

УЧЕБНОЕ
ПОСОБИЕ

В.И. Архангельский, И.П. Коренков

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

РУКОВОДСТВО К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

2-е издание,
исправленное и дополненное

Министерство науки и высшего образования РФ

Рекомендовано Координационным советом по области образования «Здравоохранение и медицинские науки» в качестве учебного пособия для использования в образовательных учреждениях, реализующих основные профессиональные образовательные программы высшего уровня специалитета, содержащие учебную дисциплину «Радиационная гигиена»

Регистрационный номер рецензии 800 от 20 июня 2019 года



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| Предисловие | 4 |
| Глава 1. Теоретические и прикладные основы радиационной гигиены | 10 |
| 1.1. Основные термины. Радиоактивный распад. Виды ядерных превращений, единицы измерения | 10 |
| 1.2. Виды взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Дозы излучений. Биологические проявления действия ионизирующих излучений | 32 |
| 1.3. Гигиеническая регламентация облучения человека | 57 |
| Глава 2. Методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений | 79 |
| Глава 3. Радиометрические методы исследований | 100 |
| 3.1. Методы гигиенической оценки радиоактивности пищевых продуктов | 116 |
| 3.2. Методы гигиенической оценки радиоактивности воды | 136 |
| 3.3. Методы гигиенической оценки радиоактивности воздуха | 147 |
| 3.4. Методы гигиенической оценки дезактивации объектов окружающей среды | 180 |
| 3.5. Спектрометрические методы исследований | 209 |
| Глава 4. Дозиметрические методы исследований | 227 |
| 4.1. Групповой дозиметрический контроль | 234 |
| 4.2. Индивидуальный дозиметрический контроль | 240 |
| Глава 5. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор в области радиационной гигиены | 279 |
| 5.1. Содержание государственного санитарно-эпидемиологического надзора по разделу радиационной гигиены | 279 |
| 5.2. Радиационно-гигиеническая экспертиза радиационных объектов (радиологических отделений) | 297 |
| 5.3. Радиационно-гигиеническое обследование учреждений, использующих источники ионизирующих излучений | 325 |
| Глава 6. Радиационная экология. Приемлемый уровень риска для категорий облучаемых лиц | 341 |
| Список литературы | 361 |

- нейтроны энергий менее 10 кэВ, нейтроны более 20 МэВ, протоны, кроме протонов отдачи, энергии более 2 МэВ — 5;
- нейтроны энергий от 10 до 100 кэВ и от 2 до 20 МэВ — 10;
- нейтроны энергий от 100 кэВ до 2 МэВ, альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра — 20.

Эквивалентная доза может быть использована при кратковременном воздействии в дозах до 0,5 Зв. Допускается суммирование эквивалентных доз в данном органе или ткани для оценки общего уровня хронического воздействия облучения за длительный промежуток времени при условии, что кратковременное облучение в каждом случае не превышает 0,5 Зв. При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза в органе определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

Эффективная доза. В практике использования источников ионизирующих излучений в ряде случаев облучению подвергается не все тело, а один или несколько органов. Такая ситуация типична при внутреннем облучении, т.е. при поступлении радионуклидов в организм с вдыхаемым воздухом или пищей, и их накоплении в одном или нескольких органах в зависимости от свойств данного химического элемента. Поскольку органы и ткани человека обладают различной чувствительностью к радиационному воздействию, то для оценки эффекта облучения всего организма или отдельных его органов введено понятие эффективной дозы. Как и величина эквивалентной дозы, оно применимо при хроническом облучении в относительно малых дозах и является мерой оценки выхода отдаленных последствий облучения.

