Федеральное государственное бюджетное учреждение
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

На правах рукописи

ДЕМИН Владимир Федорович

АНАЛИЗ РИСКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Специальность 05.26.02 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ядерный топливно-энергетический комплекс)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, доцент
Горбунов Сергей Валентинович

Москва - 2016

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ 18
1.1 Оценка и анализ риска: общая характеристика 18
1.1.1 Категории риска 18
1.1.2 Типы ситуаций воздействия источников риска 19
1.1.3 Объекты оценки риска 19
1.1.4 Эффекты воздействия на здоровье человека источников риска 20
1.2 Этапы оценки риска 22
1.2.1 Идентификация опасности 22
1.2.2 Прогнозная оценка риска и эпидемиологические исследования 25
1.2.3 Входные данные для прогнозной оценки риска 26
1.2.4 Анализ и управление риском 27
1.3 Исторический экскурс 28
1.4 Актуальность развития и применения оценки и анализа риска, направление исследований 31
ГЛАВА 2 ОБЩАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА 38
2.1 Трехуровневая схема методических основ оценки риска 38
2.2 Базовые величины. Основные определения 40
2.3 Показатели индивидуального риска. Определения и расчетные формулы 44
2.3.1 Интенсивность риска смерти 44
2.3.2 Пожизненный риск 45
2.3.3 Ущерб здоровью человека 47
2.3.4 Относительный, атрибутивный и абсолютный риск 48
2.3.5 Приведенный ущерб здоровью человека в потерянных годах жизни 49
2.3.6 Вероятность причинной обусловленности возникновения заболевания или смерти 51
2.4 Показатели риска на популяционном уровне 52
2.4.1 Смертность и заболеваемость 55
2.4.2 Усреднение по возрасту и полу 56
2.5 Соотношение между индивидуальными, популяционными и средними показателями риска 56
2.6 Базовые данные 60
2.7 Зависимость «доза» - эффект 61
2.7.1 Разовая или кратковременная доза (экспозиция) 63
2.7.2 Модели мультипликативного и аддитивного риска 64
2.7.3 Хроническое или протяженное воздействие 65
2.8 Оценка неопределенности 66
2.9 Оценка риска от двух и более источников вредного воздействия 68
2.10 Упрощенная методика оценки риска 69

ГЛАВА 3 ЧАСТНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА. РАДИАЦИОННЫЙ РИСК 72
3.1 Модели зависимости доза-эффект 73
3.2 Модели зависимости доза-эффект для редко ионизирующего излучения 75
3.3 Модели зависимости доза-эффект от воздействия радона 76
3.4 Зависимость доза - эффект для радиационного канцерогенеза в области малых доз 77
3.4.1 Анализ состояния проблемы 77
3.4.2 Математический анализ 80
3.4.3 Зависимость риска от местных условий 84
3.4.4 Заключительные замечания 86
3.5 Отсроченная оценка радиационного риска 87
3.6 Упрощенная методика оценки радиационного риска 88
3.7 БАРД: банк данных по анализу риска 91
3.7.1 Области применения и развитие БАРД 91
3.7.2 Структура БАРД 93
3.7.3 База данных 95
3.7.4 Расчетные программы 99
3.7.5 Радиационный риск 99
3.7.6 Нерадиационный риск 101
3.7.7 Входные данные 103
3.7.8 Выходные данные 103
3.7.9 Тестовые верификационные расчеты 104
ГЛАВА 4 ЭФФЕКТЫ КОНКУРЕНЦИИ РИСКОВ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ 106
4.1 Введение 106
4.2 Конкуренция в оценке риска 107
4.3 Конкуренция риска в эпидемиологических исследованиях 115
4.4 Заключение к главе 4 116
ГЛАВА 5 МЕТОД СТАНДАРТИЗАЦИИ ВОЗРАСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ К ОЦЕНКЕ РИСКА 118
5.1 Введение 118
5.2 Анализ действующих методов стандартизации 119
5.3 Концепция нового стандарта возрастного распределения населения 123
5.3.1 Основные определения 123
5.3.2 Общий стандарт 124
5.3.3 Собственный стандарт 127
5.4 Роль конкуренции рисков 132
5.5 Мировой стандарт 135
5.6 Заключение к главе 5 136
ГЛАВА 6 ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ В НОРМАЛЬНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА РИСКА 138
6.1 Введение 138
6.2 Общие и концептуальные положения 140

