

ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОГО МИРА

В.А. Турлак

РАДИАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

The author presents to the readers the main concepts of the problem of environmental pollution, those negative consequences that it brings for the nature and man's health, and, also, the main principles which must be the basis of modern production with the use of radioactive sources, the principles of minimization of negative consequences of this production.

Одним из факторов экологически чистого общественного развития, который заслуживает особого внимания, является радиационная безопасность.

Применение источников ионизирующего излучения и радиоактивных веществ для медицинских, промышленных, сельскохозяйственных целей или для научных исследований является неотъемлемой составляющей современного существования и деятельности человека. В каждом конкретном случае сложно оценить эффективность, суммарный эффект от хозяйственного употребления радиационных технологий. Однако несмотря на это, по-видимому, следует говорить о его росте, так как объем этих технологий растет, а сфера использования — расширяется.

Особенно это заметно в медицине: медицинские принадлежности одноразового использования, стерилизуемые интенсивными излучениями, заняли главное место в борьбе с распространением инфекционных заболеваний, а диагностическое применение рентгеновских лучей и радиоактивных изотопов имеет тенденцию расширяться вдвое примерно каждые 10 лет. Для сохранения пищевых продуктов и снижения их потерь повсеместно используется облучение, а методы стерилизации — для уничтожения насекомых и вредителей—переносчиков болезней. Промышленная радиография применяется для проверки качества сварных швов и обнаружения трещин, а также помогает предотвращать разрушение инженерно-технических сооружений.

Несмотря на позитивные оценки использования ядерной энергии, более чем пятидесятилетний опыт ее промышленного освоения способствовал формированию и накоплению значительного ядерного потенциала, представляющего серьезную радиационную опасность.

В то же время вопросы безопасного обращения с радиоактивными отходами, медицинских последствий радиационного воздействия,

радиационной безопасности населения, территорий, загрязненных в результате аварий на радиационно-опасных объектах, еще очень мало изучены. Незавершенными остаются и социально-политические аспекты управления радиационной безопасностью.

В нашей стране проблемы радиоактивных излучений и радиоактивного загрязнения окружающей среды долгие годы носили “закрытый характер”. Ими занимался крайне ограниченный круг специалистов, а потому многие используемые термины не были введены в широкий научный оборот. В данной связи прежде чем перейти к выработке каких-либо превентивных принципов, гарантирующих обеспечение радиационной безопасности, целесообразно концептуализировать систему наиболее часто используемых понятий, которые несут в себе определенную долю социальной нагрузки.

К таким понятиям следует отнести понятия радиационной безопасности, радиационного загрязнения, участка радиационного загрязнения, облучения, коллективной и эффективной дозы облучения, мощности дозы облучения, отдаленных последствий облучения и т.п.

Радиационная безопасность населения — комплекс мероприятий, ограничивающих облучение населения и радиоактивное загрязнение окружающей среды до наиболее низких значений, достигаемых средствами, приемлемыми для общества.

Радиоактивное загрязнение — присутствие радиоактивных веществ техногенного происхождения на поверхности или внутри материала (грунта), которое может привести к облучению в индивидуальной дозе более 10 мкЗв/год или коллективной дозе 1 чел. — Зв/год.

Участок радиоактивного загрязнения — радиоактивное загрязнение, обнаруженное и ограниченное на определенной местности.

Облучение — воздействие ионизирующего излучения на организм.

Ионизирующее излучение — излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и при взаимодействии образует со средой ионы разных знаков.

Коллективная доза облучения — величина, определяющая полное воздействие излучения на группу людей.

Эффективная доза облучения — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека, а также отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) в качестве меры для оценки ущерба от различного типа излучений и энергий рекомендовано использовать эффективную дозу и эквивалентные дозы в органе или ткани за год, среднюю эффективную дозу за период в пять лет, а также коллективную эффективную дозу¹.

¹ Нормы радиационной безопасности: гигиенические нормативы. М., 1996.

Мощность дозы облучения — отношение приращения дозы за интервал времени к этому интервалу.

Отдаленные последствия облучения — изменения в организме, возникающие в отдаленные сроки (через годы) после облучения.

Выброс — поступление радиоактивных веществ в атмосферный воздух в результате работы предприятия.

Сброс — поступление радиоактивных веществ в водоемы с жидкими отходами предприятия.

Радиоактивные отходы — отработанные материалы, радиоактивное загрязнение которых превышает уровень 300 мкР (3 мкЗв).

Необходимо также кратко охарактеризовать основные системные (грэй, зиверт, беккерель) и несистемные (рад, рентген, кюри) единицы, используемые для измерения радиоактивного излучения.

Грэй — это единица поглощенной дозы излучения, обозначается Гр. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$.

Рад — внесистемная единица поглощенной дозы ионизирующего излучения, соответствующая энергетическому излучению мощностью 100 эрг, поглощенной веществом массой 1 грамм.

Зиверт — единица эквивалентной дозы излучения в системном измерении. Обозначается Зв. $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Рентген — внесистемная единица экспозиционной дозы рентгеновского гамма-излучения, определяемая по их ионизирующему действию на воздух. Обозначается Р.