Доза эффективная (E) — представляет собой меру биологического действия на данного конкретного человека, т.е. является индивидуальным критерием опасности, обусловленной ионизирующим излучением. Определяется как сумма произведений эквивалентной дозы в органе H_T на соответствующий коэффициент для данного органа или ткани:

$$E = \sum H_T \cdot W_T,$$

где H_T — эквивалентная доза в ткани T, за время t; W_T — взвешивающий коэффициент для ткани T.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (НРБ-99/2009)

| | | | |
|--|------|-----------------------------------|------|
| Гонады..... | 0,20 | Грудная железа..... | 0,05 |
| Костный мозг (красный) | 0,12 | Печень | 0,05 |
| Толстый кишечник (прямая, сигмовидная, нисходящая часть ободочной кишки) | 0,12 | Пищевод | 0,05 |
| Легкие | 0,12 | Щитовидная железа | 0,05 |
| Желудок..... | 0,12 | Кожа | 0,01 |
| Мочевой пузырь..... | 0,05 | Клетки костных поверхностей | 0,01 |
| | | Остальное | 0,05 |

В Рекомендациях МКРЗ № 103 даны следующие коэффициенты для расчета эффективной дозы.

Взвешивающие коэффициенты (W_T) для тканей и органов при расчете эффективной дозы (Рекомендации МКРЗ № 103/2009)

| Ткани и органы | W_T | ΣW_T |
|--|-------|--------------|
| Костный мозг, молочная железа, кишечник, легкие, желудок, остальные* | 0,12 | 0,72 |
| Гонады | 0,08 | 0,08 |
| Мочевой пузырь, пищевод, печень, щитовидная железа | 0,04 | 0,16 |
| Поверхность кости, мозг, слюнные железы, кожа | 0,01 | 0,04 |

* Надпочечники, желчный пузырь, сердце, почки, лимфатические узлы, мышцы, поджелудочная железа, простата и др.

Из вышеприведенного следует, что при облучении, например, только легких ($W_T = 0,12$) эффект по отдаленным последствиям будет составлять всего 12% того эффекта, который может быть реализован при облучении всего тела в той же дозе.

Пример. Представим случай локального облучения легких за счет вдыхания воздуха с повышенным содержанием радона и продуктами его распада. Допустим, что эквивалентная доза, создаваемая в легких, равна 0,5 Зв.

Решение. При указанной дозе ожидаемый ущерб отдаленных последствий будет соответствовать облучению всего тела в эффективной дозе $(0,5 \cdot 0,12) = 0,06$ Зв.

Коллективная доза. При широкомасштабном использовании ядерных технологий значительные контингенты людей могут подвер-

гаться воздействию радиации. Прежде всего это персонал, непосредственно обслуживающий атомные установки, а также отдельные группы населения в зоне потенциального влияния радиоактивных выбросов и сбросов предприятия. В этих условиях важно оценить уровень риска, обусловленного всеми радиационными источниками, и вклад каждого из них, провести расчет возможного возникновения стохастических эффектов радиационного воздействия — злокачественных новообразований и генетических дефектов. Для такой оценки принята коллективная эффективная доза, представляющая собой сумму индивидуальных эффективных доз у данного контингента за данный промежуток времени.

Эффективная коллективная доза (S):

$$S = \sum N_i \cdot N_i,$$

где N_i — средняя эффективная доза на i -подгруппу людей; N_i — число людей в группе.

Единицей измерения коллективной эффективной дозы в СИ является чел.-Зв.

Оценки радиационного риска с использованием коллективной дозы, в частности, дают возможность выбора наиболее оптимального решения при размещении объектов атомной промышленности. Кроме этого, анализ изменения коллективной дозы на конкретном производстве при проведении регламентных или ремонтных работ в радиационно-опасных условиях, а также при внедрении новой технологии позволяет найти оптимальное решение с точки зрения радиационной безопасности. Очевидно, что наиболее предпочтительным будет решение, при котором оценка ожидаемой коллективной дозы окажется минимальной. Для контингентов с оцененным уровнем коллективной дозы тенденции в изменении средней дозы позволяют сделать выводы о состоянии радиационной безопасности не только на конкретном производстве, но и в отрасли атомной промышленности.

