

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

В работе представлен комплексный анализ радиационной нагрузки на население Свердловской области от природных и медицинских источников ионизирующего излучения, а также от последствий радиоактивного загрязнения территории искусственными и природными радионуклидами. Проведено сопоставление значений радиационных рисков и ожидаемого сокращения продолжительности жизни для населения, подвергшегося ранее и подвергающегося в настоящее время радиационному воздействию. Показано, что радиационные риски вследствие последствий радиационного загрязнения территории Свердловской области сопоставимы с рисками, обусловленными медицинским облучением и облучением радоном в сельских домах, расположенных на радоноопасных территориях. Также показано, что радиационные риски не являются доминирующими даже для территорий, подвергшихся значительному радиоактивному загрязнению.

Введение

Создание ядерной энергетики, равно как и ядерного оружейного комплекса породило не только разработку уникальных технологий и развитие новых отраслей промышленности. Это привело к возникновению целого ряда технических, экологических, медицинских, социальных и экономических проблем, обусловленных радиационным воздействием данных предприятий на окружающую среду и население регионов. Зачастую работа предприятий ядерной индустрии, особенно в первые годы их становления, сопровождалась значительными как штатными, более или менее контролируруемыми, так и аварийными выбросами радиоактивных веществ в атмосферу и их сбросами в открытую гидрологическую сеть.

Недостаточное понимание всех потенциальных последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды, незнание закономерностей миграции и накопления радионуклидов в биосфере, несовершенство методик измерений и, что немаловажно, жесткий режим секретности привели к тому, что сейчас зачастую уже невозможно получить полную объективную информацию по исходным уровням радиационного воздействия как на природные биологические объекты, так и на население. Это обусловлено как изначальным отсутствием необходимой системы радиационного мониторинга, так и утратой ряда первичных материалов, касающихся радиационной обстановки вокруг ядерных объектов.

С другой стороны, далеко не во всех регионах имеются достаточно подготовленные научные кадры, способные целенаправленно и полно проанализировать весь комплекс возникающих проблем в их взаимосвязи не только с первичным техногенным источником облучения, но и со всеми факторами радиационной и нерадиационной природы, требующих учета. Последствиями недостаточно квалифицированного подхода к решению проблем радиационного воздействия на население могут быть неправильные административные и экономические решения, нагнетание в регионе радиофобии и анти-ядерных настроений, игнорирование роли основных источников как радиационного, так и нерадиационного риска, а также многое другое.

В последнее время в осознании необходимости комплексного подхода к анализу экологических рисков (и, в том числе, радиационного) произошли существенные позитивные изменения. Принятие федерального закона Российской Федерации "О радиационной безопасности населения" определило на законодательном уровне круг лиц и органов управления, ответственных за состояние обеспечения радиационной безопасности предприятий, отдельных территорий и населения в целом. В плане реализации федерального закона "О радиационной безопасности населения" были созданы творческие коллективы профессионалов, которые разработали комплекс подзаконных актов, направленных на обеспечение его исполнения. Наиболее важными из них являются Нормы радиационной безопасности - 96 (НРБ-96) и проект Основных санитарных правил по обеспечению радиационной безопасности (ОСПОРБ). Кроме того, постановлением Правительства Российской Федерации № 93 от 29.01.97 "О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий" с 1998 года вводится радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий. Порядок заполнения и ведения радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий определен Методическими указаниями Департамента Госсанэпиднадзора РФ МУ-177-112 от 30.12.97.

Ведение радиационно-гигиенических паспортов территорий подразумевает комплексный подход к оценке радиационного воздействия на население. Это позволяет решить задачу первого этапа работ по оценке риска для населения, но не дает перехода к значениям радиационного риска, ущерба здоровью населения и экономического ущерба. В целом, санитарно-гигиенический паспорт территории – сугубо статистический документ, не позволяющий непосредственно реализовывать на его основе комплексные административные и управленческие решения, направленные на уменьшение или компенсацию рисков, связанных с радиационным воздействием на население.

1. Характеристики научных направлений, посвященных радиационным проблемам

Перечень научных дисциплин, занимающихся радиационной проблематикой, достаточно обширен. Однако одним из основных лимитирующих факторов, связанным с их эффективным применением, является то, что многие специалисты – профессионалы высокого класса в своей области, имеют достаточно слабое представление о смежных дисциплинах. Так, например, радиоэкологи не всегда могут найти общий язык со специалистами по радиационным технологиям, медики с дозиметристами, радиохимики со специалистами в области радиационной защиты. Слабое взаимодействие профессионалов в области радиационных проблем между собой и, как следствие, слабое развитие комплексного подхода к обеспечению радиационной (и не только радиационной) безопасности населения породило комплекс проблем, с которым приходится сталкиваться специалистам и административным органам на Урале, в Сибири, зонах, попавших под воздействие аварии на Чернобыльской АЭС или испытаний ядерного оружия и т.д.

Свое отрицательное влияние оказал и тот факт, что в последнее время практически прекратился перевод на русский язык столь авторитетных и профессиональных изданий как Публикации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Одной из последних Публикаций МКРЗ, в плановом порядке выпущенной в нашей стране на русском языке была знаменитая Публикация 60 МКРЗ [1,2], заложившая новые концептуальные основы обеспечения радиационной защиты человека. Вышедшие после этого переводы Публикаций МКРЗ 65 и 75 [3,4] издавались в инициативном порядке, посвящены достаточно конкретным вопросам и не позволяют всесторонне оценить все аспекты проблем радиационного воздействия на человека. Кроме того, при переводе Публикации 60 МКРЗ наиболее часто используемый термин "*radiological protection*" – "радиологическая защита" был заменен более привычным в отечественной практике понятием "радиационная безопасность". По нашему глубокому убеждению это является не только недостаточно корректной заменой технического термина, но и по своей сути отражает смещение этих двух понятий в принятом в нашей стране подходе к оценке деятельности радиационно-опасных предприятий и объектов.

Согласно принятой МКРЗ систематизации [1-4] облучение населения и персонала при проведении практической деятельности, связанной с источниками ионизирующего излучения может быть разделено на две категории: нормальное (или рутинное) облучение и потенциальное облучение. Первое – это то, возникновение которого можно было разумно ожидать. Оно включает в себя облучение от проводимых операций, как запланированных, так и тех, что возникают вследствие незапланированных событий с незначительными последствиями, т.е. мелких неполадок. Потенциальное облучение определяется как непреднамеренное облучение, для которого имеется вероятность, но нет уверенности в его возникновении. Оно может быть предусмотрено заранее, и вероятность его возникновения рассчитана, однако оно не может быть предсказано в деталях. Такая дисциплина, как "радиологическая защита" (*radiological protection*) в основном имеет дело с ограничением доз облучения при нормальном, ожидаемом облучении от источников излучения, в то время как "радиационная безопасность" (*radiation safety*) в основном имеет дело с уменьшением потенциального облучения при авариях. В более широком смысле радиологическая защита также занимается проблемами воздействия естественных источников излучения, радиационного воздействия от последствий прошлой практической деятельности (загрязнение территорий в результате аварий, прекращенной технологической деятельности предприятий и т.д.). Хотя эти две дисциплины зачастую воспринимались как отдельные и полностью различные, они, на самом деле, являются взаимно дополняющими. Они представляют две стороны непрерывного режима управления, который должен предусматривать все ситуации, связанные с облучением, т.е. нормальное и потенциальное облучение при всех видах практической деятельности.