Кюри — внесистемная единица активности радиоактивных изотопов.

Беккерель — единица активности радиоактивных изотопов в системном измерении. Обозначается Бк. 1 Бк соответствует 1 распаду в секунду. $1 \text{ Кюри} = 3,7 \times 10^{10} \text{ беккерелей (Бк)}$.

Важно обозначить основные источники радиоактивного излучения, вызывающие загрязнение окружающей среды и представляющие собой угрозу здоровью населения.

Все источники радиоактивного излучения можно разделить на первичные и вторичные.

К числу первичных источников обычно относят:

1) естественный радиационный фон;
2) технологически усиленную естественную радиацию, связанную с неядерным производством;

3) радиацию, возникающую в результате ядерных испытаний, эксплуатации предприятий ядерно-топливного цикла, а также потребления различных источников ионизирующего облучения.

Вторичными источниками радиоактивного облучения являются радиоактивные отходы.

Целесообразно кратко охарактеризовать данные источники и показать их потенциальную опасность как для окружающей среды, так и для человека.

Естественные источники радиоактивности разделяются на источники внешнего и источники внутреннего облучения.

Внешнее облучение действует на организм извне и формируется источниками ионизирующего излучения неземного происхождения (космическая радиация) и источниками земного происхождения (источниками, находящимися в почве и грунте, строительных материалах, воздухе).

Воздействию космических лучей подвержены все участки земной поверхности, однако в разной степени, например в зависимости от широты и высоты над уровнем моря. Так, экваториальные области получают меньше радиации, чем полюса, из-за отклонения магнитными полями заряженных частиц космических лучей; уровень облучения возрастает с высотой, поскольку уменьшается слой атмосферы, играющий роль защитного экрана от космических лучей. Существенному, хотя и относительно непродолжительному, облучению подвергаются экипажи и пассажиры самолетов: так, пассажир самолета, летящий на типичной крейсерской высоте, получает в четыре раза большую дозу за один час, чем от всей ядерной промышленности за год.

Уровень земной радиации определяется составом и концентрацией радионуклидов, находящихся в поверхностных породах. Естественно, что он различен для разных мест на Земле. Основными радиоактивными элементами, содержащимися в земных породах с момента образования Земли, являются долгоживущие элементы рядов урана — U-238 (период полураспада $1 \cdot 47 \cdot 10^9$ лет), тория — Th-232 ($1 \cdot 41 \cdot 10^{10}$ лет) и калия-40 ($1 \cdot 28 \cdot 10^{10}$ лет), средняя концентрация которых возрастает с увеличением глинистой фракции. Основной вклад в дозу облучения над поверхностью земли вносят радионуклиды, находящиеся в верхнем тридцатисантиметровом слое почвы. Гамма-излучение, испускаемое этими радионуклидами, относительно равномерно облучает все тело человека².

Принято считать, что естественная радиационная нагрузка, которой все живые организмы подвергаются с самого момента возникновения жизни на Земле, явно никак не повредила развитию фауны и флоры и, по всей видимости, оставалась примерно одинаковой на протяжении всей истории развития человечества.

Внутреннее облучение происходит из самого организма, где содержатся радиоактивные вещества, имеющиеся в нем с самого рождения и постоянно поступающие с воздухом, водой и пищей, в том числе радионуклиды, образованные при взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли. Это облучение составляет в среднем примерно 2/3 эффективной эквивалентной дозы, получаемой от естественных источников радиации, при этом на долю космогенных радионуклидов

² См.: Польский О.Г., Турлак В.А. Региональные проблемы обеспечения радиационной безопасности населения // Эколого-экономическое регулирование условий хозяйствования в регионах России. М., 2002. С. 24.

приходится менее одного процента (15 мкЗв). Все остальное поступает за счет источников земного происхождения.

К основным источникам внутреннего облучения относятся: радиоактивный изотоп поташа-40, который является существенным элементом процесса управления гомеостазисом в теле человека (K-40), рубидий-87 (Rb-87), уран-238 (U-238), торий-230 (Th-230), радий-226 (Ra-226), радон-222 (Rn-222), свинец-210 (Pb-210) и полоний-210 (Po-210), радий-228 (Ra-228)³.

Кроме естественного радиационного фона существует “технологически усиленная естественная радиация”. Она возникает в результате широкого диапазона индустриальной деятельности, например такой, как неядерное производство энергии, промышленные производства, добыча и очистка руды и т.п.

Можно выделить основные технологические процессы, в результате которых возникают повышенные уровни естественных радионуклидов в окружающей среде.

Так, характерной чертой производственных процессов энергетических предприятий, использующих неядерное топливо, такое, как геотермальная энергия, природный газ, нефть, уголь, торф, являются атмосферные выбросы, сливы жидкости и твердые отходы, содержащие естественные радионуклиды.