Мощность дозы — отношение приращения дозы (поглощенной, эквивалентной, эффективной) dD , dH , dE за интервал времени dt к этому интервалу времени:

$$D = \frac{dD}{dt} (\text{Гр} \cdot \text{с}^{-1}); \quad H = \frac{dH}{dt} (\text{Зв} \cdot \text{с}^{-1}); \quad E = \frac{dE}{dt} (\text{Зв} \cdot \text{с}^{-1}).$$

На практике за единицу времени принимают секунду, минуту, час, сутки, год.

Операционные эквидозиметрические величины. В 2016 г. вышли методические указания МУ 2.6.5.028-2016 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования».

В настоящих указаниях дано определение AMBIENTНОГО эквивалента дозы (амбиентной дозы) — эквивалент дозы $H^*(d)$, который был бы создан в шаровом фантоме Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ). Данный фантом представляет собой шар диаметром 30 см из тканеэквивалентного вещества стандартного состава. AMBIENTный эквивалент дозы используется для характеристики поля излучения в точке, совпадающей с центром шарового фантома.

Следует подчеркнуть принципиальную разницу между двумя величинами — эквивалентной дозой и эквивалентом дозы. *Первая* является мерой воздействия излучения на определенный орган человека. *Вторая* — характеризует воздействие излучения в определенной точке мягкой ткани человека либо фантома, находящегося в поле излучения.

В тех же методических указаниях введена новая эквидозиметрическая величина — индивидуальный эквивалент дозы, $H_p(d)$, также рекомендованная МКРЕ. Эквивалент дозы определяется на глубине d (мм) под рассматриваемой точкой на теле (рис. 1.3).

В отличие от *амбиентного* эквивалента дозы, в определении *индивидуального* входит не параллельное мононаправленное излучение, а реальное, и вместо шарового фантома используется плоский.

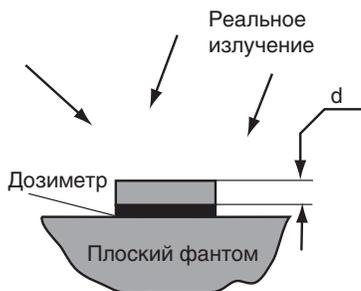


Рис. 1.3. Схема определения индивидуального эквивалента дозы

Единицей *амбиентного* эквивалента дозы и *индивидуального* эквивалента дозы является зиверт (Зв), а также дробные производные единицы — мЗв и мкЗв. Предпочтительной единицей мощности вышеуказанных дозиметрических величин является мкЗв/ч.

Радиометрические и дозиметрические величины и единицы их измерений, принятые для оценки воздействия на человека радиационных факторов, приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Радиометрические и дозиметрические величины и единицы их измерений

| СИ | Внесистемные единицы | Соотношения между единицами |
|---|---|---|
| Радиометрические единицы | | |
| Беккерель (Бк) — 1 распад в секунду | Кюри (Ки) $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду | $1 \text{ Бк} \approx 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ |
| Удельная и объемная радиоактивность | | |
| Беккерель на килограмм (Бк/кг) | Кюри на килограмм (Ки/кг) | $1 \text{ Бк} \approx 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки/кг}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/кг}$ |
| Беккерель на кубический метр (Бк/м ³) | Кюри на литр (Ки/л) | $1 \text{ Бк/м}^3 = 2,7 \cdot 10^{-14} \text{ Ки/л}$ $1 \text{ Ки/л} = 3,7 \cdot 10^{13} \text{ Бк/м}^3$ |
| Дозиметрические единицы | | |
| Поглощенная доза | | |
| Грей (Гр) | рад | $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ |
| Мощность поглощенной дозы | | |
| Грей в секунду (Гр/с) | рад в секунду (рад/с) | $1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад/с}$ $1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$ |
| Эквивалентная, эффективная доза | | |
| Зиверт (Зв) | бэр | $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$ |
| Мощность эквивалентной, эффективной дозы | | |
| Зиверт в секунду (Зв/с) | бэр в секунду (бэр/с) | $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бэр/с}$ $1 \text{ бэр/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$ |
| Экспозиционная доза | | |
| Кулон на килограмм (Кл/кг) | Рентген (Р) | $1 \text{ Кл/кг} \approx 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р}$ $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ |
| Мощность экспозиционной дозы | | |
| Ампер на килограмм (А/кг) | Рентген в секунду (Р/с) | $1 \text{ А/кг} \approx 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р/с}$ $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$ |