Такое разграничение дисциплин позволяет более четко адресовать вопросы, связанные с различными сторонами деятельности предприятий атомной промышленности, конкретным специалистам. С другой стороны, появляется возможность более четкого понимания к какой дисциплине следует отнести различные аспекты деятельности тех или иных узких специалистов (технологов, метрологов, медиков, радиоэкологов и т.д.) с тем, чтобы отдача от результатов работы была максимальной.

Данная работа посвящена попытке продемонстрировать комплексный подход к оценке проблемы радиологической защиты населения на примере Свердловской области.

2. Краткая характеристика региона

Свердловская область, как и весь Уральский регион в целом, является территорией для которой оценка радиационной обстановки и оценка влияния этой обстановки на здоровье населения является особенно актуальной. Причин этому несколько.

Во-первых, регион насыщен предприятиями атомной промышленности и энергетики: Белоярская АЭС, ПО "Маяк" (г. Озерск), Уральский электрохимический комбинат (г. Новоуральск), комбинат "Электрохимприбор" (г. Лесной), на территории региона в Свердловской и Челябинской областях находятся пункты временного хранения радиоактивных материалов и пункты захоронения радиоактив-

ных отходов (ПЗРО «Радон»), а также пункт временного хранения монацитового сырья (предприятие "Уралмонацит") [5,6].

Во-вторых, территория Уральского региона неоднократно подвергалась радиоактивному загрязнению в результате как штатной деятельности ПО "Маяк" (сброс жидких радиоактивных отходов в р. Теча и газо-аэрозольные выбросы предприятия), так и возникавших на предприятии аварийных ситуаций (взрыв емкости с радиоактивными отходами в 1957 г. и ветровой разнос радиоактивных отложений с берегов озера Карачай в 1967 г.) [7-9]. Менее масштабное, но достаточно серьезное с точки зрения радиационного воздействия на население радиоактивное загрязнение имело место в пос. Озерный и Костоусово, где жилые здания и территория населенных пунктов были загрязнены в результате несанкционированного использования торийсодержащих отходов обогащения монацитового песка [10-13].

В-третьих, вся территория Уральского региона относится к зонам повышенной потенциальной опасности от воздействия природных радионуклидов и, в первую очередь, радона [12-18].

Для целей сравнительного анализа дополнительно изучались нерадиационные источники риска, характерные для населения Свердловской области.

3. Общий подход к проблеме риска для населения

Общий подход к решению проблем риска любого происхождения может быть представлен в виде трех последовательных этапов (рис. 1).

На первом этапе - оценка воздействия, производится научный анализ всей первичной информации по неблагоприятным факторам, воздействовавшим ранее или воздействующим на население рассматриваемого региона в настоящее время. Для решения данной задачи могут потребоваться как подробные текущие исследования, так и серьезный анализ имеющихся, и зачастую недостаточно подробных и полных, архивных материалов. Если рассматривать оценку радиационного воздействия на население, то по завершении первого этапа должна быть получена исчерпывающая информация по дозам облучения, поступлению радионуклидов в организм, распределению облучения во времени, для всех основных групп населения с учетом их возраста, места проживания, профессиональной деятельности и т.д.

Оценка доз облучения или поступления радионуклидов в организм человека является важной, но еще не окончательной информацией. Одна и та же доза облучения в зависимости от ситуации (например от возраста на момент облучения, ожидаемой общей продолжительности жизни и т.д.) может привести к заметно отличающимся значениям радиационного риска. Корректная оценка радиационных рисков производится на втором этапе работ. При этом необходимо учитывать возраст, в котором происходило облучение, характер облучения (мгновенное или пролонгированное), демографическую ситуацию конкретного региона, характерную для региона частоту онкологических заболеваний различной локализации и многое другое [2,19]. В результате выполнения второго этапа получают численные значения пожизненной вероятности возникновения радиационно-обусловленного онкологического заболевания или смерти в результате его возникновения, а также значения ожидаемой возраст-специфической дополнительной частоты онкозаболеваний, связанных с радиационным воздействием.

Данные, полученные на втором этапе работ, посвященных проблемам риска, уже позволяют сделать некоторые сопоставительные оценки различных источников облучения. Однако эти оценки, как правило, непригодны для принятия реальных административных решений, которые должны проводиться на третьем этапе. Поэтому от полученных на втором этапе вероятностных значений риска необходимо перейти к величинам, позволяющим сделать экономические оценки радиационного ущерба здоровью населения. После этого, на основании сопоставления оценок экономического ущерба от источников радиационного воздействия, а также от других, нерадиационных факторов, воздействующих на население, можно произвести ранжирование всех причин, влияющих на уровень жизни населения региона и выработать стратегию действий по ее улучшению.

4. Оценка радиационного воздействия от природных источников ионизирующего излучения

Цикл работ по оценке облучения населения Свердловской области от природных источников излучения был выполнен сотрудниками радиационной лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН совместно с сотрудниками и студентами кафедры экспериментальной физики Уральского государственного технического университета. Практически все работы выполнялись в рамках Программы "Радон" Свердловской области [21-24].



Рис.1. Основные этапы при решении проблемы рисков для населения

Под природным облучением мы будем в первую очередь понимать внутреннее облучение от природных радионуклидов, содержащихся в организме человека, внешнее облучение за счет космического излучения и излучения природных радионуклидов на открытой местности и жилище человека, внутреннее облучение за счет ингаляции дочерних продуктов распада радона и торона [6].

Дозы внутреннего облучения от содержащихся в организме человека радионуклидов (в первую очередь ^{40}K и ^{210}Pb и ^{210}Po) практически одинаковы для всех людей и составляют в сумме 0,32 мЗв/год. Дозы внешнего гамма-облучения населения складываются из доз, полученных внутри помещений и доз излучения, полученных на открытой местности. При этом доминирует облучение в жилищах, а также в других помещениях, где население проводит максимальное время.

Предварительные данные по обследованию жилого фонда и общественных зданий в Свердловской области показали, что мощность экспозиционной дозы гамма-излучения составляет $13,1 \pm 3,6$ мкР/ч. Эти результаты, в принципе, нуждаются в дальнейшем уточнении, но в целом могут быть приняты для первоначальной оценки. По данным Уральского управления гидрометслужбы средняя мощность дозы гамма-излучения на открытой местности в Свердловской области составляет 7-13 мкР/ч со средним значением около 10 мкР/ч. Используя значение 8000 ч/год для оценки времени пребывания в помещении (как в жилищах, так и на рабочих местах) и 760 ч/год для времени пребывания вне помещений можно получить, что суммарная годовая эффективная доза облучения составит 0,77 мЗв/год. При расчетах был использован рекомендованный Публикацией 51 МКРЗ [20] переходный коэффициент между экспозиционной дозой и эффективной дозой, равный $0,69 \cdot 10^{-2} \text{ Зв} \cdot \text{Р}^{-1}$.

Для оценки облучения населения Свердловской области за счет радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) проводились измерения как объемной активности ^{222}Rn и его дочерних продуктов распада, так и измерения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) ^{220}Rn (торона). Для уменьшения влияния суточных вариаций объемной активности радона на результаты исследований, объемную активность радона измеряли при помощи интегральных трековых детекторов. Инспекционные измерения ЭРОА радона и торона выполнялись по методу Маркова-Терентьева [15].

В программу обследований вошли 80 населенных пунктов. Общее количество обследованных объектов превысило 2500. В населенных пунктах, где измерения проводились в жилых помещениях, проживает около 2 миллионов человек, что составляет 43 % населения Свердловской области.

В силу целого ряда обстоятельств экономического или организационного плана далеко не всегда представляется возможность проведения полносезонных измерений объемной активности радона в обследуемых помещениях. Поэтому некоторая часть измерений была представлена измерениями, выполненными либо в летний, либо в зимний сезон. В этом случае для корректной оценки среднегодовых значений объемной активности радона использовали так называемые сезонные коэффициенты, связывающие между собой средние значения объемной активности радона в летний и зимний сезоны. Проведенные измерения, результаты математического моделирования процессов накопления радона в помещениях [25] и анализ литературных данных [26] показывают, что этот коэффициент не является постоянной величиной. Наиболее точно связь зимних C_W и летних C_S значений объемной активности радона может быть описана линейной регрессией типа

$$C_S = A \cdot C_W + B. \quad (1)$$

Параметры регрессии для различных типов зданий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры регрессии, описывающие соотношения между зимними и летними значениями объемной активности радона

Выборка	A	B	Коэффициент корреляции
Городские квартиры	$0,21 \pm 0,24$	13 ± 7	0,35 (P=0,08)
Сельские дома	$0,48 \pm 0,13$	28 ± 16	0,73 (P<0,05)
Детские учреждения	$0,55 \pm 0,16$	20 ± 15	0,63 (P<0,05)

Из приведенных в табл. 1 результатов видно, что возможны ситуации, когда объемная активность радона в летний период будет выше, чем в зимний. Эти экспериментальные данные подтверждаются и теоретическими моделями [25,26]. Оценка годовых средних значений объемной активности радона по результатам измерений, выполненных либо в зимний, либо в летний сезон была проведена с использованием указанного подхода. Этот подход, как правило, малоприменим для прогноза значений объемной активности радона в каждом конкретном здании, но дает вполне приемлемые результаты для достаточно большой выборки помещений.

Для оценки дозовых нагрузок от радона необходимо иметь информацию не столько по объемной активности радона, сколько по его эквивалентной равновесной объемной активности ЭРОА, связанной с объемной активностью при помощи коэффициента равновесия F . В Публикации 65 МКРЗ [3] рекомендовано использовать значение коэффициента равновесия $F=0,4$. В отечественной практике для перехода от объемной активности радона к ЭРОА используется значение $F=0,5$. В принципе для от-

дельных групп помещений, географических регионов и определенного времени года средние значения коэффициента равновесия могут отличаться от указанных величин. Однако корректное их определение сталкивается с определенными техническими сложностями. Во-первых, для классического измерения коэффициента равновесия необходимо одновременно измерять как объемную активность, так и ЭРОА радона, что, как правило, возможно при использовании двух приборов. Во-вторых, для определения с приемлемой точностью величины F неисключенная систематическая погрешность средств измерения не должна превышать 10-15%. Этим требованиям соответствуют только образцовые приборы, в большинстве случаев отсутствующие у рядового пользователя.

В связи с этим нами была разработана методика оценки значений коэффициента равновесия по результатам измерений ЭРОА радона, выполненных аспирационными методами [15,16]. Использование аспирационных методик позволяет исключить ряд систематических погрешностей (скорость прокачки воздуха, эффективность регистрации детектора, эффективность фильтра и т.д.), так как они одинаково влияют на все производимые замеры. Поскольку для расчета коэффициента равновесия F используется отношение двух замеров, то влияние этих систематических погрешностей устраняется.

В качестве основного метода для определения коэффициента равновесия F нами выбран метод Маркова-Терентьева. Для наиболее типичных в жилых помещениях диапазонов кратности вентиляции рассчитаны ожидаемые значения сдвига равновесия между отдельными ДПР радона и газообразным ^{222}Rn . Было получено, что средний сдвиг равновесия между ^{218}Po (RaA) и радоном составляет 0,842.

При изменении параметров атмосферы в зданиях в пределах типичного диапазона, отклонение сдвига равновесия C_1/C_0 (RaA/Rn) от среднего значения не превышает 10%. Это дает возможность оценивать величину коэффициента равновесия F по отношению $C_{\text{экв}}^{\text{Rn}} / C_1$ с учетом соответствующей поправки.

Дополнительную систематическую погрешность определения коэффициента равновесия вносит наличие в атмосфере дочерних продуктов распада торона. Учет их влияния был сделан путем подбора поправочной функции, зависящей от соотношения между $C_{\text{экв}}^{\text{Rn}}$ и $C_{\text{экв}}^{\text{Tn}}$. В результате получено следующее выражение для коэффициента равновесия

$$F = \frac{0,842 \cdot C_{\text{экв}}^{\text{Rn}}}{1,09 \cdot C_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - 0,180 \cdot \frac{C_{\text{экв}}^{\text{Tn}}}{C_{\text{экв}}^{\text{Rn}}}}}, \quad (2)$$

где величины C_1 , $C_{\text{экв}}^{\text{Rn}}$ и $C_{\text{экв}}^{\text{Tn}}$ (Бк/м³) рассчитываются по методу Маркова-Терентьева [15,27].

Далее была исследована зависимость коэффициента равновесия от величины ЭРОА радона. Для этого весь массив экспериментальных данных был отсортирован по значениям ЭРОА и разбит на 10 равных по объему групп (76 значений в каждой). В каждой группе были рассчитаны средние значения коэффициента равновесия и стандартные отклонения. Стандартное отклонение по всем группам лежит вблизи значения 0,25. Полученная зависимость моделируется возрастающей логарифмической функцией

$$F = 0,07 \ln(C_{\text{экв}}^{\text{Rn}}) + 0,3. \quad (3)$$

Наблюдаемая корреляционная зависимость между ЭРОА радона и коэффициентом равновесия объясняется тем, что обе величины возрастают при уменьшении кратности вентиляции в помещении. Поэтому в помещениях с повышенными значениями ЭРОА радона с большей вероятностью наблюдается увеличение значения F .

На основе анализа наших данных и расчетов можно утверждать, что характерная величина коэффициента равновесия радона в жилищах для условий Уральского региона варьируется в пределах от 0,3 до 0,8. Когда требуется по результатам натурных измерений газообразного радона судить об активности дочерних продуктов следует использовать значение коэффициента равновесия не меньшее, чем 0,5. Использование рекомендованной Публикацией 65 МКРЗ величины $F=0,4$ может привести к заниженной оценке ЭРОА радона. Более высокое значение коэффициента равновесия для северных широт и стран с холодным климатом (к которым следует отнести Средний Урал) по сравнению со странами с умеренным климатом следует также из современных представлений о процессах поступления и накопления радона в помещениях.

При переходе от средних значений объемной активности радона к средним значениям ЭРОА радона мы использовали выявленную зависимость коэффициента равновесия от уровня накопления радона. При объемной активности радона менее 100 Бк/м³ коэффициент равновесия принимался $F=0,5$, в диапазоне от 100 до 250 Бк/м³ использовалось значение $F = 0,6$, а при объемной активности радона выше 250 Бк/м³ - 0,7.

Кроме того, для корректной оценки дозовых нагрузок на население в целом по результатам ограниченного количества исследований пришлось провести специальную статистическую обработку полученных данных. Как известно, распределение значений ЭРОА радона и торона подчиняется логнормальному закону. Для выборок, сформированных с учетом различных типов зданий, были рассчитаны параметры логнормального распределения: среднее геометрическое и сигма-параметр, σ_{LN} . Известный вид распределения и его параметры позволяют прогнозировать долю помещений, в которых ЭРОА радона превысит определенные референсные уровни. В качестве референсных в данном представлении выбраны величины 100 и 200 Бк/м³ ЭРОА радона, 10 и 20 Бк/м³ ЭРОА торона.

Уровни накопления радона в помещениях, наряду с типом здания, определяются таким важным фактором, как георадиохимические и геолого-геофизические характеристики территории. Поэтому полученные данные по величинам ЭРОА радона в воздухе помещений были разделены в соответствии с комплексом таких признаков. Источником соответствующей информации послужила карта районирования Среднего и Южного Урала по относительным уровням радоновыделения, охватывающая большую часть обследованной территории [28]. Населенные пункты были отнесены к трем типам территорий: с высоким, средним и низким потенциалом радоноопасности. Результаты расчетов средних величин и параметров распределения для полученных таким образом выборок представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние величины и параметры логнормального распределения ЭРОА радона по типам зданий и зонам потенциальной радоноопасности.

Тип здания	Среднее арифметическое, Бк/м ³	Среднее геометрическое, Бк/м ³	σ_{LN}	Доля зданий с ЭРОА $R_n > 100$ Бк/м ³	Доля зданий с ЭРОА $R_n > 200$ Бк/м ³
Зона высокой радоноопасности					
Городские	29	18	1,0	4,3%	0,81%
Сельские	75	38	1,3	22%	9,5%
Детские учреждения	40	27	1,1	11%	2,9%
Зона средней радоноопасности					
Городские	21	8,0	1,4	3,0%	0,84%
Сельские	55	24	1,4	16%	7,0%
Детские учреждения	28	18	0,99	4,3%	0,77%
Зона относительно низкой радоноопасности					
Городские	11	5,8	1,1	0,6%	0,09%
Сельские	36	20	1,1	6,7%	1,6%
Детские учреждения	17	11	0,99	1,2%	0,15%

Настоящая таблица показывает, что средние уровни ЭРОА радона в зданиях различного типа соответствуют проведенному геофизическому ранжированию территории Среднего Урала по потенциалу радоноопасности.

Данные по параметрам распределения ЭРОА торона в Свердловской области для зданий различного типа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры логнормального распределения ЭРОА торона в Свердловской области для зданий различного типа

Тип здания	Среднее арифметическое, Бк/м ³	Среднее геометрическое, Бк/м ³	σ_{LN}	Доля зданий с ЭРОА $T_n > 10$ Бк/м ³	Доля зданий с ЭРОА $T_n > 20$ Бк/м ³
Городские	1,5	0,47	1,5	2,1%	0,63%
Сельские	2,8	1,5	1,1	4,7%	1,1%
Детские учреждения	2,3	0,71	1,5	4,2%	1,5%

Российские НРБ-96 требуют оценивать облучение населения ДПР радона по величине ЭРОА двух изотопов радона, которая является расчетной величиной и определяется из соотношения

$$A_{Rn} = \text{ЭРОА}_{Rn} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{Tn} \quad (4)$$

Распределение ЭРОА изотопов радона также близко к логнормальному закону. Результаты расчета средних величин и параметров распределения ЭРОА изотопов радона представлены в табл. 4.

Таблица 4

Средние величины и параметры логнормального распределения ЭРОА изотопов радона

Выборка	Средн. арифм.	Средн. гео- метр.	σ_{LN}	Доля зданий с A_{Rn} больше 100 Бк/м ³	Доля зданий с A_{Rn} больше 200 Бк/м ³
Городские	23	13	1,0	2,5%	0,44%
Сельские	69	39	1,1	20%	6,7%
Детские учреждения	44	28	0,94	8,7%	1,8%

Для оценки средневзвешенных величин ЭРОА радона, торона и ЭРОА изотопов радона в жилищах Свердловской области использовались средние величины ЭРОА, полученные для двух групп жилых зданий, и статистические данные о жилищных условиях населения Свердловской области. На основании данных о распределении домохозяйств по типам жилья было получено, что весовой множитель для городских жилищ составляет 0,815, а для сельских домов 0,185. Взвешенное значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона для жилищ в Свердловской области составило 31 Бк/м³, ЭРОА радона 25 Бк/м³, ЭРОА торона 1,7 Бк/м³. Для перехода от среднегодового значения ЭРОА изотопов радона к годовой эффективной дозе, в предположении, что человек находится в жилище в течение 7000 ч/год, используется переходный коэффициент $4,3 \cdot 10^{-5}$ (Зв/год)/(Бк/м³) [3]. Таким образом, среднегодовая доза от воздействия изотопов радона и их ДПР для жителей Свердловской области составляет 1,3 мЗв/год.

Полученная величина средней для Свердловской области ЭРОА радона в 1,6 раза превышает соответствующую среднемировую величину (16 Бк/м³). Важной отличительной особенностью облучения населения Свердловской области является то, что средневзвешенное значение среднегодовой ЭРОА торона превышает среднемировое значение (0,3 Бк/м³) в 5,7 раза.

Известная форма и параметры распределения позволяют оценить долю домохозяйств, в которых ЭРОА изотопов радона превышает нормируемые значения, а также значения годовых эффективных доз:

- в 5,2% случаев A_{Rn} превышает 100 Бк/м³, ($E_{эфф} > 4,3$ мЗв/год)
- в 1,1% случаев A_{Rn} превышает 200 Бк/м³, ($E_{эфф} > 8,6$ мЗв/год)

Таким образом, почти в 20 тысячах жилищ Свердловской области, в которых проживает более 50 тысяч человек, ЭРОА изотопов радона превышает российский национальный норматив – 200 Бк/м³. Величина 100 Бк/м³, превышает почти в 90 тысячах домохозяйств.

5. Оценка радиационных нагрузок на население вследствие деятельности производственного объединения “Маяк”

Следующей серьезной проблемой для Уральского региона является оценка последствий радиационных аварий, произошедших на ПО “Маяк”, а также его штатной деятельности. Особое внимание уделялось последствиям аварии 1957 года, приведшей к образованию Восточно-Уральского радиоактивного следа [7-9].

С самого начала работ ретроспективное определение дозовых нагрузок на пострадавшее население столкнулось с рядом сложностей. Во-первых, практически полностью отсутствовали данные радиохимического анализа содержания радионуклидов в продуктах питания в первые 5 лет после аварии. Такие радиохимические методики появились в Свердловской области только в 1962 г. Во-вторых, большие трудности имелись в определении фактических текущих и прошлых уровней загрязнения территории региона радионуклидами, что потребовало объединения усилий различных групп специалистов для создания Государственной карты радиоактивного загрязнения Уральского региона радионуклидом ⁹⁰Sr.

Основной задачей расчета на первом этапе являлась оценка эффективных доз облучения от выпавших вместе со ⁹⁰Sr продуктами деления ¹⁴⁴Ce+ ¹⁴⁴Pr, ¹⁴⁴Zr+ ¹⁴⁴Nb, ¹⁰⁶Ru+ ¹⁰⁶Rh. Расчет накопленных доз населением Свердловской области производился либо путем анализа архивных данных по загрязнению территорий и продуктов питания радионуклидами [7,8] либо по Методике “Реконструкция накопленной дозы у жителей бассейна р.Теча и зоны аварии в 1957 г. на производственном объединении “Маяк”.” Методические указания МУ 2.6.1.024-95, М.: Госкомсанэпиднадзор России. 1995 [9]. Для расчета был выбран опубликованный в Методике состав выброса: ⁹⁰Sr+⁹⁰Y - 5,4%, ¹⁴⁴Zr+ ¹⁴⁴Nb - 24,9%, ¹⁴⁴Ce+ ¹⁴⁴Pr - 66%, ¹⁰⁶Ru+ ¹⁰⁶Rh - 3,7%, ¹³⁷Cs - 0,036%. При этом на плотность загрязнения в 1 Ки/км² по ⁹⁰Sr на момент выпадения приходится 4,6 Ки/км² ¹⁴⁴Zr и ¹⁴⁴Nb, 12,2 Ки/км² ¹⁰⁶Ce и около 0,7 Ки/км² ¹⁰⁶Ru.