Например, производство геотермальной энергии сопровождается выделением в атмосферу смеси пара и радоносодержащих газов с уровнями концентрации до нескольких КБк/л, таким образом приблизительно удваивая общее количество радона в окружающем воздухе. Природный газ содержит радон в концентрациях около 7—10 Бк/л со средним значением 9 Бк/л. В процессе добычи нефти и природного газа термальные соляные растворы поднимаются на поверхность, обогащаясь радием. Осаждение их на трубах, емкостях и т.п. вызывает повышенную гамма-дозу, например на поверхности танкеров-хранилищ до 50 мкЗв/час⁴.

Наибольший вклад в общее радиологическое воздействие на человека и окружающую среду среди всех неядерных источников энергии вносит уголь. Отраслью, в которой также происходит образование потенциальных источников радиоактивного загрязнения, является добыча и очистка руды. Операции разработки и дробления руды приводят к высвобождению естественных радионуклидов в окружающую среду в форме жидких стоков из самого рудника и выщелачивающих растворов из выработок, твердых отходов и выделения в атмосферу частиц пыли и радона. Реальное количество высвобождаемых нуклидов сильно зависит от вида разрабатываемой руды. Со значительными

³ Там же. С. 28.

⁴ См.: *Ефимов К.М., Дмитриев С.А.* Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров / Под общ. ред. И.А. Соболева. М., 1999.

общими объемами радиоактивных нуклидов имеет дело фосфатная добывающая промышленность⁵.

Известно, что воздействие на окружающую среду, возникающее в результате этой различной неспецифической, т.е. не связанной непосредственно с атомным производством антропогенной деятельности, и с учетом большого количества людей, на которых оказывается это воздействие, вносит значительный вклад в коллективную дозу населения Земли.

В то же время довольно сложно определить, какой конкретный радиоактивный эффект дают специфические, т.е. непосредственно связанные с радиоактивным производством, источники радиации.

Одним из существенных специфических факторов радиационного загрязнения окружающей среды являются радиоактивные осадки, которые образовались в результате ядерных взрывов при испытаниях ядерного оружия. При взрывах часть радиоактивного материала выпадает неподалеку от места испытания, какая-то часть задерживается в тропосфере, подхватывается ветром и перемещается на большие расстояния, оставаясь примерно на одной высоте. Находясь в воздухе в среднем около месяца, радиоактивные вещества во время этих перемещений постепенно выпадают на землю. Однако большая часть радиоактивного материала выбрасывается в стратосферу, где он остается многие месяцы, медленно опускаясь и рассеиваясь по всей поверхности земного шара.

Радиоактивные осадки содержат несколько сотен различных радионуклидов, однако большинство из них имеют ничтожно малые концентрации или быстро распадаются, а основной вклад в облучение человека “вносит” лишь небольшое число радионуклидов. Вклад в ожидаемую коллективную эффективную эквивалентную дозу облучения населения от ядерных взрывов, превышающий 1%, дают только четыре радионуклида: углерод-14, цезий-137, цирконий-95 и стронций-90. Дозы облучения за счет этих и других радионуклидов изменяются во времени, поскольку время их существования имеет большой разброс.

Следует отметить, что годовые дозы облучения четко коррелируют с испытаниями ядерного оружия в атмосфере: их максимумы приходятся на те же годы.

Другим специфическим источником облучения являются атомные электростанции. Однако вопреки общественному мнению в настоящее время они вносят весьма незначительный вклад в суммарное облучение населения: при нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду очень невелики.

Атомные станции при этом являются только частью довольно сложной совокупности производств, называемой ядерно-топливным циклом (ЯТЦ). ЯТЦ состоит из следующих производств:

⁵ См.: Клименко А.В. Цена оружейного урана. М., 1998. С. 105.

1) добыча и переработка урановой руды с получением химических концентратов урана (рудодобывающие и рудоперерабатывающие заводы);

2) получение чистых соединений урана из концентратов (аффинажные заводы), производство гексафторида урана и разделение его изотопов (заводы по получению гексафторида и разделению изотопов);

3) изготовление ядерного топлива и тепловыделяющих элементов — ТВЭЛов (заводы по изготовлению ТВЭЛов);

4) использование топлива для получения энергии на АЭС; переработка отработавшего (облученного) на АЭС ядерного топлива (радиохимические заводы или заводы по регенерации топлива);

5) обработка отходов, хранение или захоронение средне- и высокотоксичных отходов и транспортировка ядерных продуктов между предприятиями.

При осуществлении процессов ЯТЦ образуются пылеобразные, жидкие и твердые отходы, содержащие радиоактивные вещества. Кроме того, в водоемы сбрасывается значительное количество тепла с АЭС в виде нагретой воды.

Благодаря жестким правилам обращения с радиоактивными отходами в биосферу поступает ничтожная их часть (менее 0,008%). Из них около 95% приходится на заводы по переработке ядерного топлива, примерно 5% — на АС и только 0,0035% — на заводы по добыче и переработке урановых руд⁶.