Биологические проявления действия ионизирующих излучений. В простых веществах альфа-, бета-, гамма-излучения не вызывают необратимых изменений. Нейтроны, напротив, с заметной вероятностью вызывают ядерные реакции и превращение одних элементов в другие. В сложных веществах в результате ионизации и возбуждения появляются ионы и радикалы, которые в результате рекомбинации образуют новые молекулы, поэтому в человеческом организме под воздействием любого вида ионизирующего излучения всегда происходят химические превращения, которые могут приводить к целому комплексу биохимических и биологических изменений в организме. Различают два механизма воздействия ИИ на живую ткань: прямое и косвенное.

При прямом взаимодействии излучения со сложными молекулами энергия возбуждения может сконцентрироваться на одной из химических связей, что приводит к отрыву какого-либо фрагмента или к полной дезинтеграции молекулы.

Существенная роль в формировании радиационно-индуцированных эффектов принадлежит механизму косвенного воздействия ИИ, проявляющегося в виде радиационно-химических изменений, обусловленных продуктами радиолитического распада воды. В результате ионизации молекулы воды образуются свободные радикалы H^\bullet и OH^\bullet . При наличии в тканях растворенного кислорода образуется также радикал гидроперекиси (HO_2^\bullet) и перекись водорода (H_2O_2), являющиеся сильными окислителями. Возникшие в процессе радиолитического распада воды свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, приводят к образованию новых веществ, а также могут быть катализаторами или ингибиторами некоторых биохимических процессов. Применительно к биологической ткани, в которой 60–70% по массе составляет вода, свободные радикалы окисляют или восстанавливают активные группы молекул, входящих в состав белков, нуклеопротеидов, ферментов, ДНК. В результате могут быть нарушены обменные процессы и подавлена активность ферментных систем. Возможно замедление или прекращение роста тканей, а также возникновение новых, не свойственных организму химических соединений — токсинов.

Индукцированные свободными радикалами химические реакции имеют большой выход и вовлекают в процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением. В этом состоит специфика воздействия ИИ на сложные органические соединения, в том числе и белковые молекулы, поскольку результирующий эффект зависит не столько от количества поглощенной энергии в облучаемом объ-

екте, сколько от формы и трансформации, в которой эта энергия передается. Никакой другой вид энергии (тепловая, электрическая и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ИИ.

Смертельная доза ИИ, которая для человека равна 6,0 Гр, соответствует поглощенной энергии излучения 6,0 Дж/кг. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы тело едва ли на 0,001 °С. Это тепловая энергия, заключенная в стакане горячего чая! Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул обуславливают специфику действия ИИ.

В табл. 1.4 приведены данные гибели различных клеток млекопитающих и человека в зависимости от дозы излучения. Видно, что различия в дозах, вызывающих равный эффект (гибель), составляют 1000 раз — от 0,1 Гр (эмбриональные клетки) до 100,0 Гр (гепатоциты и зрелые нейроны головного и спинного мозга).