6.2.1 Основные принципы принятия решений по безопасности 140
6.2.2 Основной принцип установления норм безопасности и основные положения 141
6.2.3 Структура установления норм безопасности на единой основе оценки риска..... 144
6.3 Нормы безопасности и другие уровни принятия решений..... 145
6.3.1 Выбор показателя риска 145
6.3.2 Основные универсальные нормы безопасности 150
6.3.3 Универсальный уровень пренебрежимо малого риска (уровень “de minimus”) 150
6.3.4 Уровни принятия решений по безопасности в аварийных (чрезвычайных) ситуациях..... 150
6.3.5 Основные отраслевые нормы безопасности..... 152
6.3.6 Отраслевые уровни пренебрежимого риска 156
6.4 Комплексное регулирование безопасности..... 156
6.5 Заключение к главе 6 158
ГЛАВА 7 ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ, СРАВНЕНИЯ И АНАЛИЗА РИСКА ОТ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ..... 159
7.1 Оценка риска для населения территорий, пострадавших от ядерных испытаний и Чернобыльской аварии 159
7.1.1 Концептуальные положения и уровни приятия решений по медицинской и социальной защите населения в чрезвычайных ситуациях 160
7.1.2 Последствия ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне для населения Алтайского края 165
7.1.3 Оценка риска для здоровья участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии..... 171
7.1.4 Последствия Чернобыльской аварии для населения пострадавших территорий..... 173
7.2 Оценка и сравнение риска от разных источников опасности 183
7.2.1 Демонстрационные примеры расчета показателей риска для его «фоновых» источников 183
7.2.2 Сравнение рисков 185
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 186
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ..... 189
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 190
Приложение А 202
Приложение Б..... 206
Приложение В..... 209
Приложение Г 220

ВВЕДЕНИЕ

Риск - это очень широкое понятие, отражающее многие, как правило, негативные явления в жизни отдельного человека или общества, проявления которых носит вероятностный (стохастический) характер. В диссертации **рассматривается риск здоровью или жизни человека от действия техногенных или природных источников вреда в нормальных и чрезвычайных ситуациях.**

Актуальность работы

Промышленное развитие со 2-ой половины XX столетия характеризуется как относительно быстрым ростом объема промышленного производства, так и изменением его структуры. Это изменение происходит в сторону создания производств большой единичной мощности с высокой энергонасыщенностью и содержанием в больших количествах потенциально опасных технологических материалов и отходов. К природным катастрофам добавилась реальная опасность техногенных катастроф и глобальных изменений среды обитания человека. Список уже произошедших катастроф хорошо известен: Три-Майл-Айленд, Бхопал, Севезо, Чернобыль, Фукусима и др.

Это потребовало изменения подхода к обеспечению безопасности промышленности: от инженерного подхода и принципа абсолютной безопасности к вероятностному анализу безопасности, исследованию процессов в аварийных условиях, оценке последствий аварий, анализу риска и концепции приемлемого риска, оптимизации решений по безопасности и т.п. Как ответ на эту потребность стало необходимым развивать междисциплинарное научное направление **«оценка и анализ риска».**

Диссертационная работа относится к той части анализа безопасности, в которой осуществляется оценка и анализ риска воздействия на здоровье профессиональных работников и населения техногенных и частично природных

источников опасности. В общепринятом определении это третий уровень обеспечения безопасности.

Чернобыльская авария дала толчок работам по анализу риска. Политические изменения в СССР, с одной стороны, сняли идеологические ограничения на подобные работы, с другой стороны, расширили область необходимого применения анализа риска (ранее закрытые объекты ядерного комплекса, произошедшие в прошлом радиационные аварии, ядерные испытания, обращение с отходами, снятие с эксплуатации АЭС и других радиационно опасных объектов, разработка стратегии развития топливо-энергетического комплекса страны или отдельного региона с учетом современных требований обеспечения безопасности и защиты окружающей среды и др.).