В то же время в районах, где расположены атомные электростанции и предприятия ядерно-топливного цикла, содержание радионуклидов в атмосферных осадках и почве существенно превышает средние значения. Количество же радиоактивных веществ, поступивших в окружающую среду при авариях, оказывается гораздо больше, а характер такого загрязнения часто носит глобальный характер⁷.

Большее применение в различных областях деятельности человека находят источники ионизирующего излучения. В Российской Федерации только в промышленной дефектоскопии, приборах технологического контроля, сигнальных и информационных системах объем потребления радиоизотопной продукции составляет 500 ГБк (гигабеккерелей) в год⁸.

С расширением производств ядерно-топливного цикла, а также потребления закрытых источников ионизирующего облучения в различных отраслях промышленности возрастает число отработанных источников — радиоактивных отходов, подлежащих захоронению. Это

⁶ См.: Бринчук М.М. Экологическое право. М., 2000. С. 24.

⁷ См.: Ефимов К.М., Ясько Е.А. Прогнозирование загрязнений поверхностного слоя в районе АЭС // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. Обнинск, 1999. С. 69.

⁸ О мерах по повышению радиационной безопасности населения г. Москвы: Постановление правительства Москвы. 28.11.2000. № 945. М., 2000.

вторичные источники радиоактивного загрязнения, которые образуются в результате добычи и переработки радиоактивных руд, работы АЭС, на предприятиях, использующих радиоактивные вещества в своей производственной деятельности, в научно-исследовательских и медицинских учреждениях.

К радиоактивным отходам относятся также растворы, изделия и материалы, биологические объекты, содержащие радиоактивные вещества в количествах, превышающих величины, установленные нормами и правилами и не подлежащие дальнейшему использованию.

Все без исключения источники радиоактивного излучения антропогенного происхождения, обозначенные выше, в той или иной степени загрязняют биосферу, а облучение, возникающее в результате их воздействия, не только носит глобальный характер, но и является неконтролируемым, поскольку невозможно определить какие-либо ограниченные фиксированные дозы, которые получают люди. Под радиоактивным загрязнением биосферы понимают попадание радиоактивных изотопов (элементов с одинаковым порядковым номером, но с разной атомной массой) в живые организмы и среду их обитания (атмосферу, гидросферу, почву). Радиоактивное загрязнение локального характера возникает от радионуклидов, содержащихся в строительных материалах, эманации радона, медицинского и профессионального облучения, выбросов радиоактивных веществ многочисленных предприятий, работающих с исследовательскими ядерными установками и радиоактивными веществами в открытом виде.

Необходимо подчеркнуть, что в радиационно опасном плане ни одна столица мира не имеет столь большого числа факторов радиационного риска для населения города, как Москва. Здесь сосредоточены основные учреждения и предприятия, осуществляющие научные и практические разработки, связанные с использованием радиоактивных материалов. На территории Москвы расположены 11 исследовательских реакторов, 1783 предприятия и организации, использующие в своих технологических процессах радиоактивные вещества и источники ионизирующего излучения, из них 1024 медицинских учреждения, 301 промышленное предприятие, 272 научных и учебных организаций, 14 — организации Минобороны России. Выброс радиоактивных веществ в атмосферу осуществляют 68 предприятий и организаций. Из 65 предприятий и производств, отнесенных Постановлением Правительства Российской Федерации к особо радиационно опасным и ядерно опасным объектам, 20 организаций действуют именно в г. Москве. Среди них — Российский научный центр “Курчатовский институт”, Московский инженерно-физический институт, Научно-исследовательский конструкторский институт энерготехники, Институт теоретической экспериментальной физики, Всероссийский научно-исследовательский институт химической технологии, Институт геохи-

мии и аналитической химии им. В.В. Вернадского, завод полиметаллов, машиностроительный завод “Молния” и др.⁹

Общее количество радиоактивных источников, используемых предприятиями и организациями в Москве, составляет 145 642 штуки, а их суммарная активность — более 5,5 млн кюри. 425 предприятий и организаций имеют на хранении источники ионизирующего излучения с просроченными сроками годности общей численностью 134 922 штуки и суммарной активностью порядка 4 млн кюри¹⁰.

Не менее сложная обстановка сложилась и в Московской области, которая также в высокой степени насыщена радиационно опасными и ядерно опасными объектами и производствами. Среди них: Государственный научный центр Российской Федерации — Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (г. Троицк), Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна), Государственный научный центр Российской Федерации — Институт физики высоких энергий (г. Протвино), Государственный научно-исследовательский институт Научно-производственного объединения “Луч” (г. Подольск), Акционерное общество “Машиностроительный завод” (г. Электросталь), Научно-исследовательский институт приборов (г. Лыткарино-1), Опытное конструкторское бюро “Гидропресс” (г. Подольск)¹¹.

Ситуация усугубляется тем, что зачастую невозможно получить достоверные данные о радиационной обстановке в “закрытых” войсковых частях и организациях, использующих радиационно опасные материалы. В 2001 г. на территории Московской области зарегистрировано 104 тыс. источников с общей активностью 1,85 млн кюри, из которых 88 тыс. штук (т.е. 85%) с общей активностью 1,57 млн кюри выработали назначенный срок службы и должны быть сданы на долговременное хранение¹².