Таблица 1.4. Интерфазная гибель клеток (К.П. Хансон, В.Е. Комар)

| Тип гибели | Доза, Гр | Вид клеток | Характеристика клеток |
|---|------------|--|--|
| Гибель покоящихся, слабо делящихся и некоторых неделящихся клеток | 0,1–4,0 | Лимфоциты, тимоциты, клетки лимфомы, энтероциты, сперматогонии, ооциты, эритробласты, лимфобласты, миелобласты, клетки ростковой зоны хрусталика глаза и головного мозга, нейробласты спинного мозга, эмбриональные клетки | Терминально дифференцирующиеся клетки на разных стадиях развития |
| Гибель делящихся клеток в культуре | 5,0–20,0 | Делящиеся клетки в культуре | Активно пролиферирующие клетки |
| Гибель дифференцированных клеток взрослого организма | 10,0–100,0 | Гепатоциты, миоциты, кардиоциты, зрелые нейроны головного и спинного мозга | Необратимо и обратимо постмитотические клетки |

В зависимости от структурного уровня рассмотрения процессы воздействия излучения на биологические объекты можно подразделить на физико-химические и биологические, проходящие на различных этапах и уровнях.

I. *Начальный* этап развивается на атомарном уровне — это ионизация и возбуждение атомов. Время протекания этого процесса составляет 10^{-16} – 10^{-14} с. В дальнейшем в результате прямого или косвенного действия наблюдаются изменения в *молекулярной* структуре облучаемого биологического объекта. Длительность этого процесса составляет 10^{-10} – 10^{-6} с. На этом заканчивается *физико-химический* этап радиационного воздействия на живой организм и начинается *биологический*.

II. Диссоциация молекул, образование новых соединений под воздействием радикалов ведет к нарушениям в клеточной структуре биологической ткани. Это может вызвать нарушение кинетики клеточного деления, взаимодействие клеток, изменение их генетического аппарата или гибель. Если в генетическом аппарате половых клеток



Схема 1.1. Первичные физико-химические процессы, приводящие к биологическому эффекту

происходят стойкие изменения, то в результате могут возникнуть генетические изменения (мутации) у потомства облученной особи.

Накопленные изменения клеточных структур ведут к нарушению обменных процессов в организме, функций тканей и органов, иными словами, к ранним патофизиологическим эффектам.

Первичные физико-химические процессы, приводящие в финале к конечному биологическому эффекту, представлены на схеме 1.1.

Некоторые изменения вследствие *облучения* в высоких дозах могут проявиться в виде клинически наблюдаемых симптомов через относительно короткие промежутки времени (часы, дни). Кроме этого, реакция организма на облучение в виде так называемых отдаленных последствий может проявиться и через длительное время (годы, десятилетия). Поэтому при оценке потенциальной опасности облучения для индивидуумов, отдельных групп и популяции в целом радиационные эффекты принято подразделять на соматические, соматикостохастические и генетические.

К настоящему времени получены фундаментальные сведения об эффектах воздействия радиации на различных уровнях биологической организации — от молекулярного до организма в целом. Вместе с тем решение некоторых вопросов как теоретического, так и практического характера до сих пор затруднено неполными сведениями о конкретных закономерностях формирования радиационных эффектов. В настоящее время все биологические эффекты и последствия действия ИИ на человека принято разделять на два принципиально различных класса:

- детерминированные эффекты — вызваны облучением и характеризуются пороговым значением радиационного воздействия, ниже которого они не наблюдаются;
- *стохастические* (или вероятностные) *эффекты* — имеют длительный латентный период и проявляются спустя годы после облучения или в последующих поколениях. Существенно, что стохастические эффекты носят неспецифический характер, т.е. практически неотличимы от аналогичных эффектов, инициированных факторами нерадиационной природы.

Детерминированные эффекты облучения характеризуются наличием зависимости между уровнем облучения и реакцией организма. Они имеют пороговый характер, т.е. проявляются после превышения некоторой вполне определенной дозы облучения. Данные эффекты возникают в виде явной патологии (острая и хроническая лучевая болезнь, лучевые ожоги, катаракты хрусталиков глаз, клинически регистрируемые нарушения гемопоэза, временная или постоян-

ная стерильность и т.п.). В подавляющем большинстве случаев эти эффекты возникают при кратковременном действии больших доз и мощностей доз ИИИ.

Важно отметить, что пороги доз облучения для острого, кратковременного радиационного воздействия и протяженного (продолжительного) во времени облучения существенно различаются. Облучение (в аналогичных суммарных дозах), растянутое по времени, повышает уровень порога.