Основными факторами, влияющими на формирование накопленной населением дозы являются следующие:

1. Внешнее γ - и β - облучение в период прохождения радиоактивного облака.

2. Внутреннее облучение за счет ингаляции радионуклидов в период прохождения радиоактивного облака.
3. Внешнее облучение за счет радионуклидов, осевших на почву.
4. Внутреннее облучение организма за счет радионуклидов поступающих с продуктами питания.

Согласно Методики эти факторы воздействия однозначно связаны с плотностью поверхностного загрязнения радионуклидами и могут быть определены по начальным плотностям загрязнения территории ^{90}Sr .

На основании данных по загрязнению территории области радионуклидами были рассчитаны создаваемые выпавшими радионуклидами мощности эффективной дозы, а затем и накопленные дозы. Использование указанной Методики было в основном обусловлено двумя причинами: недостатком фактической информации по первым годам после аварии и необходимостью официального представления расчетов накопленных населением доз облучения.

Результаты расчетов эффективной дозы облучения, нормированные на плотность поверхностного загрязнения 1 Ки/км^2 по ^{90}Sr приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты расчетов эффективной дозы облучения, нормированные на плотность поверхностного загрязнения 1 Ки/км^2 по ^{90}Sr

Возраст при облучении (лет)	Источники облучения в зоне ВУРСа			Общая эффективная доза, мЗв
	Поступление с пищей, мЗв	Ингаляционное поступление, мЗв	Внешнее облучение, мЗв	
<1	23,5	0,06	1,16	24,7
1-2	27,4	0,13	1,16	28,7
3-7	22,9	0,18	1,16	24,2
8-12	20,5	0,18	1,16	21,9
13-17	17,4	0,16	1,16	18,7
Взрослые	13,4	0,14	1,16	14,7

С учетом нуклидного состава выброса дополнительно были рассчитаны эквивалентные дозы на наиболее важные органы человека (табл. 6).

При использовании Методики предполагалось, что население потребляет основные продукты питания (молоко, овощи, мясо), выращенные на загрязненной территории. Данное предположение справедливо для всей территории ВУРСа Свердловской области за исключением города Каменск-Уральского, территория которого условно может быть разделена на два района - Синарский и Красногорский с уровнями площадного загрязнения по ^{90}Sr 3,5 и $1,4 \text{ Ки/км}^2$ соответственно. С учетом того, что продукты питания в г. Каменск-Уральский завозились преимущественно с территории Каменского района, то для расчета доз внутреннего облучения для городского населения могут быть использованы значения средней плотности загрязнения по Каменскому району, которая составила $1,5 \text{ Ки/км}^2$. При этом дозы облучения от внешнего излучения и ингаляционного поступления радионуклидов для Синарского и Красногорского районов следует рассчитывать по Методике (табл. 5).

Таблица 6

Результаты расчетов эквивалентных дозы облучения на отдельные органы, нормированные на плотность поверхностного загрязнения 1 Ки/км^2 по ^{90}Sr

Орган	Возраст при облучении	Доза (мЗв)	Орган	Возраст при облучении	Доза (мЗв)
Красный костный мозг	0-9	62,3	Верхний отдел толстого кишечника	0-9	74,0
	10-19	37,5		10-19	44,1
	Взрослые	35,3		Взрослые	32,4
Желудок	0-9	5,0	Нижний отдел толстого кишечника	0-9	211,8
	10-19	3,6		10-19	128,4
	Взрослые	3,3		Взрослые	94,6
Тонкий кишечник	0-9	14,7	Легкие	0-9	15,7
	10-19	8,6		10-19	13,4
	Взрослые	6,8		Взрослые	11,0

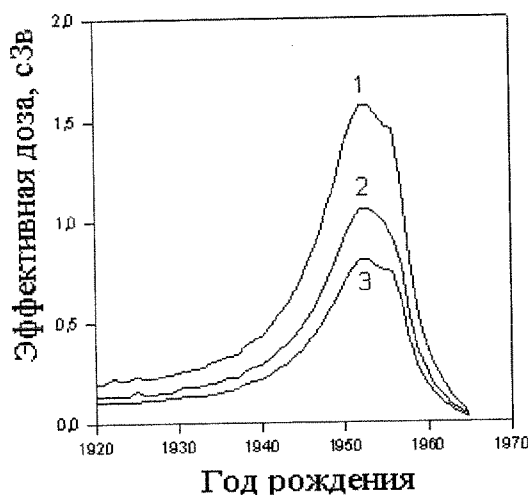


Рис. 2. Накопленные дозы от газо-аэрозольных выбросов для Каменского (1), Богдановичского (2) и Камышловского (3) районов

220 км от ПО "Маяк", из суммарных значений эффективной дозы были вычленены значения эффективных доз, обусловленные газо-аэрозольными выбросами.

Зависимость накопленных доз от газо-аэрозольных выбросов от года рождения (при условии постоянного проживания) для Каменского, Богдановичского и Камышловского районов представлены на рис. 2.

В основном дозы от газо-аэрозольных выбросов были сформированы в период с 1950 по 1965 год. Динамика формирования дозовых нагрузок для взрослого населения и для критической группы населения Каменского района представлена на рис. 3. Для учета влияния некоторого разброса значений, обусловленного необходимостью вычленять вклад газо-аэрозольных выбросов на фоне доз, обусловленных аварией 1957 года, данные, представленные на рис. 3, являются усредненными по нескольким годам рождения. Из рисунка видно, что формирование доз облучения происходило крайне неравномерно и период максимальных дозовых нагрузок совпадает по времени с периодом 1957-1958 года.

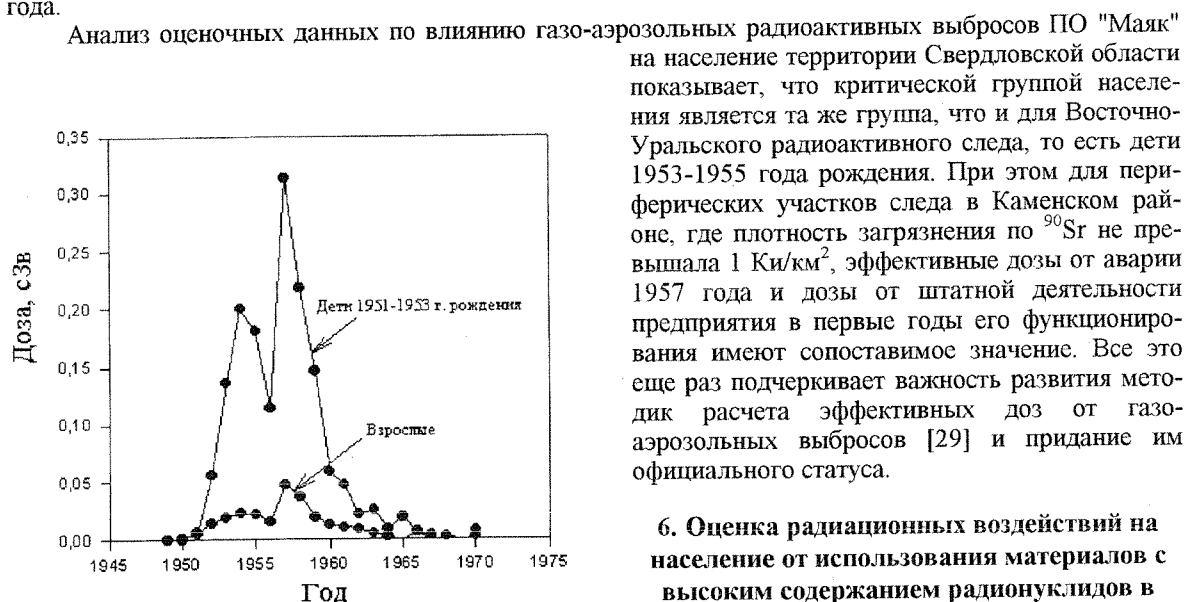


Рис. 3. Динамика формирования дозовых нагрузок от газо-аэрозольных выбросов для взрослого населения Каменского района и для критической группы населения

В целом уровни загрязнения по ^{90}Sr для Каменского района Свердловской области лежат от 0,1 Ки/км² для периферии следа до 7-10 Ки/км² для его оси. Таким образом, эффективные дозы облучения населения в зависимости от места их проживания и возраста на момент аварии лежат в диапазоне от нескольких мЗв до 200-250 мЗв.

Дополнительное радиационное воздействие на население зоны ВУРС Свердловской области представляют газо-аэрозольные выбросы ПО "Маяк", осуществляемые предприятием с 1949 г. Для расчета эффективных доз от воздействия этих выбросов на территорию ВУРСа были использованы данные отчета ЦЗЛ ПО "Маяк" [29], посвященного оценке общей эффективной дозы как от последствий аварии 1957 года, так и штатной работы предприятия. Для 96 населенных пунктов, расположенных вдоль Восточно-Уральского радиоактивного следа на расстоянии от 70 до

220 км от ПО "Маяк", из суммарных значений эффективной дозы были вычленены значения эффективных доз, обусловленные газо-аэрозольными выбросами.

Анализ оценочных данных по влиянию газо-аэрозольных радиоактивных выбросов ПО "Маяк" на население территории Свердловской области показывает, что критической группой населения является та же группа, что и для Восточно-Уральского радиоактивного следа, то есть дети 1953-1955 года рождения. При этом для периферических участков следа в Каменском районе, где плотность загрязнения по ^{90}Sr не превышала 1 Ки/км², эффективные дозы от аварии 1957 года и дозы от штатной деятельности предприятия в первые годы его функционирования имеют сопоставимое значение. Все это еще раз подчеркивает важность развития методики расчета эффективных доз от газо-аэрозольных выбросов [29] и придание им официального статуса.

6. Оценка радиационных воздействий на население от использования материалов с высоким содержанием радионуклидов в строительстве

На территории Свердловской области имеется две группы объектов, подвергшихся

радиоактивному загрязнению в результате несанкционированного использования в строительстве минерального сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов. К этим группам относятся:

- пос. Двуреченск, где часть домов была построена с использованием торийсодержащего шлака с Ключевского ферросплавного завода;
- пос. Озерный и Костоусово, загрязненные продуктами переработки монацитового сырья.

В пос. Костоусово и Двуреченск сотрудниками ИПЭ УрО РАН были проведены измерения мощности дозы гамма-излучения на территории населенных пунктов и в домах жителей, а также производили измерения ЭРОА радона и торона. Для оценки доз облучения в пос. Озерный, где к моменту проведения исследований уже была закончена дезактивация, были использованы архивные данные. При оценке ЭРОА торона в жилищах пос. Озерный, загрязненных отходами обогащения торийсодержащего минерального сырья, была использована экспериментально обнаруженная при обследовании пос. Костоусово связь между мощностью дозы гамма-излучения и ЭРОА торона. Результаты оценок доз облучения приведены в табл. 7 [10-13].

Таблица 7

Результаты расчета дозовых нагрузок для населенных пунктов Свердловской области, загрязненных природными радионуклидами

	Доза от ДПР торона		Доза от внешнего гамма-облучения		Суммарная доза, накопленная за период 25 лет	
	Текущ., мЗв/год	Накопл., Зв	Текущ., мЗв/год	Накопл., Зв	Текущ., мЗв/год	Накопл., Зв
Двуреченск						
Максимальная индивидуальная доза	-	-	12	0,3	12	0,3
Средняя доза для жителей загрязненных домов	-	-	0,91	0,02	0,91	0,02
Озерный						
Максимальная индивидуальная доза	13	0,3	12	0,3	22	0,6
Средняя доза для жителей загрязненных домов	2,9	0,08	1,2	0,03	4,1	0,1
Костоусово						
Максимальная индивидуальная доза	4,7	0,1	15,2	0,4	19,9	0,5
Средняя доза для жителей загрязненных домов	0,8	0,02	1,7	0,04	2,5	0,07

7. Медицинское облучение населения

Общеизвестно, что медицинские диагностические обследования обеспечивают максимальные дозы облучения населения от искусственных источников излучения [30]. Учитывая существенный вклад медицинского облучения в общее радиационное воздействие на население был проведен анализ эффективных доз облучения, получаемых населением Свердловской области в результате рентгеновских диагностических процедур. Радиоизотопные диагностические исследования могут давать некоторый дополнительный вклад в медицинское облучение населения крупных городов Свердловской области, где имеются соответствующие лаборатории. Учитывая однако, что даже в развитых странах вклад радиоизотопных исследований в среднюю дозу облучения населения на один-два порядка ниже, чем рентгеновских [30], и Свердловская область не является исключением [6], то в дальнейшем мы вклад изотопных исследований не учитывали. Исходными данными для расчетов являлись:

- статистические данные по числу различных рентгеновских диагностических процедур, проводимых в Свердловской области в 1995-1998 г.;
- средние параметры рентгеновского пучка и поглощенные дозы на индивидуальные органы при различных диагностических обследованиях

Поскольку в исходных данных было приведено лишь общее число различных обследований на группы органов (желудочно-кишечный тракт, костно-суставную систему, органы грудной клетки), то с использованием данных было проведено дополнительное дифференцирование по типу обследований. Проведенный анализ показал, что максимальные дозы медицинского облучения наблюдаются в крупных городах, где выше уровень медицинского обслуживания и выше среднее число диагностических процедур на душу населения (табл.8).

Для крупных городов Свердловской области средние дозы медицинского облучения составили порядка 1,7-1,8 мЗв/год, а для сельских районов - 1,1 мЗв/год. Величина средней эффективной дозы медицинского облучения по области в целом 1,4 мЗв/год в целом несколько выше, чем значение 1,1

характерное для Российской Федерации в 1990 г. Это может быть обусловлено существенно более высоким числом рентгенодиагностических исследований на душу населения в Свердловской области, чем по России в целом (1,45 в Свердловской области в 1995 году и 0,99 в Российской Федерации в 1985-1990 г.). При анализе данных величин необходимо учитывать, что к облучению от медицинских процедур необходим иной подход, чем к другим видам техногенного облучения. Польза для пациента от проведения рентгенорадиологических обследований существенно превышает потенциальный риск от радиационного воздействия. Это относится как к диагностическим, так и профилактическим (флюорография, маммография) обследованиям. Поэтому при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур основным требованием является не ограничение доз облучения пациента, а их оптимизация, т.е. достижение наилучшего баланса между дозами облучения и количеством и качеством медицинской информации. Учитывая изношенность парка рентгенодиагностического оборудования в Свердловской области и недостаточность обеспечения другими видами исследований (ультразвуковые исследования, фиброгастроскопия и т.д.) следует отметить, что возможности оптимизации дозовых нагрузок при медицинских рентгенорадиологических процедурах еще далеко не исчерпаны.