Налицо устойчивая тенденция роста количества используемых источников ионизирующего излучения, в том числе и с истекшими сроками действия. Эксплуатация таких источников не допускается техническими условиями, так как может привести и приводит к серьезным авариям из-за недостаточной их надежности.

Исследования показали, что на ряде предприятий сложилась крайне опасная в радиационном плане ситуация. Необходимо отметить, что в области удовлетворительно в радиоэкологическом отношении изучено менее 15% территории. По обоснованным оценкам, дейст-

⁹ См.: Польский А.Г., Турлак В.А. Указ. соч. С. 30.

¹⁰ Радиационно-гигиенические паспорта территории г. Москвы за 1998—2001 гг.

¹¹ Государственная программа “Радиационная безопасность Московской области на 1999—2005 гг.” № 3/99-НА от 17.02.1999. М., 1999.

¹² Радиационно-гигиенический паспорт территории г. Москвы за 2001 г. М., 2001.

вительно имеющееся количество радиационно-аварийных ситуаций в 5—10 раз превышает число уже найденных¹³.

Значительная часть выявленной радиационной аварийности связана с прошлой деятельностью, с уже прекращенным радиационно опасным производством. Сведения о такой деятельности подчас утрачены полностью или сохранились в ограниченном объеме¹⁴. Несоблюдение норм радиационной безопасности, как и нерешенность проблем упорядоченного обращения с промышленными отходами, приводят к образованию очагов радиоактивного загрязнения, что в свою очередь чревато очень серьезными последствиями для людей.

Все виды радиоактивного излучения опасны, так как они обладают свойством вырывать электроны с внешних орбит атомов, т.е. ионизировать их, что, в частности, явилось основанием называть радиоактивное излучение ионизирующим. Так, например, каждая α -частица, испускаемая плутонием-239, обладая очень высокой энергией, способна ионизировать до 100 000 молекул; β -частица, испускаемая стронцием-90, может ионизировать 6 300 молекул. Образующиеся в тканях ионы химически очень активны, что приводит к изменению свойств живой клетки, нарушению ее нормального функционирования.

В целом последствия облучения для здоровья людей можно разделить на две категории: нестохастические и стохастические эффекты¹⁵. Первые возникают в результате интенсивного кратковременного воздействия, являющегося следствием либо аварийной ситуации, либо ядерного взрыва, а вторые связаны с длительным облучением. Острые поражения, заключающиеся в разрушении клеток, в повреждении тканей органов, служат причиной быстрой гибели организма и обычно проявляются в течение короткого промежутка времени. Так, при поглощенной дозе 100 Гр смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы, при поглощенной дозе 10—50 Гр смерть наступает через одну-две недели вследствие внутренних кровоизлияний (главным образом в желудочно-кишечном тракте), при дозах 3—5 Гр в 50% случаев облученные умирают в течение одного-двух месяцев вследствие поражения клеток головного мозга¹⁶.

Если сильные дозы радиации приводят к гибели организма, то более слабые дозы (сублетальная доза — доза радиации, ниже уровня которой особи кажутся не пострадавшими) также нельзя считать без-

¹³ См.: Титаренко Ю.Е. Экспериментальное определение ядерно-физических параметров мишеней и бланкетов электроядерных установок. М., 2001. С. 37.

¹⁴ Отчеты о научно-технической деятельности МосНПО "Радон" за 1991—2001 гг.

¹⁵ См.: Ващекин П.П., Дзиев М.И., Урсул А.Д. Экономическая и социальная безопасность в России. М., 1999. С. 75.

¹⁶ См.: Возжеников А.В. Национальная безопасность: теория, политика, стратегия. М., 2000. С. 76.

вредными. Облучение такими сублетальными дозами ионизирующей радиации имеет следующие негативные последствия:

а) ослабляет облученный организм, уменьшает его жизнедеятельность (замедление роста, снижение сопротивляемости инфекциям и иммунитета организма);

б) влияет на демоэкологические характеристики популяции (снижение долголетия и присущего популяциям показателя естественного прироста из-за временной или полной стерилизации и т.д.);

в) поражает гены (происходят нежелательные или сублетальные мутации, которые проявляются лишь во втором или третьем поколении);

г) частично оказывает кумулятивное воздействие, вызывая необратимые эффекты¹⁷.

Наиболее серьезными из всех последствий длительного облучения человека при малых дозах являются рак и генетические заболевания. Симптомы этих заболеваний могут проявляться не сразу, иногда для этого нужны целые десятилетия. Кроме того, поздние симптомы трудно отличить от обычных болезней, вызванных старением организма. Ионизирующее излучение может вызвать рак молочной железы, щитовидной железы, лейкоз, рак легких, желудочно-кишечного тракта и костей. Эти болезни наблюдались у людей, подвергнувшихся облучению в Нагасаки и Хиросиме, у рабочих урановых рудников, у жителей районов с повышенным радиационным фоном.

Согласно имеющимся данным, первыми в группе раковых заболеваний, поражающих население в результате облучения, стоят лейкозы. Они вызывают смерть людей в среднем через 10 лет с момента облучения — гораздо раньше, чем другие виды раковых заболеваний. Согласно оценкам Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН), вероятность смерти от лейкоза от дозы в 1 Гр равна 0,002.

Самыми распространенными видами рака, вызванного действием радиации, являются рак молочной железы и рак щитовидной железы. При дозе в 1 Гр вероятности возникновения рака щитовидной железы и рака молочной железы оцениваются величиной 0,01. Однако обе разновидности рака в принципе излечимы, а смертность от рака щитовидной железы особенно низка: на 1 Гр облучения вероятность смерти от рака молочной железы равна 0,005, а вероятность смерти от рака щитовидной железы — 0,001.

Рак легких также принадлежит к наиболее распространенным разновидностям раковых заболеваний, полученных в результате радиоактивного облучения. Согласно текущим оценкам, вероятность смерти от рака легких на 1 Гр индивидуальной дозы облучения для возраст-

¹⁷ См.: *Ефимов К.М.* Экологическая стабильность как необходимое условие безопасного развития российского общества в XXI веке. М., 2004. С. 71.

ной группы старше 35 лет составляет 0,005 и 0,0025 в группе, состоящей из представителей всех возрастов¹⁸.

Однако все те формы рака, которые вызываются облучением, могут быть вызваны иными агентами, и заболевший человек обычно не может указать на облучение как на его причину. Для того чтобы с помощью статистических методов установить, связаны ли определенные формы рака с малыми уровнями облучения, потребовалось бы обследовать очень большое число людей — порядка сотен тысяч. Для получения достаточно надежной оценки риска заболевания человека раком необходимо, чтобы полученные в результате обследований данные удовлетворяли целому ряду условий. Эти условия включают в себя точное знание величины поглощенной дозы и проведение длительного регулярного обследования в течение десятилетий при наличии “контрольной” группы людей, сопоставимой во всех отношениях (кроме облучения) с группой лиц, за которой ведется наблюдение. Диагностика должна проводиться очень качественно, необходимо выявлять все случаи раковых заболеваний.

Изучение генетических последствий облучения связано с еще большими трудностями, чем в случае рака. Во-первых, очень мало известно о том, какие повреждения возникают в генетическом аппарате при облучении; во-вторых, полное выявление всех наследственных дефектов происходит лишь на протяжении многих поколений; и, в-третьих, как и в случае рака, эти дефекты невозможно отличить от тех, которые возникли по другим причинам.

Генетические нарушения, возникающие в результате радиационного облучения, можно отнести к двум основным типам: хромосомные аберрации, включающие изменения числа или структуры хромосом, и мутации в самих генах. Генные мутации подразделяются далее на доминантные (которые проявляются сразу в первом поколении) и рецессивные (которые могут проявиться лишь в том случае, если у обоих родителей мутантом является один и тот же ген; такие мутации могут не проявиться на протяжении многих поколений или не обнаружиться вообще). Оба типа аномалий могут привести к наследственным заболеваниям в последующих поколениях, а могут и не проявиться вообще¹⁹.

Оценки НКДАР ООН касаются лишь случаев тяжелой наследственной патологии. Эти оценки выражают тяжелые генетические последствия через такие параметры, как продолжительность жизни и период трудоспособности. Получены следующие приближенные оценки: хроническое облучение населения с мощностью дозы 1 Гр на поколение сокращает период трудоспособности на 50 000 лет, а продолжительность жизни — также на 50 000 лет на каждый миллион живых

¹⁸ См.: Турлак В.А. Социально-политические аспекты обеспечения радиационной безопасности. М., 2004. Т. 1. С. 65.

¹⁹ Там же. С. 67.

новорожденных среди детей первого облученного поколения; те же параметры при постоянном облучении многих поколений выходят на стационарный уровень: сокращение периода трудоспособности составит 340 000 лет, а сокращение продолжительности жизни — 286 000 лет на каждый миллион жизней новорожденных²⁰.

Таким образом, воздействие радиации приводит к тяжелым последствиям как для окружающей среды, так и для человека. Следовательно, защита окружающей среды от радиоактивного загрязнения — важная государственная задача, связанная не только с поддержанием оптимального баланса между темпами экономического роста и состоянием среды обитания, но и с проблемой выживания. Так, в “Основных положениях государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития”, утвержденных Указом Президента РФ от 4 февраля 1994 г., создание безопасных в радиозэкологическом отношении условий жизнедеятельности населения провозглашено одним из способов реализации конституционного права граждан на жизнь в благоприятной окружающей среде.

В связи с дальнейшим развитием атомной энергетики, использованием атомной энергии в мирных и оборонных целях, применением источников ионизирующего излучения в медицине, промышленности и других сферах деятельности обеспечение ядерной и радиационной безопасности становится важнейшей составляющей национальной безопасности государства. Одной из глобальных проблем, решить которую уже в самое ближайшее время необходимо не только России, но и всему мировому сообществу, является проблема безопасного обращения с радиоактивными отходами, особенно большие массы которых создают реакторы как гражданского, так и военного назначения.