Согласно имеющимся радиобиологическим данным и клиническим наблюдениям, детерминированная реакция организма на облучение может проявиться и в отдаленные сроки (через 5–20 лет) в виде катаракт, бесплодия, изменений кожи, которые имеют выраженный пороговый характер. Вероятность выхода этих эффектов резко возрастает при превышении некоторого значения дозы и практически отсутствует при меньших значениях. Например, катаракта возникает только в случае, когда эквивалентная доза, накопленная в хрусталике глаза, при хроническом облучении превысит 15,0 Зв (для γ -излучения) или 5,0 Зв (при облучении нейтронами); бесплодие, обусловленное воздействием ИИ, проявляется только при превышении суммарной дозы на яичники, равной 3,0 Зв.

Стохастические (вероятностные, случайные) эффекты. В отличие от детерминированных эффектов, для которых доказан и существует дозовый порог проявления для стохастических последствий, по современным представлениям не существует дозового порога. Научный комитет по действию атомной радиации ООН и Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) пришли к выводу: доказано только два основных вида стохастических эффектов облучения. Первый вид возникает в соматических клетках и может быть причиной развития злокачественного новообразования у облученного индивидуума.

Второй вид, появляющийся в зародышевой ткани половых желез, может привести к наследуемым нарушениям у потомства облученных людей.

ИИ способно инициировать разрушение в клетках ДНК, проявляющееся в хромосомных абберациях, за которыми обычно следуют соединения нарушенных хромосом в новых сочетаниях. Результатом является образование дочерних клеток, не идентичных исходным, что приводит в конечном счете к появлению у облученных особей потомства с другими признаками.

Важно подчеркнуть, что если возможность индукции злокачественных опухолей у облученных людей является фактом, доказанным

мировой наукой, то до настоящего времени прямых научных подтверждений генетически обусловленных эффектов облучения человека не получено. Тем не менее, располагая прямыми данными о наличии таких эффектов на других биологических объектах (растениях, клеточных культурах, микроорганизмах, мелких лабораторных животных), МКРЗ в целях исключения возможной недооценки их значимости признала необходимым включить наследственные эффекты в перечень стохастических последствий облучения человека.

Беспороговая гипотеза действия ионизирующих излучений. Вопрос о биологических эффектах действия малых доз излучения, особенно проблема их количественной оценки (как, впрочем, и любых иных антропогенных факторов малой интенсивности), продолжает оставаться предметом многочисленных дискуссий и полярных мнений по поводу их опасности для человека и среды его обитания.

Вместе с тем совершенно очевидно, что регламентация облучения человека невозможна без приемлемого обоснования принципов, на базе которых строятся научные подходы к установлению подобного рода регламентов.

Существующие принципиальные затруднения при выявлении радиационно-индуцированных опухолей и врожденных пороков у потомства в области малых доз приводят к необходимости определенных экстраполяций при выборе критериев оценки отдаленных последствий облучения. В настоящее время международным радиобиологическим сообществом принята рабочая гипотеза отсутствия порога индицирования таких отдаленных последствий, как канцерогенез и генетические эффекты. Из беспороговой гипотезы следует, что теоретически имеется вероятность возможного появления злокачественных новообразований и генетических нарушений при любом радиационном воздействии. С увеличением дозы облучения соответствующая вероятность возрастает линейно с дозой. Это означает, что экспериментальные значения выхода отдаленных последствий в области сравнительно больших доз уменьшаются настолько, насколько уменьшается уровень воздействия.

Исходя из этой гипотезы, даже при облучении на уровне естественного радиационного фона следует ожидать выхода отдаленных последствий. Средний уровень радиационного фона на нашей планете равен 2,4 мЗв/год. Иными словами, он может быть сопоставлен менее чем с 2,5% спонтанных фатальных раков, обусловленных природными факторами среды обитания, воздействующими на человека, и эндогенными причинами.

