

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ
ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

Учебное пособие для вузов

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2017

ВВЕДЕНИЕ

С открытием деления атомного ядра началась эпоха широкого применения атомной энергии. Стремление обезопасить людей от вредоносного действия излучения и в то же время научиться использовать уникальные свойства проникающего излучения на пользу человека привело к интенсивному развитию радиационной биологии, дозиметрии ионизирующего излучения и радиационной безопасности.

Практика контроля профессионального облучения опирается на современную систему дозиметрических величин и международный опыт развития радиационно опасных технологий. По мере совершенствования наших знаний об эффектах ионизирующего излучения изменяются система обеспечения радиационной безопасности, а вместе с ней и практика контроля профессионального облучения.

Внедрение на предприятиях Российской Федерации современной системы обеспечения радиационной безопасности продиктовано, в первую очередь, необходимостью для страны идти в ногу с международным сообществом в достижении важнейшей гуманитарной цели – обеспечении безопасных условий труда для всех работников. Первым шагом на этом пути стало введение в действие Норм радиационной безопасности – НРБ-99 и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности – ОСПОРБ-99 (сокращенно – Норм и Правил).

В Нормах и Правилах сформулированы общие требования к организации и проведению дозиметрического контроля облучения персонала. Для введения их в действие на предприятиях Российской Федерации необходима детализация этих требований применительно к номенклатуре источников ионизирующего излучения, эксплуатируемых в каждой отрасли народного хозяйства. Эту проблему решают методические указания Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем, которые распространяются на методы определения индивидуальных доз облучения персонала и организацию соответствующего контроля.

поражения. Клетки, из которых состоят органы и ткани тела человека, можно разделить на две неравные группы. К первой относятся мужские и женские половые клетки, в результате слияния которых может возникнуть человеческий зародыш. Ко второй группе – к группе соматических клеток относят все остальные клетки тела человека. Согласно современным представлениям биологические эффекты излучения делят на детерминированные и стохастические (табл.1). В основе развития эффектов, относящихся к первой группе, лежит мутагенное действие излучения, в основе эффектов второго типа - гибель клеток органов и тканей под действием излучения.

Таблица 1.

Общая классификация биологических эффектов ионизирующего излучения

Клетки – мишени	Эффекты излучения	
	Детерминированные	Стохастические
Соматические клетки человека	Лучевые поражения органов и тканей	Злокачественные опухоли и лейкозы
Соматические клетки человеческого эмбриона и плода	Тератогенные эффекты	Злокачественные опухоли и лейкозы
Половые клетки родителей		Наследуемые заболевания у потомков

Закономерности формирования эффектов излучения являются основой для стратегии защиты человека от рисков, связанных с использованием источников ионизирующего излучения. Биологические эффекты излучения в значительной степени определяются свойствами самого облучаемого объекта, однако они сходны для живых организмов, относящихся к одному классу, например, для млекопитающих. Поэтому радиобиологические эксперименты на животных служат для исследования общих закономерностей радиационного поражения. Фактической базой радиационной безопасности является многолетнее наблюдение за группами облученных людей. В начале XX века такой наблюдаемой группой были врачи-радиологи, после Второй мировой войны – жители Хиросимы и Нагасаки, выжившие после военного применения ядерного оружия, жертвы радиационных аварий, больные, подвергавшиеся терапевтическому облучению, профессиональные работники атомной промышленности.

К детерминированным эффектам (возникающим при больших дозах излучения) относят:

- острую и хроническую лучевые болезни,
- локальные поражения органов или тканей (например, радиационные ожоги),
- лучевую катаракту,

- аномалии и врожденные пороки развития новорожденных, являющиеся детерминированными эффектами облучения плода в эмбриональном периоде.

Имеющиеся данные о диапазонах доз, связанных с отдельными радиационно-индуцированными синдромами и смертью людей, подвергшихся острому равномерному облучению всего тела фотонами, иллюстрируют общие закономерности развития детерминированных эффектов:

- в силу индивидуальной радиочувствительности людей любой эффект характеризуется диапазоном значений пороговых доз;
- с ростом дозы облучения меняется биологический эффект, возникновение которого в конечном итоге приводит к смерти;
- с ростом дозы облучения растет тяжесть эффекта, которую отражает сокращение времени дожития (промежутка времени между облучением и смертью при отсутствии специализированной медицинской помощи).

