

ких преувеличений может стать введение неоправданных для имеющегося уровня воздействия защитных мер и ограничений, которые могут сами по себе принести вред здоровью человека, становясь ведущей причиной психоэмоционального стресса. Наиболее авторитетным при решении этих ответственных вопросов должно стать заключение врача, имеющего качественную подготовку по экологической и радиационной медицине.

УДК 614.876

ОЖИДАЕМЫЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ МЕДРАБОТНИКОВ, ПРИВЛЕЧЕННЫХ К ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Бортновский В. Н., Буздалкин К. Н., Нилова Е. К.

Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие

«Институт радиологии»

г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

Исследования в значительной степени обусловлены случаями переоблучения при ликвидации последствий катастроф на АЭС в Чернобыле и Фукусиме, а также необходимостью учета современных научных представлений и принципов радиационной защиты. В условиях ранней фазы радиационной аварии первоочередными задачами в области радиационной безопасности медицинских работников, привлеченных для медико-санитарного обеспечения аварийно-спасательных работ на территории радиоактивного загрязнения, являются оценка ожидаемых доз облучения и планирование продолжительности работ каждого сотрудника, выбор адекватных средств индивидуальной защиты кожи и органов дыхания.

Цель исследования: снижение рисков переоблучения медработников, привлеченных к ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ, в том числе сокращение числа острых (детерминированных) и отдаленных стохастических эффектов облучения.

Методы исследования

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. 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. Общие подходы к оценке доз облучения аварийных работников предложены в [2].

При построении прогнозов ингаляционных доз облучения используются коэффициенты дозы, приведенные в приложении 2 НРБ-2000 [3] (формула 1):

$$E = \sum R \{ \varepsilon^{возд} R \times A_v, R \} \times V_{перс} \times t, \quad (1)$$

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

$\varepsilon^{перс}$ ^{возд}R — дозовый коэффициент (значение ожидаемой эффективной дозы на единицу поступления радионуклида R в виде аэрозоля с логарифмически нормальным распределением частиц по активности при медианном аэродинамическом диаметре 1 мкм и стандартном геометрическом отклонении, равном 2,5 в соответствии с моделью органов дыхания, рекомендованной НРБ-2000 [3]), $Зв \times Бк^{-1}$;

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

$V_{перс}$ — объем вдыхаемого воздуха в час, для стандартных условий равен $1,4 м^3 \times ч^{-1}$ [3];

t — время выполнения аварийно-спасательных работ, ч.

По формуле (1) рассчитывается прогноз ожидаемой эффективной дозы, полученной как в ходе проведения работ (за время t), так и за последующие 50 лет за счет распада инкорпорированных в организме радионуклидов. При выборе дозового коэффициента $\varepsilon^{перс}$ ^{возд}R в случае нахождения радионуклидов в воздухе в форме аэрозолей необходимо учитывать тип их химического соединения [3]. Радиоактивные инертные (благородные) газы принято рассматривать 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 сутки. Если химическая форма соединения радионуклида неизвестна, то следует использовать дозовый коэффициент для соединения с наибольшим значением его величины.

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

$$H_T = \varepsilon^{перс}^{конт} \times F \times t, \quad (2)$$

где $\varepsilon^{перс}^{конт}$ — эквивалентная доза в коже на единичный флюенс, $Зв см^2$, значения приведены в [3].

Результаты и их обсуждение

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:

$$E = \sum R \{ \varepsilon^{перс}^{возд} R \times V_{max} \times \sigma g, R \} \times V_{перс} \times t, \quad (3)$$

где V_{max} — максимальное значение скорости ветрового подъема (равное $3 \times 10^5 м^{-1}$ [4], не применимо в случаях торфяных пожаров);

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

Преимуществом предложенного метода является простота и оперативность при достаточном уровне консервативности, несмотря на то, что не учитывается распределение радио-

нуклидов 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, однако его использование 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. 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.

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 объемных активностей, рекомендуемых для оценки ингаляционного пути облучения, и при нормировании контактных доз облучения кожных покровов [3] (при условии, что общая площадь загрязнения не превосходит 300 см²). Через неповрежденную кожу, в зависимости от вида радионуклида и соединения, может поступать в организм до 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 индивидуальных средств защиты).