Новые исследования открывают некоторые возможности для резкого сокращения радиоактивных отходов, образующихся на атомных станциях — это создание на основе “традиционного” деления ядер “нетрадиционных” по форме энергетических циклов “закрытого типа”. Первые опыты показывают, что реакторы нового поколения будут экологически более чистыми: почти в 1000 раз уменьшится количество отходов при “смене” топлива, будет практически отсутствовать проблема их захоронения. Но это — будущее атомной энергетики. Сегодня необходимо решать насущные проблемы. В ближайшие годы закончит срок своей службы первое поколение атомных станций. Но не только российские специалисты — никто в мире до сих пор не знает, что делать с высокоактивными отходами их деятельности. Уничтожить их пока нельзя, их можно только хранить. Они должны быть на десятки тысяч лет изолированы от окружающей среды, прежде чем станут безопасными. В настоящее время ни одно техническое решение этой проблемы не является оптимальным, а с развитием атомной

²⁰ Там же. С. 66.

энергетики количество радиоактивных отходов неуклонно растет, а вместе с ними возрастает и потенциальная радиационная опасность.

Если говорить об общемировых тенденциях, то существующие на земном шаре ядерные энергетические установки более чем в 30 странах ежегодно производят около 10 000 т облученного топлива, из которых только 3000 т перерабатывается. По оценкам МАГАТЭ, ежегодные объемы отработанного топлива АЭС будут непрерывно возрастать и достигнут в 2010 г. 12 000 т в год, общее количество отработавшего ядерного топлива к 2010 году составит 200 000 т²¹.

Перерабатывающие заводы в Великобритании, Франции, Японии и России к 2010 г. смогут переработать примерно 50 000 т отработанных ядерных отходов. Следовательно, к этому времени в мире будет подлежать переработке и хранению не менее 150 000 т отработавшего ядерного топлива, и это не считая требующего утилизации ядерного оружия.

В России только на базах ВМФ ежегодно образуется порядка 20 тыс. м³ жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Практика сброса ЖРО в морскую акваторию продолжалась до последнего времени. Наибольшую потенциальную радиоэкологическую опасность представляют сброшенные в мелководных заливах архипелага Новая Земля в Карском море ПЛА и экранная сборка атомного ледокола "Ленин" с невыгруженным ядерным топливом.

Серьезная опасность состоит и в проникновении радиоактивности в экосистему Мирового океана. Так, металлические контейнеры, используемые ВМФ для затопления радиоактивных отходов, разрушаются в морской среде через 10 лет, бетонированные — через 30 лет. Скорость коррозии может значительно увеличиваться, поскольку затопленные объекты состоят из сплавов разных металлов, которые в солевом растворе морской воды подвержены электролитическим реакциям. Не исключено, что часть из 12 тыс. затопленных с радиоактивными отходами контейнеров уже разъедены активной морской средой. Но бывало и хуже. Низко- и среднеактивные радиоактивные отходы, каковых большинство, затоплялись не только в металлических контейнерах, но и в старых (специально выделенных для этих целей) судах типа барж, лихтеров, танкеров. В связи с отсутствием специальной защиты контейнеры часто не тонули. В выловленных контейнерах прорезали дыры или расстреливали для ускорения затопления, что сразу же начинало приводить к выводу радионуклидов в морскую воду. В целом суммарная активность отходов, сброшенных и захороненных бывшим СССР в морях, омывающих территорию России, по разным оценкам составляет от 325 000 кюри до 2 500 000 кюри, что играет немалую роль в загрязнении вод Мирового океана²².

²¹ См.: *Ефимов К.М.* Указ. соч. С. 72.

²² Там же. С. 76.

Найти конструктивные пути уменьшения и ликвидации радиационного загрязнения природной среды и связанных с ним аномалий, сформулировать подходы к научно обоснованной оценке влияния всех факторов риска, характерных для отраслей, использующих в технологических процессах радиоизотопные материалы, сконструировать механизмы обеспечения радиационной безопасности позволяют принципы обеспечения радиоэкологической безопасности и обращения с радиоактивными отходами.

Прежде всего следует обозначить мировые принципы по обращению с радиоактивными отходами (РАО) как неотъемлемого элемента системы обеспечения радиационной безопасности населения:

- приоритет охраны жизни и здоровья человека, окружающей среды от вредного воздействия радиоактивных отходов;
- участие граждан и общественных объединений в решении проблем обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами;
- гласность в области обращения с радиоактивными отходами;
- использование опыта и рекомендаций международных организаций в области обращения с радиоактивными отходами.