На рис.2 приведены дозовые зависимости, характерные для детерминированных эффектов.

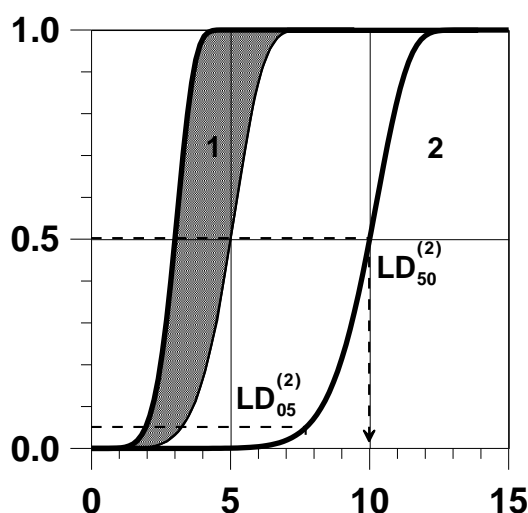


Рис. 2. Дозовые зависимости детерминированных эффектов при равномерном облучении всего тела фотонами: 1 – скорая гибель от поражения костного мозга; 2 – скорая гибель от поражения желудочно-кишечного тракта и легких.

Эти зависимости имеют сигмовидную форму и характеризуются несколькими параметрами:

- LD_{50} – дозой, при которой рассматриваемый эффект (например, преждевременная смерть) возникает у 50% облученных;
- LD_0 – пороговой дозой.

В табл. 2 приведены значения LD_{50} для острых радиационных эффектов равномерного однократного облучения тела человека фотонами. Представленные в таблице значения доз и сроков гибели оценены для

условий, когда облученным не оказывается специализированная медицинская помощь. Своевременная и квалифицированная медицинская помощь приводит к существенному увеличению значения LD₅₀ и смещению кривой доза-эффект в область больших доз.

Таблица 2

Детерминированные эффекты однократного равномерного облучения всего тела фотонами¹

Основная причина смерти	Срок гибели 50% облученных, сут	LD ₅₀ , Гр
Повреждение костного мозга	30 – 60	3 – 5
Повреждение желудочно-кишечного тракта и легких	10 – 20	10 ± 5
Повреждение нервной системы	1 – 5	> 15

По данным Всемирной организации здравоохранения¹ и МАГАТЭ в индустриально развитых странах вследствие нарушения технологии, неисправности аппаратуры или ошибок персонала в год может быть до 10 – 12 случаев повышенного (аварийного) облучения от различных источников ионизирующего излучения, из них в 1 – 2 случаях может развиваться лучевая болезнь или иные серьезные детерминированные эффекты излучения. В настоящее время наиболее часто встречающимся случаем аварийного облучения, приводящего к детерминированным эффектам, является локальное облучение отдельных органов источниками внешнего излучения. Как правило, в этих условиях кожа облучается в наибольшей степени.

1.3. Стохастические эффекты.

Наиболее распространенным до сих пор взглядом на механизм развития злокачественного новообразования (рака) при облучении является представление о мутациях соматических клеток, вызванных воздействием ионизирующего излучения. *Мутацией*² называют возникающее естественное или искусственно вызываемое стойкое изменение структуры клетки, ответственных за хранение наследственной информации и ее передачу от клетки к клетке в процессе деления, без которого невозможно существование организма. Считается, что начало развития рака может дать одна измененная клетка – носитель соматической мутации. Можно

¹ ICRP 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication No. 60. Ann ICRP 21 (1-3), Oxford: Pergamon Press (1991) (Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Ч. 1/ Ч. 2. - М.: Энергоатомиздат (1994))

² От лат. *mutatio* – изменение, перемена.

