различных сельскохозяйственных технологиях: отчет о НИР / Белорус. филиал Всесоюзного науч.-исслед. института сельскохозяйственной радиологии. — Гомель, 1989. — № 24/29 от 15.12.89.

17. Kocher, D. C., Eckerman K. F. // Health Phys. — 1981. — Vol. 40. — P. 467, Vol. 41. — P. 576.

Приложение 1
Рекомендуемое оснащение
средствами разведки и защиты

Таблица — Рекомендуемое оснащение средствами разведки и защиты

Виды имущества и единицы измерения	Кол-во
Дыхательный аппарат на сжатом воздухе (% от штата)	100
Индивидуальный пробоотборник воздуха (ИПВ) с автономным питанием (шт.)	1 на отд.
Общевойсковой фильтрующий противогаз (% от штата)	110
Респиратор (% от штата)	100
Защитный костюм, комплект (% от штата)	100
Дозиметр типа МКС-АТ1117М, ДРГ-01Т1 для измерения внешнего гамма-излучения (10 мкР/ч ... 10 Р/ч) (шт.)	1 на отд.
Измеритель мощности доз (рентгенометр, сканер) типа МКС-АТ6101С, ДП-5 (0,05 мР/ч ... 200 Р/ч) (шт.)	1 на отд.
Комплект индивидуальных дозиметров типа ДКГ-АТ2503, ИД-1П-22В, ДП-24 (0,2 ... 5 Гр) (шт.)	1

Приложение 2
Пример комплекта одежды защитной
от ионизирующих излучений

Комплекты одежды пожарных специальной защитной от ионизирующих излучений (типа СЗО-1, Россия) предназначены для защиты от внешнего облучения α -, β и мягкого γ -излучения, повышенных температур, проникновения радиоактивных веществ через дыхательные пути и пищеварительный тракт, а также от радиоактивного загрязнения поверхности тела при проведении разведки, тушении пожаров и ликвидации аварий на радиационно опасных объектах.

Таблица — Пример комплекта одежды защитной от ионизирующих излучений

Состав комплекта	Комбинезон защитный, шлем защитный, фартук защитный, перчатки пятипалые с крагами, скафандр наружный с иллюминатором и трехпальными съемными рукавицами, гигиеническое белье, защитные трусы, вставка в сапоги
Ослабление внешнего γ -излучения с энергией 200 КЭВ в области защищенных критических органов 1 и 2-й групп	2 (не менее)
Ослабление β -излучения с граничной энергией 2 МЭВ в области защищенных критических органов 1 и 2-й групп	50 (не менее)
Время защитного действия при температуре $\leq 100^\circ\text{C}$, мин	10 (не более)
Время экипировки, с	300 (не более, с помощью одного ассистента)
Масса комплекта, кг	21,5...23,5

Приложение 3

Средства дезактивации

Для проведения дезактивационных работ используют дезактивирующие вещества и растворы, которые позволяют повысить эффективность удаления радиоактивных частиц. К ним относятся поверхностно-активные моющие вещества, отходы промышленных предприятий и органические растворители. Чтобы повысить моющую способность воды, в нее добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ). 0,1–0,5 % ПАВ способствуют отрыву и выведению в дезактивирующий раствор радиоактивных частиц. К ПАВ, обладающими моющими свойствами, относятся обычное мыло, гардиноль, сульфонол, препараты ОП-7, ОП-10, пенообразователь.

Гардиноль — порошок белого или кремового цвета, легкорастворимый в воде с образованием слабощелочной среды. Обладает хорошими поверхностно-активными и моющими свойствами.

Сульфонол — пастообразное или в виде пластинок коричневого цвета вещество, умеренно растворимое в воде. Обладает хорошей моющей способностью. Сульфонол используется для приготовления моющих порошков СФ-2 и СФ-2У.

Препараты ОП-7 и ОП-10 широко применяются в промышленности в качестве смачивателей и эмульгаторов. Используют их как составную часть дезактивирующих растворов для обработки сооружений, оборудования, техники, одежды и СИЗ.

К комплексобразующим веществам относят фосфаты натрия, щавелевую, лимонную, винную кислоты, их соли. Из числа фосфатов часто используют гексаметафосфат натрия и другие соли фосфорных кислот.

Промышленные отходы, содержащие в своем составе ПАВ (жирные кислоты, сульфонол, ОП-7, различные масла и другие вещества), имеются на предприятиях машиностроительной, станкостроительной, текстильной промышленности, на жирокOMBинатах, фабриках химической чистки, банно-прачечных комбинатах.

Органические растворители — дихлорэтан, бензин, керосин, дизельное топливо. Дезактивировать ими рекомендуется, главным образом, металлические поверхности. Радиоактивные вещества смывают ветошью, щетками и кистями, смоченными в растворителях.

Все вышеперечисленные вещества можно использовать при приготовлении растворов для дезактивации поверхностей различных сооружений, оборудования, техники и транспорта, одежды, обуви и средств защиты.

Учебное издание

Бортновский Владимир Николаевич
Буздалкин Константин Николаевич
Нилова Екатерина Константиновна

**БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ,
ПРИВЛЕКАЕМЫХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ**

**Учебно-методическое пособие
для студентов 2 курса лечебного и 4 курса
медико-диагностического факультетов
медицинских вузов**

Редактор *О. В. Кухарева*
Компьютерная верстка *С. Н. Козлович*

Подписано в печать 07.06.2012.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная 65 г/м². Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,03. Тираж 50 экз. Заказ 164.

Издатель и полиграфическое исполнение
Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»
ЛИ № 02330/0549419 от 08.04.2009.
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель.