

Тема № 6 "Основы радиационной безопасности живых организмов"

Авторы:

Кабашникова Л.Ф., профессор кафедры тактико-специальной подготовки факультета милиции, доктор биологических наук, доцент

Ермолович Д.В., начальник кафедры тактико-специальной подготовки факультета милиции, кандидат юридических наук, доцент

Рецензент:

Костюкович Э.П., доцент кафедры тактико-специальной подготовки факультета милиции, кандидат юридических наук, доцент

Введение

Радиационная безопасность - это комплекс научно обоснованных мероприятий по обеспечению защиты человека, популяции в целом и объектов окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений, который изначально определяется физической природой ионизирующих излучений. Эти мероприятия направлены на создание безопасных условий применения атомной энергии и источников ионизирующих излучений в различных сферах человеческой деятельности.

Ионизирующие излучения - потоки фотонов, а также заряженных или нейтральных частиц, взаимодействие которых с веществом среды приводит к его ионизации. Ионизация играет важную роль в развитии радиационно-индуцированных эффектов, особенно в живой ткани. Средний расход энергии на образование одной пары ионов сравнительно мало зависит от вида ионизирующего излучения, что позволяет судить по степени ионизации вещества о переданной ему энергии ионизирующего излучения. Для регистрации и анализа ионизирующего излучения инструментальными методами также используют ионизацию.

Важной задачей радиационной безопасности является разработка критериев оценки опасности различных видов ионизирующих излучений. Она решается путем анализа результатов радиобиологических экспериментов, цель которых - изучение влияния различного вида ионизирующих излучений на живой организм и отдельные системы, а также получение данных о состоянии здоровья людей, работающих в условиях воздействия ионизирующих излучений или подвергшихся непредвиденному облучению при радиационной аварии. Наиболее существенным в этом вопросе является установление количественной связи между уровнем облучения и эффектом, обусловленным ионизирующим излучением. Для этого разработана система оценки уровня облучения и методов его измерения при различных путях радиационного воздействия.

Дозиметрия ионизирующих излучений - раздел прикладной ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения и взаимодействие излучения с веществом (дозиметрические величины). В более узком смысле

слова дозиметрия ионизирующих излучений - совокупность методов измерения этих величин. Важнейший признак дозиметрических величин - их связь с радиационно-индуцированными эффектами, возникающими при облучении объектов живой и неживой природы. Под радиационно-индуцированными эффектами в общем смысле понимают любые изменения в облучаемом объекте, вызванные воздействием ионизирующих излучений. Задача дозиметрии ионизирующих излучений - описание дозного поля, сформированного в живом организме в реальных условиях облучения.

На основе принятых критериев опасности разработана система допустимых пределов воздействия ионизирующих излучений, оформляемая в виде соответствующих нормативных правовых актов, среди которых нормы радиационной безопасности.

Другой не менее важной задачей радиационной безопасности является разработка методов оценки и прогнозирования радиационной обстановки с целью обеспечения нормальных условий труда и жизни населения, а также защиты объектов окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений. Сюда входят: характеристика источников излучения, которые могут воздействовать на персонал и население при различных аспектах использования атомной энергии и на разных этапах технологического процесса; исследование изменений уровней ионизирующих излучений в зависимости от условий их использования и режимов работы; изучение закономерности распространения радиоактивных веществ, характера и масштабов их воздействия на персонал, население и объекты окружающей среды при нормальных условиях работы и возникновении аварийных ситуаций. Все это необходимо для обоснованного выбора средств и методов индивидуальной и коллективной защиты, оптимальных режимов труда, санитарно-пропускного режима и других мероприятий по защите от ионизирующих излучений.

Противолучевая защита - комплекс методов и средств, направленных на снижение радиационной нагрузки в условиях воздействия ионизирующего излучения. Для противолучевой защиты используют защитные ограждения, дистанционные приспособления и наиболее рациональные технологии (физическая противолучевая защита) или применяют специальные радиозащитные препараты (фармакологическая противолучевая защита).

Для своевременного принятия решений по защите от воздействия ионизирующих излучений необходимо иметь объективную и исчерпывающую информацию о параметрах радиационной обстановки. Поэтому создание эффективной системы дозиметрического контроля является также одной из существенных задач радиационной безопасности. Он осуществляется дозиметрической службой учреждения или специально выделенным должностным лицом, а также ведомственными службами с применением соответствующих приборов, методик и расчетных методов. Основной задачей дозиметрической службы является контроль за соблюдением норм радиационной безопасности и основных санитарных правил работы с источниками ионизирующих излучений, выбор методов и

точек контроля в пределах производственных помещений и на прилегающей территории, а также установление его периодичности. В частности, при эксплуатации гамма-дефектоскопических или гамма-терапевтических установок, в которых используются закрытые радионуклидные источники, достаточно ограничиться контролем дозы гамма-излучения. На радиохимических производствах, в частности на предприятиях по переработке отработавшего ядерного топлива, наряду с измерением уровня гамма-излучения, большое внимание уделяется контролю радиоактивного загрязнения поверхностей и воздуха рабочих помещений, окружающей территории, а также установлению мест утечки радиоактивных веществ из боксов и коммуникаций. На ядерных реакторах в условиях нормальной эксплуатации ведущими радиационными факторами, воздействующими на персонал, являются внешнее гамма-излучение и нейтроны. В целях своевременного обнаружения утечки радиоактивных веществ из контуров реактора следует контролировать радиоактивность воздуха в рабочих помещениях и окружающей среде. Частота контроля того или иного параметра радиационной обстановки зависит от режима работы предприятия.

Функциональными задачами системы радиационной безопасности являются: 1) снижение уровня облучения персонала и населения до регламентируемых пределов на основе комплекса проектных, технических, медико-санитарных и организационных мероприятий; 2) создание эффективной системы радиационного контроля, позволяющей оперативно регистрировать повышение уровня облучения персонала и загрязнения объектов окружающей среды, принимать меры по нормализации радиационной обстановки. К техническим мероприятиям относятся: создание передвижных или стационарных защитных ограждений, автоматизация и механизация технологических процессов, очистка воздуха от радиоактивных веществ на выбросе и т.д. Медико-санитарные мероприятия включают установление санитарно-защитных зон, организацию принудительного санитарно-пропускного режима, установление перечня средств индивидуальной и групповой защиты, осуществление контроля за состоянием здоровья персонала с учетом характера радиационного воздействия. К организационным мероприятиям относится, в первую очередь, обеспечение при работе в условиях повышенного уровня ионизирующих излучений режима труда, исключающего облучение персонала выше допустимых пределов.

Комплекс мероприятий, направленных на снижение уровня облучения, зависит от типа и назначения радиационной или атомно-энергетической установки, характера технологического процесса по переработке или получению радиоактивных веществ. При работе с закрытыми радиоактивными источниками достаточно ограничиться созданием защиты только от внешних потоков излучения. В других случаях, например на радиохимических производствах, при переработке радиоактивных отходов необходимо предусмотреть меры по исключению распространения радиоактивных веществ в окружающую среду и попадания их в организм

работающих. Весьма существенна оптимизация комплекса средств, направленных на решение обеих функциональных задач, поскольку при их недостаточности может быть нанесен ущерб здоровью персонала и населения, а их избыток приведет к нерациональным финансовым затратам.

Существует эффективная система радиационной безопасности для различных форм применения атомной энергии; она базируется на гипотезе, постулирующей отсутствие порога для так называемых стохастических эффектов, к которым относятся генетические последствия и возникновение рака. Согласно этой гипотезе вероятность стохастических последствий облучения в пределах малых доз линейно зависит от уровня воздействия, т.е. любое превышение дозы над фоном теоретически повышает вероятность возникновения отдаленных последствий. Международная комиссия по радиационной защите рекомендует руководствоваться этой концепцией, хотя в настоящее время отсутствуют доказательства увеличения числа отдаленных стохастических последствий при воздействии на организм человека ионизирующих излучений в дозах меньше 5 Эв. Такая линейная беспороговая концепция заведомо исходит из переоценки последствий воздействия ионизирующего излучения и представляется наиболее гуманной, т.к. учитывает недостаточность наших знаний о механизме действия ионизирующих излучений на живой организм, который является предметом радиобиологии.

Радиобиология - наука, изучающая действие ионизирующих излучений на живые организмы и биосферу в целом. В природе все подвержено радиационному воздействию, и это определяет широкий диапазон объектов (от макромолекул, вирусов, простейших до многоклеточных растительных и животных организмов, человека в целом, популяций, биоценозов), являющихся предметом радиобиологических исследований.

Системы радиационной безопасности для различного типа атомных технологий базирующиеся на концепции, рекомендованной Международной комиссией по радиационной защите, имеют значительную гарантию безопасности. В результате атомная промышленность по вероятности неблагоприятных последствий, обусловленных производственными факторами, а также по воздействию на окружающую среду относится к числу относительно безопасных отраслей промышленности. Разработанные в ядерной энергетике методы и подходы к обоснованию критериев оценки опасности вредных производственных факторов успешно используются в других отраслях промышленности.

1. Биологическое действие ионизирующих излучений

Под биологическим действием ионизирующих излучений понимают многообразные реакции, возникающие в облучаемом биологическом объекте, начиная от первичных процессов размена энергии излучения до эффектов, проявляющихся спустя длительное время после радиационного воздействия, которое называют латентным или скрытым периодом биологического действия. Знание механизмов биологического действия ионизирующих

излучений необходимо для экстренного принятия адекватных мер обеспечения радиационной безопасности персонала и населения при авариях на атомных электростанциях и других предприятиях атомной промышленности.

В основе действия ионизирующего излучения лежит его способность ионизировать атомы вещества. Для ионизации большинства элементов, входящих в состав биологического субстрата, необходимо достаточно большое количество энергии - 10-15 эВ, называемое потенциалом ионизации. Поскольку частицы и фотоны ионизирующих излучений обладают энергией от десятков до миллионов эВ, что намного превышает энергию внутри- и межмолекулярных связей молекул и веществ, составляющих любой биологический субстрат, то поражающему радиационному воздействию подвержено все живое.

При воздействии, -частиц или фотонов -лучей на атомы, находящиеся в стабильном состоянии, их электроны могут выбиваться из своих обычных орбит. Атомы, потерявшие электроны, становятся положительно заряженными ионами. Свободные электроны присоединяются к нейтрально заряженным атомам, и те превращаются в отрицательно заряженные ионы. Ионы, входящие в состав молекул, повышают их химическую активность. Молекулы реагируют между собой, в результате чего появляются новые, чужеродные для организма молекулы.

Если в результате воздействия, -частиц или фотонов -лучей на атомы, находящиеся в стабильном состоянии, им будет сообщена энергия недостаточная для того, чтобы "оторвался" электрон. Произойдет возбуждение атома, то есть электрон перейдет на более высокий энергетический уровень. Молекула в результате этого также становится более реакционноспособной.

Различают прямое и не прямое действие ионизирующего излучения.

Прямое действие - это непосредственное воздействие ионизирующей радиации на молекулы различных биологических структур (в первую очередь, гормонов и ферментов). В зависимости от дозы поглощенных лучей может идти процесс -деполимеризации коллоидных структур или, наоборот, их полимеризации.

Непрямое действие обусловлено вредным влиянием на биологические структуры организма продуктов радиолиза воды: H_2O_2 , O_2^- , OH^- . Пероксидные вещества обладают сильными окислительными и токсическими свойствами. Вступая в соединения с органическими веществами, они вызывают значительные химические изменения в клетках и тканях, денатурации белковых и других органических структур с образованием токсических гистаминоподобных веществ. Радиохимические процессы вызывают деполимеризацию гиалуроновой кислоты, глюко- и липопротеидов, нарушают проницаемость клеточных мембран, вызывают изменения в ДНК и РНК.

Воспроизведем ряд понятий.

Радиомодификация - искусственное ослабление или усиление реакций биологических объектов на действие ионизирующих излучений; способ управления радиочувствительностью с помощью изменения условий, в которых происходит облучение того или иного биологического объекта, или путем применен специальных средств - радиомодифицирующих агентов. Задачи радиомодификации определяются ее конкретными целями. Ослабление радиочувствительностью организма, т.е. повышение его устойчивости к действию ионизирующих излучений (радиорезистентности), наиболее важно при разработке средств противолучевой защиты в чрезвычайных ситуациях, для защиты нормальных тканей при лучевой терапии злокачественных опухолей. Усиление лучевых реакций используют в с.-х. радиобиологии, радиационной селекции и генетике, а в медицине - для увеличения радиочувствительности злокачественных опухолей.

Радиомодифицирующие агенты - факторы, способные изменять (ослаблять или усиливать) радиочувствительность клеток, тканей и организма в целом. В конце 40-х - начале 50-х гг. 20 в., когда возникла реальная угроза возникновения массовых лучевых поражений человека, проблема изыскания радиомодифицирующих агентов начала развиваться наиболее активно. В начале 50-х появились первые сообщения, обоснованные эксперименте на животных, о возможности ослабления летального действия ионизирующих излучений путем введения в организм перед облучением некоторых химических соединений, которые получили название радиопротекторов (противолучевых, или радиозащитных, средств). Сам процесс ослабления лучевого поражения назвали химической, или фармакохимической противолучевой защитой. Не менее активно шел поиск средств, усиливающих лучевое поражение, т.к. радиорезистентность многих форм злокачественных опухолей не позволяла провести облучение в нужной дозе из-за опасно необратимого повреждения окружающих опухоль тканей. Средства, вызывающие снижение радиорезистентности клеток и тканей, получили название радиосенсибилизаторов. В случае усиления лучевого поражения возможны три варианта результатов применения радиомодифицирующих агентов: 1) аддитивность, когда результат совместного действия радиомодифицирующего агента и облучения равен сумме эффектов каждого из них; 2) синергизм, когда результат совместного действия радиомодифицирующего агента и облучения превосходит эффект ожидаемый от аддитивного действия; 3) потенцирование, когда действие облучения, как и при синергизме, усиливается радиомодифицирующим агентом, который сам себе (в отличие от синергизма) наблюдаемого эффекта не вызывает.

Радиочувствительность - чувствительность биологических объектов к повреждающему воздействию ионизирующего излучения. Количественная оценка радиочувствительности производится путем измерения поглощенных доз ионизирующего излучения, вызывающих определенный эффект. Во многих исследованиях она основывается на измерении дозы ионизирующего излучения, вызывающей гибель 50% облученных объектов (так называемая

50% летальная доза, или DL50). Сопоставление радиочувствительности разных объектов производят посредством измерения поглощенных доз излучения, вызывающих у них одинаковый эффект, выявляемый по одному и тому же критерию. Изучение механизмов поврежденного действия ионизирующего излучения и механизмов восстановления организмов от лучевых повреждений имеет большое значение для разработки методов противолучевой защиты и повышения эффективности лучевой терапии опухолей.

Весьма важен правильный выбор адекватных методов и критериев оценки радиочувствительности. Многие реакции на облучение специфичны для определенных тканей и систем. Например, такая универсальная реакция клеток на облучение, как задержка деления, легко выявляется в активно пролиферирующих тканях и не может быть обнаружена в тканях, где клеточное деление выражено слабо или отсутствует. Поэтому для оценки радиочувствительности обычно используют такие четко регистрируемые реакции, как выживаемость (или гибель) клеток либо организмов.

Диапазон видовых различий радиочувствительности организмов весьма широк и измеряется несколькими порядками. Не меньше различий радиочувствительности отмечается у разных клеток и тканей. Наряду с радиочувствительными (система крови, кишечник и половые железы) существуют так называемые радиоустойчивые, или радиорезистентные, системы и ткани (костная, мышечная и нервная).

Радиочувствительность варьирует в пределах одного вида в зависимости от возраста - возрастная радиочувствительность (так, наиболее радиочувствительными являются молодые и старые экспериментальные животные, наиболее радиорезистентными - половозрелые и новорожденные), от пола - половая радиочувствительность (как правило, самцы более радиочувствительны) и индивидуальная радиочувствительность у разных особей одной или той же популяции. Менее изучены сезонные и суточные колебания радиочувствительности.

Чтобы понять механизмы, определяющие естественную радиочувствительность организма (без чего невозможно правильно оценить последствия облучения человека), необходимо последовательно рассмотреть клеточные и тканевые аспекты радиочувствительности, так как клетка - основная биологическая единица, в которой реализуется воздействие поглощенной при облучении энергии, что в последующем приводит к развитию лучевого поражения. Среди многих проявлений жизнедеятельности клетки наиболее чувствительна в отношении ионизирующего излучения ее способность к делению. Под клеточной гибелью (или летальным эффектом) в радиобиологии понимают утрату клеткой способности к пролиферации, а выжившими считают клетки, сохранившие способность к неограниченному размножению. В зависимости от связи летального эффекта с процессом деления различают две основные формы радиационной гибели клеток: интерфазную (до деления клетки или без него) и репродуктивную (после первого или нескольких последующих циклов деления). Для большинства

клеток, в т.ч. и для клеток многих млекопитающих, характерна репродуктивная форма лучевой гибели, основной причиной которой являются структурные повреждения хромосом, возникающие в процессе облучения. Они обнаруживаются с помощью цитогенетических методов исследования на разных стадиях митоза (чаще в анафазе или метафазе) в виде так называемых хромосомных перестроек, или аберраций. Гибель таких аберрантных клеток или их потомков происходит вследствие неравномерного деления или частичной утраты жизненно необходимого генетического материала из-за неправильного соединения разорванных хромосом или отрыва их фрагментов. Определение доли клеток с хромосомными аберрациями часто используют в качестве надежного количественного показателя радиочувствительности, т.к. с одной стороны, число таких поврежденных клеток четко зависит от дозы ионизирующего излучения, а с другой - отражая его летальное действие, этот критерий хорошо коррелирует с количеством погибающих клеток, оцениваемым по снижению способности к клонообразованию.

Интерфазная гибель клетки наступает до вступления в митоз, и для большинства клеток такая гибель возможна лишь при очень больших дозах. Однако для некоторых клеток, например малодифференцированных кроветворных элементов и лимфоцитов, интерфазная гибель происходит уже при относительно низких дозах облучения. Клетки, погибающие таким путем, могут быть выявлены через 2-6 ч после облучения с помощью обычных цитологических методов исследования по различным изменениям (чаще по пикнозу ядра и фрагментации хроматина). Подсчет таких клеток также используют в качестве количественного показателя степени лучевого поражения.

Молекулярным субстратом, ответственным за гибель клетки, являются ДНК и ее комплексы с белками и ядерной мембраной. Разработаны молекулярно-биологические методы количественной оценки повреждения ДНК, используемые при изучении механизмов лучевого поражения клеток и восстановления их жизнеспособности. Последнее обусловлено явлением репарации ДНК, осуществляемой специальной системой ферментов. Эффективность репарации ДНК, по современным представлениям, имеет определяющее значение в клеточной радиочувствительности.

Закономерности реакций клеток на облучение сохраняются и при облучении организма, суммарная радиочувствительность которого определяется радиочувствительностью тканей, органов и систем, непосредственно подвергающихся облучению. Однако тканевую, а тем более органную и системную радиочувствительность нельзя рассматривать как простую сумму клеточных эффектов. На тканевую радиочувствительность большое влияние оказывают дополнительные факторы: кровоснабжение, объем облучаемых тканей, гомеостатический контроль регулирующих систем. Все это усложняет оценку тканевой радиочувствительности, но не отвергает принципиального и ведущего значения цитокинетических параметров, определяющих тип и меру лучевых реакций на всех уровнях

биологической организации. Именно цитокинетическая характеристика, а точнее пролиферативная активность кроветворной системы, эпителия слизистой оболочки кишечника и клеток половых желез (типичных систем клеточного обновления) является причиной их высокой радиочувствительности. Напротив, низкий темп физиологической регенерации или ее отсутствие, свойственные костной, мышечной и нервной системе, а также печени, обуславливает их относительную радиорезистентность.

Радиочувствительность организма может быть охарактеризована на примере острой лучевой болезни, возникающей после общего однократного равномерного внешнего облучения. В этом случае радиационному воздействию одновременно подвергаются все системы, органы и ткани, что позволяет сопоставить картину поражения с поглощенной дозой в так называемых критических органах. Между дозой излучения, выживаемостью и средней продолжительностью жизни существует строгая зависимость, определяемая различиями в радиочувствительности отдельных жизненно важных систем, поражение которых проявляется в виде характерных синдромов: кроветворного (костномозгового), кишечного и церебрального. Кроветворный синдром развивается у большинства млекопитающих при общем облучении в дозах 5-10 Гр. Смерть наступает между 2-й и 4-й неделями аплазии кроветворной ткани. Кишечный синдром отмечают при дозах излучения 10-100 Гр, он заканчивается летальным исходом на 4-7-й день после облучения. При облучении в дозах 150 Гр и более гибель наступает от церебрального синдрома в первые сутки или часы после облучения. При дозе излучения, превышающей 1 кГр, экспериментальные животные погибают мгновенно вследствие денатурационной инактивации клеток ("молекулярная" гибель).

Радиочувствительность костного мозга является основным фактором, определяющим общую радиочувствительность организма млекопитающих. Именно гибель его клеток определяет смертельный исход. Характеризуя радиочувствительность организма человека и млекопитающих, обычно имеют в виду дозы, вызывающие их гибель при явлениях кроветворного синдрома.

Что касается тканей и органов, отнесенных к радиорезистентным, то нельзя сказать, что они совсем не реагируют на воздействие ионизирующего излучения. И в клетках непролиферирующих тканей под влиянием облучения возникают повреждения хромосом, не реализуемые, однако, из-за отсутствия клеточного деления, а потому и не сказывающиеся на жизнеспособности покоящихся клеток. Но если искусственно вызвать пролиферацию таких клеток (например, клеток печени путем частичной ее резекции), то оказывается, что они как бы запомнили радиационное воздействие и в делящихся элементах регенерирующего органа легко обнаруживаются хромосомные аберрации, причем количество таких поврежденных клеток на единицу дозы такое же, как и в клетках радиочувствительных органов. Есть основания полагать, что "консервация" радиационного поражения хромосом

в клетках органов и систем, характеризующихся низким уровнем физиологической пролиферации, является причиной их функциональной неполноценности в отдаленные сроки после облучения; это способствует сокращению продолжительности жизни и развитию злокачественных опухолей.

Искусственное изменение, или управление, радиочувствительности осуществляется как в сторону ее снижения, так и повышения - так называемая радиосенсибилизация. Физические и химические агенты, используемые для противолучевой защиты, получили название радиопротекторов, а применяемые для сенсибилизации к излучению - радиосенсибилизаторов.

Важным средством управления радиочувствительностью, в т.ч. с целью направленной кодификации радиочувствительности нормальных и опухолевых тканей при лучевой терапии, является регуляция парциального давления (напряжения) кислорода в тканях, т.к. их радиочувствительность увеличивается при повышении и уменьшается при понижении напряжения кислорода.

Следует иметь в виду, что изменения облучаемого субстрата не являются обязательно окончательными и необратимыми. Как правило, конечный результат в каждом конкретном случае не может быть предсказан, т.к. наряду с лучевым повреждением может произойти и восстановление исходного состояния.

Воздействие ионизирующего излучения на живой организм принято называть облучением, хотя это не совсем точно, ибо облучение организма может осуществляться и любым другим видом неионизирующего излучения (видимым светом, инфракрасным, ультрафиолетовым, высокочастотным излучением и др.). Эффективность облучения зависит от фактора времени, под которым понимают распределение дозы ионизирующего излучения во времени. Наиболее эффективно однократное острое облучение при высокой мощности дозы ионизирующего излучения. Пролонгированное хроническое или прерывистое (фракционированное) облучение в заданной дозе оказывает меньшее биологическое действие, благодаря процессам пострadiационного восстановления, составляющего содержание следующего вопроса лекции.

Различают внешнее и внутреннее облучение. При внешнем облучении источник ионизирующего излучения располагается вне организма, а при внутреннем (инкорпорированном) оно осуществляется радионуклидами, попавшими в организм через дыхательную систему, желудочно-кишечный тракт или через поврежденную кожу.

Биологическое действие ионизирующего излучения в значительной степени зависит от его качества, в основном определяемого линейной передачей энергии (ЛПЭ) - энергией, теряемой частицей на единице длины ее пробега в веществе среды. В зависимости от значения ЛПЭ все ионизирующие излучения делят на редкоионизирующие (ЛПЭ менее 10 кэВ/мкм) и плотноионизирующие (ЛПЭ более 10 кэВ/мкм). Воздействие разными видами И. и. в равных поглощенных дозах приводит к разным по

величине эффектам. Для количественной оценки качества излучения введено понятие относительной биологической эффективности (ОБЭ), которую обычно оценивают сравнением дозы изучаемого ионизирующего излучения, вызывающей определенный биологический эффект, с дозой стандартного ионизирующего излучения, обуславливающей такой же эффект. Условно можно считать, что ОБЭ зависит только от ЛПЭ и возрастает с увеличением последней.

На каком бы уровне - тканевом, органном, системном или организменном не рассматривалось биологическое действие ионизирующего излучения, его эффект всегда определяется действием ионизирующего излучения на уровне клетки. Детальное изучение реакций, инициируемых в клетке ионизирующим излучением, составляет предмет фундаментальных исследований радиобиологии. Следует заметить, что большинство реакций, возбуждаемых ионизирующим излучением, в том числе и такая универсальная реакция, как задержка клеточного деления, является временной, преходящей и не сказывается на жизнеспособности облученной клетки. К реакциям такого типа - обратимым реакциям - относятся также различные нарушения метаболизма, в т.ч. угнетение обмена нуклеиновых кислот и окислительного фосфорилирования, слипание хромосом и др. Обратимость этого типа лучевых реакций объясняется тем, что они являются следствием повреждения части множественных структур, утрата которой очень быстро восполняется или просто остается незамеченной. Отсюда и характерная особенность этих реакций: с увеличением дозы ионизирующего излучения возрастает не доля реагирующих особей (клеток), а величина, степень реакции (например, продолжительность задержки деления) каждой облученной клетки.

Существенно иную природу имеют эффекты, приводящие облученную клетку к гибели, - летальные лучевые реакции. Под клеточной гибелью в радиобиологии понимают утрату клеткой способности к делению. Напротив, "выжившими" считаются те клетки, которые сохранили способность к размножению (клонированию).

Радиочувствительность ткани пропорциональна ее пролиферативной активности и обратно пропорциональна степени дифференцированности составляющих ее клеток. Поэтому наиболее радиочувствительными являются активно пролиферирующие органы и системы - система кроветворения, слизистая оболочка кишечника, яички, кожа. Массовая гибель клеток костного мозга, происходящая при общем облучении организма, приводит к несовместимому с жизнью поражению системы кроветворения. Поэтому костный мозг относят к основным критическим органам.

Существуют две формы летальных реакций, которые губительны для делящихся и малодифференцированных клеток: интерфазная, при ней клетка погибает вскоре после облучения, во всяком случае до наступления первого митоза, и репродуктивная, когда пораженная клетка гибнет не сразу после воздействия ионизирующего излучения, а в процессе деления. Наиболее

распространена репродуктивная форма летальных реакций. Основной причиной гибели клеток при ней являются возникающие под влиянием облучения структурные повреждения хромосом. Эти повреждения легко обнаруживаются при цитологическом исследовании клеток на разных стадиях митоза и имеют вид хромосомных перестроек, или хромосомных aberrаций. Из-за неправильного соединения хромосом и просто утраты их концевых фрагментов при делении потомки такой поврежденной клетки несомненно погибнут сразу же после данного деления или в результате двух-трех последующих митозов (в зависимости от значимости утраченного генетического материала для жизнеспособности клетки). Возникновение структурных повреждений хромосом - процесс вероятности, в основном связанный с образованием двойных разрывов в молекуле ДНК, т.е. с нерепарируемыми повреждениями жизненно важных клеточных макромолекул. В связи с этим, в отличие от рассмотренных выше обратимых клеточных реакций, с увеличением дозы ионизирующего излучения возрастает число (доля) клеток с летальным повреждением генома, строго описываемая для каждого вида клеток в координатах "доза - эффект". В настоящее время разработаны специальные методы выделения клоногенных клеток из различных тканей *in vivo* и их выращивания *in vitro*, с помощью чего после построения соответствующих дозовых кривых выживания количественно оценивают радиочувствительность изучаемых органов и возможности ее изменения в нужном направлении. Кроме того, подсчет числа клеток с хромосомными aberrациями на специальных препаратах используют в целях биологической дозиметрии для оценки радиационной обстановки, например на борту космического корабля, а также для определения степени тяжести и прогноза острой лучевой болезни.

Описанные лучевые реакции клеток лежат в основе непосредственных эффектов, проявляющихся в первые часы, дни, недели и месяцы после общего облучения организма или локального облучения отдельных сегментов тела. К ним относятся, например, эритема, лучевые дерматиты, различные проявления острой лучевой болезни (лейкопения, аплазия костного мозга, геморрагический синдром, поражения кишечника), стерильность (временная или постоянная, в зависимости от дозы ионизирующего излучения).

Спустя длительное время (месяцы и годы) после облучения развиваются отдаленные последствия местного и общего радиационного воздействия. К ним относятся сокращение продолжительности жизни, возникновение злокачественных новообразований и радиационная катаракта. Патогенез отдаленных последствий облучения в большей степени связывают с повреждением тканей, характеризующихся низким уровнем пролиферативной активности, из которых состоит большинство органов животных и человека. Глубокое знание механизмов биологического действия ионизирующего излучения необходимо, с одной стороны, для разработки способов противолучевой защиты и патогенетического лечения радиационных поражений, а с другой - для изыскания путей направленного

усиления лучевого воздействия при радиационно-генетических работах и других аспектах радиационной биотехнологии или при лучевой терапии злокачественных новообразований с помощью радиомодифицирующих агентов. Кроме того, понимание механизмов биологического действия ионизирующего излучения необходимо для экстренного принятия адекватных мер обеспечения радиационной безопасности персонала и населения при радиационных авариях.

Пострадиационное восстановление - ликвидация повреждения, вызванного воздействием ионизирующего излучения.

Пострадиационное восстановление проявляется на различных уровнях биологической организации от молекулярного до организменного. В его основе лежат физиологические процессы, направленные на обеспечение стабильности генетического материала и клеточного обновления жизненно важных систем. Пострадиационное восстановление, протекающее в облученных клетках без их деления (внутриклеточное восстановление), обозначают термином "репарация". В клетках облученного организма происходит репарация сублетальных и потенциально летальных повреждений. Репарация сублетальных повреждений характерна для активно пролиферирующих клеток, например клеток костного мозга и эпителия кишечника. При таком типе пострадиационного восстановления в первые несколько часов после облучения репарируются повреждения, делающие клетку более чувствительной к повторному облучению. Репарация сублетальных повреждений обычно бывает полной и завершается до вступления облученных клеток в период синтеза ДНК.

Репарация потенциально летальных повреждений характерна для клеток, находящихся в фазе временного или постоянного пролиферативного покоя, например для клеток печени, почек, головного мозга. В этом случае выживаемость клеток возрастает с увеличением временного интервала между облучением и воздействием стимула к клеточной пролиферации или при снижении мощности дозы излучения. Репарация потенциально летальных повреждений обычно не является полной, часть популяции представляют клетки, потерявшие способность к "бесконечному" размножению и отмирающие после одного или нескольких делений.

Оба типа клеточной репарации значительно более выражены при действии редкоионизирующего излучения, чем плотноионизирующего.

Многообразие процессов пострадиационного восстановления обусловлено как многочисленностью возникающих радиационных повреждений, так и использованием различных показателей - повреждений ДНК, хромосом и целых клеток. Кроме того, доказано, что различные репаративные процессы, разделенные по скорости их молекулярных проявлений, протекают параллельно. Соответствующие типы репарации могут быть полностью или частично завершенными; кроме того, в ряде случаев репарация протекает как "ошибочная". Доказан генетический контроль различных этапов репаративных процессов. В процессах репарации принимают участие многочисленные ферменты - ДНК-полимеразы,

рестриктазы, лигазы и др. На клеточном уровне может быть восстановлена большая часть повреждений молекул-мишеней. Так, например, при облучении в дозе 1 Гр в клетках млекопитающих в среднем образуется около 1000 одиночных разрывов ДНК, 100 двойных разрывов и 1500 испорченных её оснований, которые реализуются затем всего в 1 хромосомную аберрацию обменного типа, т.е. до 99,9% молекулярных повреждений ДНК могут быть восстановлены. Однако из-за стохастического (вероятностного) характера нанесения различных повреждений и невозможностью 100% репарации в каждой клетке или ее генетической структуре, даже при самой низкой дозе излучения, существует некоторая вероятность летального повреждения или индуцирования мутаций.

Пострадиационное восстановление тканей облученного организма включает как внутриклеточное восстановление, так и размножение выживших клеток, замещающих погибшие. При этом в критических органах и системах клеточного обновления, определяющих выживаемость организма (костный мозг и кишечный эпителий), решающее значение имеет размножение стволовых клеток и их потомков. Стволовые клетки за счет быстрой пролиферации и дифференцировки способны достаточно быстро (к концу проявлений острого лучевого синдрома) полностью восстановить клеточный состав критических органов. Поэтому восстановившиеся после облучения стволовые клетки являются как бы детерминантами лучевой реакции систем клеточного обновления. При облучении в больших дозах и значительном истощении пула стволовых клеток клеточная система не способна восстановиться, и определяет исход острого, или позднего лучевого поражения.

В органах и системах, в которых клеточное обновление происходит медленно (стационарные системы), а у взрослых практически отсутствует, результат лучевого поражения по завершении репарации потенциально летальных поражений зависит от степени повреждения эндотелия сосудов. В результате развивающихся нарушений микроциркуляции происходит снижение общей клеточности и функциональных возможностей тканей. Такую постепенно реализующуюся реакцию на действие облучения рассматривают как проявление необратимого компонента радиационного поражения на тканевом уровне. Он появляется в отдаленные сроки после облучения и в системах быстрого клеточного обновления. В данном случае он может быть связан не только с уменьшением пролиферативного потенциала стволовых клеток (из-за дополнительной пролиферации при восстановлении клеточности системы в острый период лучевого поражения), но и с истощением медленно обновляющейся стромы (в результате повреждения микроциркуляции, обновления фибробластов и др.).

Феномен пострадиационного восстановления учитывается при разработке средств профилактики и лечения радиационных поражений, направленных на стимулирование процессов восстановления прежде всего в критических органах и системах. Существенное значение проблема пострадиационного восстановления приобретает при лучевой терапии

злокачественных новообразований. Некоторые типы опухолей (например, меланома, саркома) являются радиорезистентными из-за способности их клеток к пострadiaционному восстановлению. Кроме того, в абсолютном большинстве опухолей из-за недостаточности их васкуляризации имеются гипоксические клетки, многие из которых временно находятся в состоянии пролиферативного покоя. Такие клетки после облучения способны к репарации потенциально летальных повреждений, а хорошо оксигенированные и пролиферирующие клетки опухоли репарируют сублетальные повреждения. Поэтому для избирательного повышения радиочувствительности опухоли в процессе лучевой терапии используют химические и физические радиомодифицирующие агенты, подавляющие пострadiaционное восстановление (гипертермию, препараты, связывающиеся с ДНК, кислород под давлением, электроноакцепторные соединения и др.). С этой же целью применяют схемы и виды облучения, при которых реализуются различия в скорости пострadiaционного восстановления в опухоли и нормальных тканях (многократное облучение в течение суток небольшими дозами, длительное внутритканевое облучение, применение плотноионизирующих излучений и др.).

2. Принципы, критерии и нормы радиационной безопасности

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 5 января 1998 года № 122-З "О радиационной безопасности" определены основы правового регулирования в области обеспечения радиационной безопасности населения, направленные на создание условий, обеспечивающих охрану жизни и здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения.

В указанном Законе даны определения следующим основным понятиям:

радиационная безопасность населения - состояние защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного воздействия ионизирующего излучения;

ионизирующее излучение - излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков;

источник ионизирующего излучения - устройство или радиоактивное вещество, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение;

естественный радиационный фон - доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека;

техногенно измененный радиационный фон - естественный радиационный фон, измененный в результате деятельности человека;

эффективная доза - величина воздействия ионизирующего излучения, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий

облучения организма человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности;

санитарно-защитная зона - территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения для населения. В санитарно-защитной зоне запрещается постоянное и временное проживание людей, вводится режим ограничения хозяйственной деятельности и проводится радиационный контроль;

зона наблюдения - территория за пределами санитарно-защитной зоны, на которой производится радиационный мониторинг;

работники (персонал) - физические лица, работающие с источниками ионизирующего излучения или находящиеся по условиям работы в зоне их воздействия;

радиационная авария - потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью, повреждением оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей или радиоактивному загрязнению окружающей среды сверх установленных норм;

пользователи - предприятия, учреждения, организации, производящие, вырабатывающие, перерабатывающие, применяющие, хранящие, транспортирующие, обезвреживающие и захороняющие радиоактивные вещества и другие источники ионизирующего излучения);

практическая деятельность - виды деятельности, увеличивающие общее облучение граждан;

медицинское облучение - облучение граждан (пациентов) при медицинском обследовании и лечении;

вмешательство - мероприятие (действие), направленное на предотвращение либо снижение неблагоприятных последствий облучения или комплекса неблагоприятных последствий радиационной аварии.

Основными принципами обеспечения радиационной безопасности при практической деятельности являются:

принцип нормирования - непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

принцип обоснования - запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного превышающим естественный радиационный фон облучением;

принцип оптимизации - поддержание на достижимо низком уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

При радиационной аварии система радиационной безопасности населения основывается на следующих принципах:

уровни вмешательства должны обеспечивать предотвращение ранних и ограничение поздних медицинских последствий облучения;

предполагаемые мероприятия по ликвидации последствий радиационной аварии должны приносить больше пользы, чем вреда;

виды и масштаб деятельности по ликвидации последствий радиационной аварии должны быть реализованы таким образом, чтобы польза от снижения дозы ионизирующего излучения, за исключением вреда, причиненного указанной деятельностью, была максимальной.

Радиационная безопасность обеспечивается:

проведением комплекса мер правового, организационного, инженерно-технического, санитарно-гигиенического, медико-профилактического, агротехнического, воспитательного и образовательного характера;

осуществлением органами государственной власти и управления, общественными объединениями, другими юридическими лицами и гражданами мероприятий по соблюдению правил, норм и нормативов в области радиационной безопасности;

информированием населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению радиационной безопасности;

обучением населения в области обеспечения радиационной безопасности.

К функциям государства в области обеспечения радиационной безопасности относятся:

определение государственной политики и ее реализация;

разработка и принятие нормативно-правовых актов, контроль за их соблюдением;

разработка, утверждение и реализация программ;

определение видов деятельности в области обращения с источниками ионизирующего излучения, подлежащих лицензированию;

установление порядка определения видов и размеров компенсаций за повышенный риск причинения вреда здоровью граждан и убытков их имуществу, обусловленных радиационным воздействием;

установление порядка возмещения причиненных вреда здоровью граждан и убытков их имуществу, а также имуществу юридического лица в результате радиационной аварии;

создание и обеспечение функционирования единой системы государственного управления, в том числе контроля и учета доз облучения населения;

создание и обеспечение функционирования единой системы учета и контроля источников ионизирующего излучения;

разработка и выполнение общереспубликанских мероприятий по радиационной защите населения при чрезвычайных ситуациях;

регламентация условий жизнедеятельности и особых режимов проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате радиационной аварии;

контроль за оказанием помощи населению, подвергшемуся облучению в результате радиационной аварии;

регулирование экспорта и импорта источников ионизирующего излучения, а также осуществление контроля за их экспортом, импортом, перемещением и транзитом;

осуществление международного сотрудничества и выполнение обязательств по международным договорам;

определение порядка захоронения источников ионизирующего излучения.

Государственное управление в области обеспечения радиационной безопасности осуществляется республиканским органом государственного управления по чрезвычайным ситуациям в порядке, определяемом Советом Министров Республики Беларусь.

Государственный надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности проводятся уполномоченными на то органами исполнительной власти.

Деятельность государственных органов, осуществляющих управление, надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности, определяется законодательством Республики Беларусь.

Для планирования и осуществления мероприятий по обеспечению радиационной безопасности разрабатываются республиканские и региональные (территориальные) программы. Республиканские программы разрабатываются и реализуются органами государственного управления и другими органами исполнительной власти в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

Региональные (территориальные) программы разрабатываются местными исполнительными и распорядительными органами, согласовываются с государственными органами, осуществляющими управление, надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности, и утверждаются местными Советами депутатов.

Порядок разработки и финансирования республиканских и региональных (территориальных) программ в области обеспечения радиационной безопасности определяется законодательством Республики Беларусь.

Государственное нормирование в области обеспечения радиационной безопасности осуществляется путем установления санитарных правил, норм, гигиенических нормативов, правил радиационной безопасности, государственных стандартов, строительных норм и правил, правил охраны труда, распорядительных, инструктивных, методических и иных документов по радиационной безопасности, которые не должны противоречить положениям настоящего Закона.

Санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы в области обеспечения радиационной безопасности утверждаются в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

Устанавливаются следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Республики Беларусь в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 зиверта или эффективная доза за период жизни (70 лет) - 0,07 зиверта; в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,001 зиверта;

для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 зиверта или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) - 1 зиверту; допустимо облучение в размере годовой эффективной дозы до 0,05 зиверта при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,02 зиверта.

Регламентируемые значения основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при медицинском облучении. Указанные значения пределов доз облучения являются исходными при установлении допустимых уровней облучения организма человека и отдельных его органов.

В случае радиационных аварий допускается облучение, превышающее установленные основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз), в течение определенного промежутка времени и в пределах, определенных санитарными нормами и правилами.

Правила радиационной безопасности, регламентирующие требования по обеспечению технической безопасности при работах с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующего излучения, утверждаются уполномоченным на то органом государственного управления в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

Государственные стандарты, строительные нормы и правила, правила охраны труда, распорядительные, инструктивные, методические и иные документы по вопросам радиационной безопасности принимаются и утверждаются уполномоченными на то органами государственного управления в пределах их полномочий.

Любая практическая деятельность в сфере обращения с источниками ионизирующего излучения осуществляется только с разрешения уполномоченного на то государственного органа.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в сфере обращения с источниками ионизирующего излучения, проектирование, сооружение источников ионизирующего излучения, конструирование и изготовление для них технологического оборудования, средств радиационной защиты, а также работы в области добычи, производства, транспортировки, хранения, использования, обслуживания, утилизации и

захоронения источников ионизирующего излучения осуществляются только на основании специальных разрешений (лицензий), выданных уполномоченными на то государственными органами.

Лицензирование деятельности в сфере обращения с источниками ионизирующего излучения осуществляется в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь.

Пользователь источников ионизирующего излучения проводит производственный контроль за обеспечением радиационной безопасности.

Порядок проведения производственного контроля определяется для каждого пользователя с учетом особенностей и условий выполняемых им работ и согласовывается с государственными органами, осуществляющими управление, надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности.

Должностные лица, осуществляющие производственный контроль за обеспечением радиационной безопасности, вправе приостанавливать проведение работ с источниками ионизирующего излучения при выявлении нарушений норм, правил и гигиенических нормативов, правил радиационной безопасности, государственных стандартов, строительных норм и правил, правил охраны труда, распорядительных, инструктивных, методических документов у соответствующего пользователя до устранения обнаруженных нарушений.

Оценка состояния радиационной безопасности осуществляется по следующим основным показателям:

- характеристика радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- анализ обеспечения мероприятий по радиационной безопасности и соблюдения норм, правил и гигиенических нормативов;
- вероятность радиационных аварий и их предполагаемый масштаб;
- степень готовности к эффективной ликвидации радиационных аварий и их последствий;
- анализ доз облучения, получаемых отдельными группами населения от всех источников ионизирующего излучения;
- число лиц, подвергшихся облучению сверх установленных пределов доз облучения.