Таблица 8

Эффективные дозы от рентгенодиагностических процедур в Свердловской области

Город / Район	Сумма, мЗв	Город / Район	Сумма, мЗв
Екатеринбург	1,87	Кушва	1,39
Асбест	1,40	Н-Салда	0,48
Алапаевский район	1,08	Н-Тагил	1,69
Артемовский район	0,75	Н-Тура	0,66
Арти	1,25	Невьянск	0,97
Ачит	0,60	Н-Серьги	0,92
Березовский	2,12	Н-Ляля	0,81
Байкалово	0,73	Первоуральск	1,63
Белоярский	0,96	Полевской	1,11
Богданович	1,03	Пригородный район	0,14
В-Пышма	0,95	Пышма	1,39
В-Салда	0,90	Североуральск	1,06
Верхотурье	0,49	Реж	1,13
Гари	0,35	Ревда	1,47
Ивдель	0,71	Серов	0,94
Ирбит	1,47	Серовский район	0,38
Ирбитский район	1,33	Сухой Лог	1,45
Каменск-Уральский	1,71	Сысерть	0,83
Каменский район	0,44	Туринская слобода	1,04
Камышлов	1,58	Таборы	0,34
Карпинск	1,25	Тавда	1,89
Качканар	1,04	Талица	0,76
Кировград	1,17	Тугулым	0,58
Красноуфимский район	0,94	Туринск	1,09
Краснотурьинск	1,37	Шали	0,58
Красноуральск	1,05	Свердловская обл.	1,41

8. Оценка радиационных рисков для населения Свердловской области

Проведенная комплексная оценка дозовых нагрузок на население Свердловской области от всех совокупностей радиационных факторов позволило провести их сопоставление как между собой, так и с другими факторами нерадиационной природы. При анализе мы ограничились источниками радиационного воздействия, рассмотренными в предыдущих разделах. Эти источники обуславливают основные дозы как текущего облучения, так и облучения, связанного с радиационными авариями. Радиационное воздействие на население от штатной работы других радиационно-опасных предприятий (Белоярская АЭС, Уральский электрохимический комбинат, комбинат "Электрохимприбор", спецкомбинат "Радон") существенно меньше, чем флуктуации природного радиационного фона, в связи с чем мы исключили их из дальнейшего рассмотрения [5,6].

При анализе были рассмотрены два основных параметра. Первый параметр - пожизненный риск возникновения онкологического заболевания с летальным исходом в результате того или иного радиационного воздействия. Расчет радиационных рисков производился преимущественно по мультипликативной модели описанной в Публикациях 60 и 65 МКРЗ [1-3]. Исключение составлял расчет радиационных рисков для лейкемии, где использовалась аддитивная модель экстраполяции радиационного риска [2]. При расчетах были использованы статистические данные по общей и онкологической смертности населения, характерной для Свердловской области.

Пожизненный риск возникновения онкологического заболевания с летальным исходом достаточно важная интегральная характеристика с точки зрения оценки индивидуального риска, но она мало пригодна для оценок ущерба от радиационного воздействия на уровне популяции конкретного района или населенного пункта. Кроме вероятности летального исхода от радиационно-индуцированного рака очень важно знать средний возраст в котором будет реализована данная вероятность. Так, например, вероятность $R=0,1$ умереть от радиационно-индуцированного рака в возрасте 80 лет мало повлияет на демографическую обстановку в заданном регионе. Та же вероятность, реализованная в возрасте 15-20 лет будет иметь катастрофические последствия как для социальной, так и для экономической обстановки в регионе.

Таблица 9

Сопоставление радиационных и нерадиационных рисков и ожидаемого сокращения продолжительности жизни для Свердловской области

Факторы риска	Пожизненный риск R		Ожидаемое среднее сокращение продолжительности жизни	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
Радиационные риски в Свердловской области				
Радиационное облучение в зоне ВУРСа (3 Ки/км ²). Все раки кроме лейкемии. Возраст облучения				
0-9 лет	0,0059	0,0089	37,4 сут	59,6 сут
10-19 лет	0,0025	0,0038	15,8 сут	25,4 сут
20-29 лет	0,0020	0,0028	12,7 сут	18,7 сут
30-39 лет	0,0009	0,0012	5,7 сут	8,0 сут
Радиационное облучение в зоне ВУРСа (3 Ки/км ²). Лейкемия. Возраст облучения				
0-9 лет	0,00089	0,00073	10,0 сут	8,2 сут
Старше 10 лет	0,00059	0,00032	6,7 сут	3,6 сут
Облучение в течение 25 лет продуктами переработки ториевого сырья: Озерный Костоусово	0,010 0,0054		55 сут 30 сут	
Медицинское облучение 1,4 мЗв/год	0,0037 - 0,0070	0,0056 - 0,0076	20 - 38 сут	31- 42 сут
Пожизненное облучение ДПР радона и торона в сельских домах (3,1 мЗв/год)	0,019	0,0034	108 сут	20,5 сут
Нерадиационные риски в Свердловской области				
Общий онкологический риск	0,171	0,138	2,43 лет	2,22 лет
Несчастные случаи	0,20	0,067	5,68 лет	1,92 лет
В том числе : убийства	0,036	0,013	1,03 лет	0,39 лет
самоубийства	0,044	0,014	1,09 лет	0,32 лет
отравления алкоголем	0,026	0,008	0,75 лет	0,22 лет

В связи с этим был использован второй параметр характеризующий радиационное воздействие на население - ожидаемое среднее сокращение продолжительности жизни ΔL . Данный параметр является чисто статистической величиной, реализуемой на уровне популяции. Так, например, ожидаемое

среднее сокращение продолжительности жизни в 10 сут означает, что для большинства населения пострадавшего региона ожидаемая продолжительность жизни не изменится, но дополнительно у нескольких членов популяции возникнут онкологические заболевания с летальным исходом в результате которых их продолжительность жизни сократится в среднем на 15 лет. Произведение величины ΔL на численность популяции N характеризует общее количество потерянных лет жизни для пострадавшей популяции и обычно является статистически подтверждаемой величиной. Существенным преимуществом использования данного параметра является то, что величина ущерба $\Delta L \cdot N$ может быть субъектом экономических оценок и выражаться в денежном исчислении.

Совокупная оценка радиационных рисков и ожидаемого среднего сокращения продолжительности жизни в результате различных источников радиационного воздействия в Свердловской области приведена в табл. 9.

Из приведенной таблицы видно, что радиационные риски и ожидаемый ущерб от последствий достаточно серьезного загрязнения ряда территорий Свердловской области искусственными и природными радионуклидами, проживания в сельских домах на радоноопасной территории и медицинского облучения имеют примерно один порядок величины. Однако их сопоставление с рисками нерадиационной природы и ущерба от них показывает, что радиационные риски не являются доминирующими даже для тех регионов Свердловской области, которые подверглись радиоактивному загрязнению в результате техногенной деятельности человека. Типичные значения сокращения ожидаемой продолжительности жизни от онкологических заболеваний, несчастных случаев и т.д. многократно превышают все оценки последствий радиационных воздействий.

Достаточно хорошо известно, что практике проведения реабилитационных работ после тех или иных радиационных аварий (Чернобыльская АЭС, ВУРС и т.д.) неоднократно проводились попытки уменьшения остаточного радиационного воздействия на населения (зачастую лежащего на уровне флуктуаций природного радиационного фона) методами, абсолютно не оправданными ни с экономической, ни с социальной точек зрения.

При этом не было понимания, что воздействие на иные радиационные факторы или на факторы риска нерадиационного происхождения могло оказаться более эффективным и существенно более экономически выгодным, чем попытка уменьшения рисков за счет прямого снижения радиационных нагрузок. Во многих случаях компенсация радиационных рисков может быть гораздо более эффективной, чем их снижение при проведении работ по уменьшению рисков другой природы.