предсказать ожидаемое количество дополнительных раков (опухолей или лейкозов) в группе людей, облученных определенной дозой, но указать, у кого конкретно возникнет рак, вызванный ионизирующим излучением, нельзя. Это означает, что, анализируя последствия воздействия излучения на большую группу людей, облученных одинаковой дозой, при определенных условиях можно установить вероятностную связь между дозой облучения и увеличением числа раков вследствие облучения. Указать, в каком органе разовьется радиогенный (вызванный действием излучения) рак, можно только в случае локального облучения, например, при поступлении в организм радиоактивного йода, который приводит к облучению только щитовидной железы..

Вклад смертности от рака в общую статистику смертности в значительной степени определяется уровнем медицинской помощи, от которого зависит вклад в общую смертность других заболеваний, и образом жизни отдельных групп людей. Для выявления дополнительных стохастических эффектов излучения необходимо сравнить раковую смертность в двух когортах, различающихся только по одному показателю: на людей из одной когорты воздействовало излучение, а на людей из другой - нет.

На основании экспериментальных данных принято, что величина дозы, удваивающая наследуемые изменения у людей, принимается равной $(0,8 \pm 0,3)$ Гр. Эта величина примерно в 3 раза меньше дозы облучения всего тела, при которой могла бы удвоиться смертность от раков при отсутствии развития приводящих к быстрой гибели детерминированных эффектов.

Из накопленного современной медициной опыта можно сделать следующие выводы.

1. При общем облучении людей дозами более 3 Гр основными эффектами излучения, которые могут стать причиной преждевременной смерти облученных, являются детерминированные эффекты излучения:

- при облучении всего тела дозой более 10 Гр смертельный исход ожидается в течение короткого интервала времени;
- облучение всего тела дозой 5 Гр без последующего лечения влечет за собой 50-процентную смертность в течение 60 дней;
- облучение всего тела дозой 3 Гр приводит к излечимой форме лучевой болезни, которая сопровождается кожными реакциями и выпадением волос;
- первые признаки недомогания (тошнота, рвота) возникают после облучения всего тела дозой 1 Гр.

2. В случае неравномерного облучения выживание возможно при гораздо более высоких дозах и в значительной степени зависит от степени поражения красного костного мозга и последующего лечения.

3. При общем облучении людей дозами менее 3 Гр основными эффектами излучения, которые могут стать причиной преждевременной смерти облученных, являются стохастические эффекты излучения, которые формируются в течение многих лет после облучения и клинические неотличимы от раковых заболеваний, присущих человеку:

- чтобы достоверно выявить возникновение раковых заболеваний (стохастических эффектов), вызванных дозой 1 Гр, необходимо провести сравнение между результатами многолетнего наблюдения за двумя однородными группами населения численностью примерно по 1 000 человек;
- чтобы выявить эффекты, вызванные дозой 0,1 Гр, необходимо располагать результатами длительного наблюдения за двумя группами в 100 000 человек каждая, одна из которых была бы однородно облучена указанной дозой;
- чтобы статистически подтвердить существование стохастических эффектов, вызванных дозой 0,01 Гр, необходимо располагать двумя эквивалентными группами численностью по 10 000 000 человек каждая, проживающими в одинаковых условиях, одна из которых была бы облучена указанной дозой, что в действительности не осуществимо.

Глава 2

КОНТРОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Радиационная защита человека (обеспечение его безопасности) при использовании источников излучения всегда рассматривалась как научная и техническая проблема, для решения которой необходимо объединение усилий международного научного сообщества.

Уже более ста лет научная база радиационной безопасности находится в постоянном развитии. Начиная со второй половины прошлого века МКРЗ (Международная комиссия по радиологической защите) регулярно, каждые 10-15 лет, пересматривает свои Рекомендации в области радиационной защиты человека. По сути Рекомендации МКРЗ являются систематическим изложением основных итогов развития радиационной безопасности как научной дисциплины. В них формулируются содержание целей, критерии и методы обеспечения радиационной безопасности человека при использовании источников ионизирующего излучения. На рис. 3 представлена эволюция критериев обеспечения радиационной безопасности.