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 $H'(t)$, $Зв \times c^{-1}$, на незащищенную одеждой поверхность кожи. Вводится понятие эффективного периода, учитывающего радиоактивный распад и выведение радионуклида R с поверхности кожи, который рассчитывается по формуле 4:

$$\tau_{эфф, R} = [(T_{1/2} \cdot T_b) / (T_{1/2} + T_b)] / 0.693, \quad (4)$$

где $T_{1/2}$ — период радиоактивного распада радионуклида R;

T_b — период полувыведения радиоактивных частиц с кожных покровов (в целях консервативности загрязнение считается несмываемым и принято $T_b = 20$ сут).

Радиоактивное загрязнение может формировать дозу и после окончания работ. Поэтому консервативно принимается, что продолжительность облучения много больше $\tau_{эфф, R}$. Полная ожидаемая контактная доза облучения кожных покровов рассчитывается по формуле

$$H_R = 1.44 \cdot A_{sR} \cdot B_s \beta R \cdot \tau_{эфф, R}, \quad (5)$$

где A_{sR} — плотность загрязнения кожи радионуклидом R (можно консервативно считать равной плотности загрязнения других поверхностей), $Bк \times см^{-2}$;

$B_{s\beta R}$ — дозовый коэффициент внешнего облучения базального слоя кожи β -частицами и электронами конверсии при равномерном загрязнении кожи радионуклидом R, $Зв \times см^2 (с \times Бк)^{-1}$ (значения приведены в [5], соответствуют толщине слоя эпидермиса $\Delta x = 4 мг \times см^2$).

Прогноз внешних доз фотонного облучения от радиоактивного источника, облака и выпадений на почву и другие поверхности выполняется путем умножения измеренного штатным дозиметром значения мощности дозы ($мЗв \times ч^{-1}$) в разных точках зоны выполнения аварийно-спасательных работ на их планируемую продолжительность (ч). Однако радионуклиды, рассеянные в атмосфере, могут быть источником и β -частиц, поток которых может не регистрироваться обычными дозиметрами (если эффективная толщина их корпуса превосходит $2 г \times см^2$). 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 $A_v, Бк \times м^{-3}$. Согласно закону лучевого равновесия, внешняя эквивалентная доза на кожные покровы может быть рассчитана по формуле 6:

$$H_T = B_{\alpha\beta} \times A_v \times t, \quad (6)$$

где A_v — равномерно распределенная по объему активность β -излучателей, $Бк \times м^{-3}$; $B_{\alpha\beta}$ — дозовый коэффициент внешнего β -облучения, $(Зв \times м^3) \cdot (с \times Бк)^{-1}$ [5].

Заключение

На современном этапе наименее изученными и поэтому наиболее критическими факторами, определяющими радиационную безопасность при ликвидации последствий радиационной аварии, становятся ингаляционное поступление долгоживущих радионуклидов, особенно трансураниевых элементов, а также факторы, приводящие к радиационному ожогу кожи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по организации санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях: утвержд. Мин. Здрав. Рос. Федерации, 24 января 2000 г., № 20.
2. Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации. IAEA-TECDOC-1162г / Международное агентство по атомной энергии. — Вена: МАГАТЭ, 2004. — 196 с.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000): ГН 2.6.1.8-127-2000: утв. пост. Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 22.02.2002 г., №65. — Минск, 2002. — 67 с.
4. Определение содержания альфа-излучателей в атмосферной пыли при различных сельскохозяйственных технологиях: отчет о НИР / Белорус. филиал Всесоюзного научно-исслед. института сельскохозяйственной радиологии. — Гомель, 1989. — Инв. № 24/29 от 15.12.89.
5. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Григорьев, В. А. Беляев. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 254 с.

УДК 614.78(476.2)

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ РАЙОНОВ Г. ГОМЕЛЯ

Бортновский В. Н., Чайковская М. А.

Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»

г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

Одной из основных проблем современности стало сохранение здоровья человека и обеспечение состояния среды обитания, благоприятной для жизни общества, как в настоящем, так и будущем. Оптимизация условий жизни, быта и отдыха населения неразрывно связана с реализацией программы жилищно-гражданского строительства, включающей в себя не только увеличение обеспеченности жильем, но и повышение качества проектирования и строительства городов, улучшение их инфраструктуры, обеспечение