Результаты оценки ежегодно заносятся в радиационно-гигиенические паспорта пользователя источников ионизирующего излучения.

Оценка состояния радиационной безопасности проводится при планировании и проведении мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, анализе эффективности указанных мероприятий органами государственной власти, местными Советами депутатов, а также пользователем источников ионизирующего излучения.

Порядок разработки радиационно-гигиенических паспортов утверждается Советом Министров Республики Беларусь.

Облучение населения и работников (персонала), обусловленное содержанием радона и гамма-излучением природных радионуклидов, в

жилых и производственных помещениях не должно превышать установленные нормативы.

В целях защиты населения и работников (персонала) от влияния природных радионуклидов должны осуществляться:

выбор земельных участков для строительства зданий и сооружений с учетом уровня выделения радона из почвы и гамма-излучения;

проектирование и строительство зданий и сооружений с учетом предотвращения поступления радона в воздух этих помещений;

проведение производственного контроля строительных материалов, приемка зданий и сооружений в эксплуатацию с учетом уровня содержания радона в воздухе помещений и гамма-излучения природных радионуклидов;

эксплуатация зданий и сооружений с учетом уровня содержания радона в них и гамма-излучения природных радионуклидов.

При невозможности соблюдения нормативов содержания радона и гамма-излучения природных радионуклидов в зданиях и сооружениях должен быть изменен характер их использования.

Запрещается использование строительных материалов и изделий, не отвечающих требованиям по обеспечению радиационной безопасности.

Продовольственное сырье, пищевые продукты, питьевая вода, а также контактирующие с ними в процессе изготовления, хранения, транспортировки и реализации материалы и изделия должны отвечать требованиям по обеспечению радиационной безопасности и подлежат производственному контролю в соответствии с действующим законодательством.

Дозы облучения граждан (пациентов) при медицинском облучении должны соответствовать установленным нормативам в области радиационной безопасности.

При проведении медицинских рентгенорадиологических процедур необходимо использовать средства защиты граждан (пациентов).

Гражданину (пациенту) по его требованию представляется информация об ожидаемой или получаемой им дозе облучения и о возможных последствиях при медицинском облучении.

Гражданин (пациент) имеет право отказаться от медицинских рентгенорадиологических процедур.

Контроль и учет индивидуальных доз облучения, полученных гражданами при использовании источников ионизирующего излучения, медицинском облучении, а также обусловленных естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, осуществляются в рамках единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения, создаваемой в порядке, определяемом Советом Министров Республики Беларусь.

Пользователь источников ионизирующего излучения обязан:

соблюдать требования Закона "О радиационной безопасности" и иных нормативно-правовых актов в области обеспечения радиационной безопасности;

планировать и осуществлять мероприятия по обеспечению радиационной безопасности;

проводить работы по обоснованию радиационной безопасности новой (модернизируемой) продукции, материалов и веществ, технологических процессов и производств, являющихся источниками ионизирующего излучения;

осуществлять систематический производственный контроль радиационной обстановки на рабочих местах, в помещениях, на территориях организаций, в санитарно-защитных зонах и зонах наблюдения, а также за выбросом, сбросом и захоронением радиоактивных веществ;

проводить контроль и учет индивидуальных доз облучения работников (персонала);

проводить подготовку и аттестацию руководителей и исполнителей работ, специалистов служб производственного контроля, других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с источниками ионизирующего излучения, по вопросам обеспечения радиационной безопасности;

организовывать проведение предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров работников (персонала);

регулярно информировать работников (персонал) об уровнях ионизирующего излучения на их рабочих местах и о величине полученных ими индивидуальных доз облучения;

своевременно информировать государственные органы, уполномоченные осуществлять управление, надзор и контроль в области радиационной безопасности, об аварийных ситуациях и нарушениях технологического регламента, создающих угрозу радиационной безопасности;

осуществлять снятие с эксплуатации и захоронение источников ионизирующего излучения;

выполнять заключения, постановления, предписания должностных лиц уполномоченных на то государственных органов, осуществляющих управление, надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности;

обеспечивать реализацию прав граждан в области радиационной безопасности.

Пользователь источников ионизирующего излучения несет полную ответственность за причиненные вред здоровью граждан и убытки их имуществу.

Пользователь источников ионизирующего излучения обязан иметь:

перечень потенциальных радиационных аварий с прогнозом их последствий и прогнозом радиационной обстановки;

критерии принятия решений при возникновении радиационной аварии;

план мероприятий по защите работников (персонала) и населения от радиационной аварии и ее последствий, согласованный с местными Советами

депутатов, государственными органами, осуществляющими управление, надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности;

средства для оповещения населения и работников (персонала), а также средства обеспечения ликвидации последствий радиационной аварии;

медицинские средства профилактики радиационных поражений и средства оказания медицинской помощи пострадавшим при радиационной аварии;

аварийно-спасательные формирования, создаваемые из числа работников (персонала).

В случае радиационной аварии пользователь источников ионизирующего излучения обязан:

обеспечить выполнение мероприятий по защите работников (персонала) и населения от радиационной аварии и ее последствий;

информировать о радиационной аварии государственные органы, осуществляющие управление, надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности, а также органы местного управления и самоуправления, население территорий, на которых возможно повышенное облучение;

принять меры по оказанию медицинской помощи пострадавшим при радиационной аварии;

принять меры по локализации очага радиоактивного загрязнения и предотвращению распространения радиоактивных веществ в окружающей среде;

провести анализ и подготовить прогноз развития и распространения радиационной аварии, а также изменений радиационной обстановки;

принять меры по нормализации радиационной обстановки;

возместить причиненные вред здоровью граждан и убытки их имуществу в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

Повышенное облучение граждан, привлекаемых для ликвидации последствий радиационной аварии, аварийно-спасательных работ и дезактивации, может быть обусловлено необходимостью спасения людей и предотвращения еще большего их облучения. Облучение граждан, привлекаемых к ликвидации последствий радиационных аварий, не должно превышать более чем в 10 раз среднегодовое значение основных гигиенических нормативов облучения для работников (персонала), установленных Законом "О радиационной безопасности".

Повышенное облучение граждан, привлекаемых для ликвидации последствий радиационных аварий, допускается один раз за период их жизни при предварительном информировании о возможных дозах облучения, риске для здоровья и добровольном их согласии.

Виды и размеры компенсаций за повышенный риск и причинение вреда здоровью граждан, привлекаемых для выполнения указанных работ, устанавливаются законодательством Республики Беларусь.

Граждане, проживающие на территории зоны наблюдения, где существует возможность превышения установленных настоящим Законом основных пределов доз, имеют право на социальную защиту. Порядок предоставления мер социальной защиты устанавливается законодательством Республики Беларусь.

Граждане имеют право на возмещение причиненных вреда здоровью и убытков их имуществу в результате облучения ионизирующим излучением сверх установленных основных пределов доз в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

В случае радиационной аварии граждане имеют право на возмещение причиненных вреда здоровью и убытков их имуществу в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Допустимые уровни облучения - уровни воздействия ионизирующих излучений на человека, при которых исключено возникновение нестохастических (ближайших) последствий облучения организма, а риск отдаленных соматико-стохастических (злокачественных новообразований) и генетических последствий минимален. Допустимые пределы воздействия ионизирующих излучений на человека регламентированы нормами радиационной безопасности - "Требования к радиационной безопасности" и Гигиенический норматив "Критерии оценки радиационного воздействия", утвержденных Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 г. № 213. Они применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Требования и нормативы, установленные Нормами, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для местных распорядительных и исполнительных органов, граждан Республики Беларусь, иностранных граждан и лиц без гражданства, проживающих на территории Республики Беларусь.