Анализ зарубежной практики обеспечения радиоэкологической безопасности позволяет выделить следующие принципы:

- принцип превентивности действий: предотвратить возникновение радиоэкологических проблем легче, чем принимать меры для устранения их последствий;
- необходимость учета возможных последствий для окружающей среды на самых ранних стадиях процесса принятия решений;
- принцип “платит тот, кто загрязняет”: расходы на предотвращение и устранение неблагоприятных воздействий на среду должны относиться за счет ответственных за загрязнение, хотя возможны и некоторые исключения для “переходных периодов”;
- деятельность одного государства не должна приводить к ухудшению состояния окружающей среды на территории другого.

В большинстве стран принят принцип материальной (финансовой) ответственности производителей радиоактивных отходов за безопасность на всех этапах обращения с ними до захоронения.

В России в соответствии с Федеральным законом “О радиационной безопасности населения” от 09.01.1996 г. основными принципами обеспечения радиационной безопасности являются:

- 1) принцип нормирования: непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;
- 2) принцип обоснования: запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск воз-

можного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;

3) 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 ионизирующего излучения.

Однако, несмотря на то что в целом масштабы и динамика процесса нормотворчества в области обеспечения радиационной безопасности Российской Федерации очевидны, анализ показывает, что даже основополагающие требования действующего законодательства в этой области на практике не соблюдаются, принятые целевые программы в предусмотренных объемах не выполняются.

В этих условиях первостепенное значение приобретает создание эффективного организационного механизма реализации законодательства в области обеспечения радиационной безопасности населения России и неотвратимости наступления ответственности за его нарушение, без чего невозможно оздоровление радиационной обстановки на региональном и национальном уровне.

Речь идет не только о трансформации существующих систем радиационной защиты и о формировании в России новых служб радиоэкологической безопасности, проведении всесторонней экспертизы процесса функционирования региональных схем радиационной защиты. Необходимо развитие “культуры радиационной безопасности”, т.е. безупречного, с точки зрения экологии, использования ядерной энергии, утилизации и хранения радиоактивных отходов.

Культура радиационной безопасности предполагает формирование в массовом сознании поведенческих стереотипов, основанных на понимании необходимости предельной минимизации возможного ущерба от использования “мирного атома”, убежденность в том, что нулевого риска не бывает, но бывает риск оправданный, глубоко продуманный, тщательно проанализированный на основе новейших научных данных.

Культура радиоэкологической безопасности — это установление в стране, в отраслях экономики, имеющих дело с радиоактивными материалами, таких экономических, юридических и моральных порядков, которые бы работали на обеспечение безопасности, а не против нее. Эти порядки должны базироваться на новой морали новой философии постиндустриального общества, в котором отражаются следующие положения экологической безопасности.

Первое положение — о безусловном примате безопасности как важнейшего элемента качества жизни и социального развития. Поскольку все большая часть населения принимает систему социальных ценностей, предполагающую безусловный приоритет здоровья человека и сохранения среды обитания над любыми другими элементами

качества жизни, возникает проблема гарантий этого предпочтения людей цивилизованными государствами.

Второе положение — о приемлемом риске. Оно призвано определить нижний допустимый предел радиационной безопасности и верхний предел риска на основании межотраслевых и внутриотраслевых сравнений. Корректность подобных сопоставлений чаще всего вызывает сомнение, и поэтому при практическом использовании они требуют многократного “запаса прочности”. Например, предлагается, чтобы риск новой технологии был по крайней мере в 10 раз меньше риска действующих.

Третье положение — о минимальной опасности. Любые затраты на защиту человека оправданны: должны быть внедрены и постоянно совершенствоваться все технически доступные меры защиты, которые практически осуществимы; уровень опасности устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо. Это положение в наибольшей мере способствует утверждению приоритета безопасности среди других жизненных благ.

Четвертое положение — о несоизмеримости экономического и социального эффекта и безусловном приоритете последнего. Чрезвычайные ситуации не только приводят к экономическим потерям, но и вызывают человеческие жертвы, причиняют ущерб здоровью людей. Оценить величину социальных потерь трудно, потому что последствия чрезвычайных ситуаций носят, как правило, долговременный характер.

Безопасность — не единственное жизненное благо. Каждый человек в отдельности за определенную компенсацию может согласиться на работу с вредными или опасными условиями труда или на жизнь в нездоровом климате. Он обменивает свой индивидуальный риск на какие-то иные блага, которые по его шкале социальных ценностей имеют более высокие приоритеты. Но подобные решения недопустимы, если речь идет не об индивидуальном, а о коллективном риске, распространяющемся на миллионы ничего не подозревающих граждан.

Пятое положение основано на поиске компромисса между поколениями. В его основе лежит представление о том, что безопасность наших детей и внуков дороже нынешних благ. Эффективность затрат на техногенную и природную безопасность должна быть тем выше, чем в большей мере эти расходы направлены на защиту интересов будущих поколений. Поэтому в соответствии с положением о компромиссе между поколениями — чем отдаленней ущерб от радиации, тем выше его социальная значимость.

Вот почему для обоснования политических и управленческих решений в области использования атомной энергии целесообразно следовать положениям о несоизмеримости экономического и социального эффектов, минимального риска, безусловного примата безопасности и последовательного ее приближения к абсолютному уровню.