Принятая гипотеза беспороговой линейной зависимости между дозой и вероятностью возникновения стохастических эффектов (с учетом ее консервативного характера) дает возможность количественно оценивать неблагоприятные последствия для здоровья при использовании ядерных технологий. Данная концепция позволяет оценивать факторы риска индуцированного ионизирующими излучениями канцерогенеза, сравнивать ущербы, обусловленные производственной деятельностью в атомной промышленности с аналогичными факторами в других отраслях, и на этой основе осуществлять оптимизацию средств и методов обеспечения радиационной безопасности.

Контрольные вопросы и задания

1. Каким образом происходит взаимодействие ионизирующих излучений со средой?
2. Что обозначает линейная передача энергии? Какие виды ионизирующих излучений относятся к редко- и плотноионизирующим?
3. Дайте характеристику взаимодействия альфа-частиц с веществом.
4. Дайте характеристику взаимодействия бета-частиц с веществом.
5. Дайте характеристику взаимодействия рентгеновского и гамма-излучений с веществом.
6. Дайте характеристику взаимодействия нейтронов с веществом.
7. Назовите и дайте характеристику основным дозиметрическим величинам. Единицы измерения.
8. Назовите и дайте характеристику эквдозиметрическим величинам.
9. Какие принципиальные различия находят между эквивалентной и эффективной дозами?
10. Какие механизмы воздействия ионизирующих излучений на живую ткань вы знаете?
11. Какие процессы воздействия ионизирующих излучений на биологические объекты в зависимости от структурного уровня рассмотрения вам известны?
12. На какие классы делятся биологические эффекты и последствия действия ионизирующих излучений на человека?
13. Дайте характеристику детерминированным биологическим эффектам при облучении организма источниками ионизирующих излучений.
14. Дайте характеристику стохастическим биологическим эффектам при облучении организма источниками ионизирующих излучений.
15. Дайте характеристику беспороговой гипотезе действия ионизирующих излучений.

1.3. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Цель занятия: изучить и оценить критерии радиационной безопасности лиц при выборе допустимых уровней облучения различных групп населения.

Задание для аудиторной работы

1. Прочитайте учебный материал к теме занятия.
2. Дайте письменные ответы на контрольные вопросы по теме занятия.

Законодательная и нормативная база в области радиационной безопасности (РБ). Формирование атомного законодательства базируется на «Концепции правового обеспечения использования атомной энергии». На основе анализа основных областей использования атомной энергии с точки зрения их целесообразности и перспективности, а также для оценки возможных негативных последствий для общества, отдельного индивидуума и окружающей природной среды были сформулированы основные принципы атомного законодательства. В Концепции изложены основные проблемы правового регулирования деятельности по использованию атомной энергии в современных условиях Российской Федерации. Сформулированы задачи атомного законодательства в области политики, экономики, обороны, социальной области и обеспечения безопасности. Определены субъекты атомного законодательства, его основные принципы и структура.

В России обеспечение радиационной и ядерной безопасности основывается на федеральных законах (ФЗ) *первого* уровня.

- «*Об использовании атомной энергии*». Этот закон является фундаментом атомного российского права и определяет правовую основу и принципы регулирования отношений, возникающих при использовании атомной энергии. Направлен на защиту здоровья и жизни людей, охрану окружающей среды, защиту собственности.
- «*О радиационной безопасности (РБ) населения*». Закон определяет правовые основы обеспечения РБ населения в целях охраны его здоровья. В Законе сформулированы принципы обеспечения РБ, определены полномочия РФ и субъектов РФ, права и обязанности граждан и общественных объединений, определена ответственность за невыполнение требований к обеспечению РБ. Во исполнение этого закона выпущены постановления

Правительства РФ и приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ, предусматривающие создание в РФ единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения населения.

- «Об административной ответственности организаций за нарушение законодательства в области использования атомной энергии». Закон устанавливает административную ответственность организаций за нарушение законодательства в области использования атомной энергии, он призван способствовать повышению эффективности государственного регулирования безопасности. Направлен на усиление защиты здоровья и жизни людей, охраны окружающей среды.
- «О создании, эксплуатации, ликвидации и обеспечении безопасности ядерного оружия».