Нормы являются основополагающим документом, регламентирующим требования Закона Республики Беларусь "О радиационной безопасности населения" в форме основных пределов доз, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучения человека. Никакие другие нормативные и методические документы не должны противоречить требованиям Норм.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Требования по обеспечению радиационной безопасности сформулированы для каждого вида облучения. Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, а также для обоснования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

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

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;

- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв;

- коллективную годовую эффективную дозу не более 1 чел.-Зв

- либо когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы.

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

Перечень и порядок освобождения источников ионизирующего излучения от радиационного контроля устанавливаются санитарными правилами.

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

Основу системы радиационной безопасности, сформулированной в Нормах, составляют современные международные научные рекомендации, опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Нормы радиационной безопасности относятся только к ионизирующему излучению. В Нормах учтено, что ионизирующее излучение является одним из множества источников риска для здоровья человека и что риски, связанные с воздействием излучения, не должны соотноситься только с выгодами от его использования, но их следует сопоставлять и с рисками нерadiационного происхождения.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения человека от всех источников излучения (принцип нормирования);

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 обоснования);

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 оптимизации).

Ответственность за соблюдение Норм устанавливается в соответствии с законами Республики Беларусь "О радиационной безопасности населения", "О санитарно-эпидемическом благополучии населения".

"Санитарные правила и нормы 2.6.1.8-8-2002. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)", утвержденные Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22.02.2002 г. № 6, являются документом, регламентирующим требования по защите людей от вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения, на которые распространяется действие НРБ-2000.

Правила являются обязательными для исполнения на территории Республики Беларусь всеми юридическими и физическими лицами независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей. Правила распространяются на все организации, предприятия и учреждения, проектирующие, добывающие, производящие, хранящие, использующие, транспортирующие, перерабатывающие, захоранивающие радиоактивные вещества и другие источники ионизирующего излучения, организации, осуществляющие эксплуатацию, монтаж, демонтаж, ремонт и наладку приборов, установок и аппаратов, действие которых основано на использовании ионизирующего излучения, и устройств, генерирующих ионизирующее излучение, а также организации, деятельность которых может привести к увеличению уровня облучения людей от природных источников излучения, и организации, выполняющие работы на территории, загрязненной радиоактивными веществами, и являются обязательными при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, перепрофилировании и выводе из эксплуатации радиационных объектов.

Организации и индивидуальные предприниматели, осуществляющие деятельность в области обращения с источниками излучения, должны получить разрешение на право проведения работ от органов государственного санитарного надзора.

Заключение

С целью обеспечения устойчивого развития страны, как это предусмотрено "Национальной стратегией устойчивого социально-

экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г.", Беларусь системно совершенствует управление ядерной и радиационной безопасностью. Законодательным актом, направленным на регулирование отношений, связанных с размещением, проектированием, сооружением, вводом в эксплуатацию, эксплуатацией и выводом из эксплуатации ядерной установки и пункта хранения, а также отношений, связанных с обращением с ядерными материалами при эксплуатации ядерной установки и пункта хранения, отработанными ядерными материалами и эксплуатационными радиоактивными отходами, иных отношений в области использования атомной энергии, является Закон Республики Беларусь "Об использовании атомной энергии" от 30 июля 2008 г.

В соответствии со Статьей 7 Закона с целью осуществления государственного регулирования деятельности по обеспечению безопасности при использовании атомной энергии Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в пределах своей компетенции осуществляет государственный надзор в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, а также за обеспечением физической защиты объектов использования атомной энергии, осуществляет контроль за соблюдением законодательства в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, обеспечивает функционирование единой государственной системы учета и контроля источников ионизирующего излучения и государственной системы учета и контроля ядерных материалов Республики Беларусь, организует проведение экспертизы безопасности ядерной установки и пункта хранения, а также их проектов, в том числе с привлечением независимых экспертов. Во исполнение Указа Президента Республики Беларусь от 12 ноября 2007 г. № 565 "О некоторых мерах по строительству атомной электростанции" в Республике Беларусь создан Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Госатомнадзор) и утверждено положение о Госатомнадзоре. Согласно положению о Департаменте разработаны и реализуются системы надзора за обеспечением ядерной и радиационной безопасности, организации надзорной деятельности на этапе выбора площадки для АЭС и на этапах строительства на АЭС, а также контроля за соблюдением законодательства в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Литература

Основная

1. Конституция Республики Беларусь (с изменениями и дополнениями): Закон Республики Беларусь // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 1999. № 1. 1/0.
2. О радиационной безопасности населения: Закон Республики Беларусь, 5 января 1998 г., №122-З (с изм. и доп.) //Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2006. № 2. 2/1169.

3. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 г. № 213 "Об утверждении Санитарных норм и правил "Требования к радиационной безопасности" и Гигиенического норматива "Критерии оценки радиационного воздействия" // [http: www.minzdrav.gov.by](http://www.minzdrav.gov.by).

4. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / В.А. Круглов, С.П. Бабовоз, В.Н. Пилипчук и др. / Под ред. В.А. Круглова. - Мн.: Амалфея, 2003. - 368 с.

5. Сантарович, В.М. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность // В.М. Сантарович, А.В.Долидович, В.В. Захарченко / ред. А. А. Капуцкий, В. Г. Бриш, В. Н. Чапайло. Минск : Бизнесофсет, 2007. 400 с.

Дополнительная

6. Об использовании атомной энергии: Закон Республики Беларусь от 30 июля 2008 г. // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2008. № 187. 2/1523.

7. Санитарные правила и нормы 2.6.1.8-8-2002. Основные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002), утвержденные Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22.02.2002 г. № 6. // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2002. № 35. 8/7859.

8. Радиационные поражения: Учебное пособие / Г. М. Батян, С. И. Судник, Л. Г. Капустина. - Мн.: БГУ, 2005. - 25 с.

9. Бабовоз, С. П. Гражданская оборона в Республике Беларусь [Учеб. пособие для вузов МВД] / С. П. Бабовоз, В. А. Круглов, В. А. Генералов. - Мн.: Амалфея, 2000. - 224 с.

10. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: уч. пособие. В 3-х ч. Ч. 3. Радиационная безопасность / С.В., Дорожко, В.П. Бубнов, В.Т. Пустовит - Мн.: Технопринт, 2003. - 209 с.

11. Шибут В. П. Актуальные составляющие управления ядерной и радиационной безопасностью и содержания профессиональной служебной подготовки // Проблемы борьбы с преступностью и подготовки кадров для органов внутренних дел Республики Беларусь: тез. докл. Международной научн.-практ. конф. (Минск, 30 июня 2010 г.) / М-во внутрен. дел Респ. Беларусь, Акад. МВД; под ред. В. Б. Шабанова - Минск: Акад. МВД, 2010. - С.193-194. (0,2 п.л.)

12. Шибут В.П. Страхование рисков эксплуатации опасных производственных объектов в управлении чрезвычайными ситуациями // Вестник Академии МВД Республики Беларусь. - 2010. - № 2 (20). - С. 104-108. (0,5 п.л.)