Для реализации комплексного подхода к проблеме рисков в первую очередь необходимо уделять внимание экологическому состоянию территорий, оказывающему влияние на состояние здоровья населения (загрязнению атмосферы, воды, продуктов питания, воздействию на население шума, электромагнитных полей, других физических факторов и т.д.), санитарно-гигиенической и эпидемиологической обстановке, а также уровню социального развития территории (состояние здравоохранения, уровень жизни и занятость населения, охрана труда, профилактика преступности, наркомании, несчастных случаев и т.д.).

При этом становится ясно, что радиационный мониторинг территорий не следует рассматривать как нечто обособленное. Он должен являться составной частью единой системы экологического мониторинга, дополненной системой мониторинга социально-экономической обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года.- Ч.1.- Публикация МКРЗ 61. М.: Энергоатомиздат.- 1994.
2. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат.- 1994.- Ч.2.
3. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат.- 1995.
4. Общие принципы радиационной защиты персонала. Публикация 75 МКРЗ. Екат.: УРАЛРЭСЦЕНТР.- 1998.
5. Жуковский М.В., Кямкин А.Н., Бочарникова Т.А., Кружалов А.В. Радиационная обстановка // Государственный доклад о состоянии окружающей среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 1997 году. Екатеринбург. 1998. С.125-135.
6. Жуковский М.В., Кямкин А.Н., Кружалов А.В. Радиационная обстановка и радиационная безопасность населения // Государственный доклад о состоянии окружающей среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 1997 году.- Екатеринбург. 1998.- С.101-118.
7. Восточно-Уральский радиоактивный след/ В.Н.Чуканов, Б.А.Коробицын, А.В.Баженов, А.П.Кулигин, Жуковский М.В и др.// Екатеринбург.- ИЦЭ УрО РАН.- 1996.
8. Chukanov V.N., Bazhenov A. V., Korobitsin A.A., Volobuev D. V Kuligin A.P. Zhukovskiy M., The consequences of radioactive contamination of the Sverdlovsk oblast caused by the accident in 1957 at the "Mayak" industrial Complex. // Proceedings of International symposium on environmental impact of radioactive releases.- Vienna.- 8-12 May.- 1995.- IAEA-SM-339/101.- P.459-466.- IAEA.- Vienna.- 1995.
9. Реконструкция накопленной дозы у жителей бассейна р.Теча и зоны аварии в 1957 г. на производственном объединении "Маяк". Методические указания МУ 2.6.1.024-95. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995.
10. Yarmoshenko I., Ekidin A., Vozhakov A. Radiation exposure of population due to careless use of radioactive raw materials in the Urals.// 1996 International Congress on radiation protection.- April 14-19.- Vienna.- v. 2.- IRPA9.- Vienna.-1996.- P.210-212.

11. Ярмошенко И. В., Екидин А. А., Вожаков А. В. Облучение населения в результате неосторожного обращения с радиоактивным сырьем на Урале. // Международная конференция "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека", 22-24 мая 1996 года. - Томск. - 1996. - С. 199-203.
12. Жуковский М. В., Ярмошенко И. В., Баянкин С. Н. Радиационные нагрузки и радиационные риски в Свердловской области // Радиационная безопасность человека и окружающей среды. УГТУ-УПИ. Екатеринбург. - 1997. - С. 11-19.
13. Zhukovsky M., Yarmoshenko I., Bayankin S. The comparison of doses and risks from radon, medical and accidental irradiation. // Proceedings of IRPA regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring countries of Central Europe. Prague. - 1997. - P. 203-206.
14. Zhukovsky M., Kruzhalov A., Chukanov V. Assessment of dose exposure from radon for the Ural region. // Proceedings of the Tenth International Congress of Radiation research. Wurzburg. - Germany. - 1995. - P. 252.
15. Жуковский М. В., Ярмошенко И. В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. УрО РАН. Екатеринбург. - 1997. - 232 с.
16. Zhukovsky M., Yarmoshenko I. Radon Survey in the Ural Region of Russia: Results and Analysis // Radiation Protection Management. 1998. No 2. P. 34-42.
17. Zhukovsky M., Yarmoshenko I. Dose and risk assessment from radon in the Ural. // 1996 International Congress on radiation protection, April 14-19, Vienna, v. 2. IRPA9, Vienna. - 1996. P. 302-303.
18. Zhukovsky M., Yarmoshenko I., Ekinin A., Vozhakov A. Radon exposure in Middle Urals. // Proc. of European Conf. Protection Against Radon at Home and at Work. Praha. 1997. Part II. P. 309-311.
19. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. Доклад НКДАР ООН за 1988 г. М.: Мир, 1992. Т. 2.
20. Данные для использования при защите от внешнего излучения. Публикация 51 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат. 1993.
21. Заболотских В. А., Жуковский М. В., Кружалов А. В., Подуст А. Н. Областная программа неотложных мер по снижению уровня облучения населения и производственного персонала от природных источников ионизирующего излучения. // Проблемы экологии и охраны окружающей среды. Тезисы докладов научно-практических семинаров на международной выставке "Уралэкология-96", 17-19 апреля 1996 г., Екатеринбург. - 1996. С. 139-140.
22. Жуковский М. В., Рыженьков А. П. Методические и метрологические аспекты выполнения областной программы "Радон". // Проблемы экологии и охраны окружающей среды. Тезисы докладов научно-практических семинаров на международной выставке "Уралэкология-96", 17-19 апреля 1996 г., Екатеринбург. - 1996. С. 140-141.
23. Жуковский М. В., Кружалов А. В., Рыженьков А. П. Программа "Радон": результаты и перспективы в Свердловской области // Радиационная безопасность человека и окружающей среды. Методические материалы. Екатеринбург. УГТУ. 1998. С. 24-26.
24. Жуковский М. В., Кружалов А. В., Рыженьков А. П. Метрологическое обеспечение выполнения программы "Радон" в Свердловской области // Экологические проблемы промышленных регионов. Тез. докл. научно-практ. семинара "Урал-экология-98" Екатеринбург. 1998. С. 201-202.
25. Yarmoshenko I., Zhukovsky M. Radon season variation model // Proc. IRPA Regional Congress in Central Europe. Budapest. 1999. In CD-ROM.
26. Arvela, H. Seasonal variation in radon concentration of 3000 dwellings with model comparison. // Radiat. Protect. Dosim. 1995. Vol. 59, No 1. P. 33-42.
27. Терентьев М. В. Совместное определение концентраций ^{222}Rn и ^{220}Rn в воздухе // Атомная энергия. 1986. Т. 61, № 3. С. 192-195.
28. Объяснительная записка к карте районирования Свердловской области по степени потенциальной радоноопасности масштаба 1:200000. / И. Л. Лучинин, В. Д. Илларионов, А. Л. Зейгермахер, Ю. С. Усольцев, Л. В. Емельяненко // Отчет за 1993-1995 гг. о результатах научно-исследовательской работы в рамках программы "Радиоэкология Свердловской области". Екатеринбург: ГГП "Зеленогорскгеология", 1995.
29. Дрожко Е. Г., Мокров Ю. Г., Хохряков В. В., Стукалов П. М. Результаты расчета накопленных эффективных эквивалентных доз облучения граждан, подвергшихся радиационному воздействию в результате деятельности ПО "Маяк" (Свердловская область) Отчет по НИР. ПО "Маяк". Челябинск. 1993. 32 с.
30. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. UN. New York. 1993.

Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург
 Уральский государственный технический университет, Екатеринбург