Кроме этих законов, напрямую определяющих права, обязанности и ответственность в области использования ядерной энергии и обеспечения радиационной безопасности, существует ряд Федеральных законов (ФЗ), направленных на защиту окружающей среды, охрану здоровья и обеспечение безопасности граждан, которые учитывают и радиационный фактор.

- «Об охране окружающей природной среды».
- «Об экологической экспертизе».
- «Об охране атмосферного воздуха».
- «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
- «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- «О промышленной безопасности производственных объектов».
- «О лицензировании отдельных видов деятельности».
- «О гражданской обороне».

С целью конкретизации отдельных положений закона РФ «О радиационной безопасности населения» в настоящее время введены в действие два основополагающих нормативных документа федерального уровня: «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)». Они относятся к категории нормативных документов *второго* иерархического уровня и имеют общегосударственное значение.

Нормативные документы второго уровня регистрируются в Министерстве юстиции России и утверждаются главным государственным санитарным врачом Российской Федерации.

Эти нормативные правовые документы устанавливают санитарно-эпидемиологические требования, в том числе критерии безо-

пасности и безвредности факторов среды обитания для человека, и гигиенические нормативы. Их соблюдение является обязательным для граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц. За нарушение санитарного законодательства устанавливается дисциплинарная, административная и уголовная ответственности.

Любые федеральные, региональные или ведомственные нормативные документы в области РБ более низкого иерархического уровня не должны противоречить закону РФ «О радиационной безопасности населения», НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

Санитарные правила или требования федерального или отраслевого значения, регулирующие обеспечение радиационной безопасности персонала и населения применительно к конкретной сфере использования атомной энергии, относятся к документам *третьего* иерархического уровня: санитарные правила обеспечения радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций, гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов и аппаратов в лечебно-профилактических учреждениях, правила транспортирования ядерных материалов и радиоактивных веществ и т.д.

Документы второго и третьего уровней классифицируются как СП (санитарные правила), ГН (гигиенические нормативы), а методические указания по методам контроля — как МУК. Их номер в реестре начинается с цифр 2.6.1, что означает документы относятся к разделу: «Ионизирующие излучения. Радиационная безопасность».

Документы *четвертого* иерархического уровня — требования или инструкции по обеспечению радиационной безопасности, относящиеся к отдельному объекту, а иногда и к техническому процессу.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) — применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия ионизирующего излучения (ИИ) искусственного или природного происхождения.

НРБ-99/2009 распространяются на следующие виды воздействия ИИ на человека:

- техногенные источники за счет нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- техногенные источники в результате радиационной аварии;
- природные источники;
- медицинские источники.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;

- коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв, либо когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике глаза не более 15 мЗв.

Требования Норм не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

Система радиационной безопасности в НРБ-99/2009 базируется на трех главных принципах:

- **принцип нормирования** — непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения;
- **принцип обоснования** — запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением;
- **принцип оптимизации** — поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения.

Принцип нормирования, требующий непревышения установленных НРБ-99/2009 пределов доз и других нормативов радиационной безопасности, должен соблюдаться всеми организациями и лицами, от которых зависит уровень облучения людей. Данный принцип реализуется путем осуществления комплекса технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, предотвращающих облучение населения в дозах, превышающих нормируемые величины, и созданием действенной системы учета и контроля индивидуальных доз облучения людей.

Принцип обоснования должен применяться на стадии принятия решения уполномоченными органами при проектировании новых радиационных объектов. При этом вводится система обязательного лицензирования любой деятельности, связанной с возможным радиационным воздействием на людей. Основанием для выдачи лицензии является заключение государственной экологической экспертизы, устанавливающей допустимость практической реализации того или иного аспекта использования источника ионизирующего излучения, исходя