Однако до сих пор применяется в основном упрощенный вариант анализа риска. Он сводится к определению уровней загрязнения природных сред или «доз» воздействия на человека или флору и фауну и сравнению с установленными предельно допустимыми концентрациями (ПДК) вредных веществ или предельно допустимыми «дозами» (ПДД). В радиационной защите это так называемый дозовый подход, в котором основным показателем является эффективная доза.

Вплоть до настоящего времени при установлении норм безопасности (НБ) и других уровней принятия решений по безопасности для разных источников вредного воздействия используются разные подходы и разные рисковые или «дозовые» показатели. Их трудно, если вообще возможно, сопоставить друг с другом. По этой причине трудно или практически невозможно сравнить НБ и другие уровни принятия решений по безопасности в разных областях деятельности человека. В такой ситуации трудно рассчитывать на их оптимальность.

Причина такого положения (несоответствие между практической потребностью и возможностью использования анализа риска): недостаточное развитие научно-методической и нормативно-правовой базы, а также современных компьютерных систем (баз данных, расчетных и других программ).

Принятие решений по послеаварийным защитным и восстановительным мероприятиям вне площадки осуществляется главным образом на основе учета

только радиологических последствий и при этом, так же как и в нормальных условиях, применяется дозовый подход.

Как показал опыт оценок и анализа последствий ядерных аварий, ядерных испытаний и проведения защитных и восстановительных мероприятий, существует целый ряд причин, по которым необходимо выйти за пределы радиационной защиты и рассматривать также и нерадиационные факторы риска.

Большую роль с конца прошлого века начал играть сравнительный анализ риска при принятии решений по выбору типа энергопроизводства на местном, региональном и глобальном уровнях. В этом анализе существует необходимость оценки риска от разных его источников радиационной и нерадиационной природы.

Таким образом, существует **актуальная проблема** в принятии решений по безопасности на основе анализа риска и их обоснования: недостаточное развитие научно-методической и нормативно-правовой базы оценки, анализа и управления риском, а также современных компьютерных систем (баз данных, расчетных и других программ), обеспечивающих оценку и анализ риска во всех необходимых для принятия решений деталях.

В связи с этим развитие научно-методических основ оценки и анализа риска от воздействия техногенных и природных источников опасности, их применение для разработки и обоснования регулирующих документов по обеспечению безопасности персонала опасных производств и населения и для поддержки принятия решений по мерам защиты жизни и здоровья человека в нормальных и в чрезвычайных ситуациях должны быть первоочередными шагами в развитии и применении анализа риска.

Цель диссертационной работы

Основная цель диссертационной работы:

Обеспечение разработки и обоснования регулирующих документов по безопасности персонала опасных производств и населения и поддержка принятия решений по мерам защиты жизни и здоровья человека в нормальных и чрезвычайных ситуациях на базе оценки, анализа риска и управления им.

Основные задачи диссертационной работы

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

1. Разработка общей методики оценки риска как основы развития частных и упрощенных методик оценки риска в применении к конкретным источникам вредного воздействия на здоровье человека.
2. Разработка частной и упрощенной методики оценки риска от воздействия ионизирующего излучения на базе общей методики.
3. Оценка и анализ эффектов конкуренции рисков и их влияния на принятие решений по безопасности персонала опасных производств и населения.
4. Разработка метода стандартизации возрастного состава населения в применении к оценке риска.
5. Разработка научных основ гармонизации регулирующих документов по безопасности человека от разных источников вредного воздействия на основе оценки и анализа риска.
6. Разработка концептуальных основ принятия решений по обеспечению безопасности, медицинской и социальной защиты человека в чрезвычайных ситуациях на основе оценки и анализа риска.
7. Оценка радиационного и нерадиационного риска для населения территорий, пострадавших от ядерных испытаний и Чернобыльской аварии.
8. Разработка способа сравнения риска от разных его источников.
9. Разработка комплексного подхода к регулированию безопасности в случае действия двух или более источников риска на основе оценки и анализа риска.

Каждая из этих основных задач включает несколько более конкретных научно-исследовательских подзадач.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Для чрезвычайной ситуации после радиационной аварии обоснована необходимость оценки как радиационного, так и нерадиационного риска для поддержки принятия решений по защитным и восстановительным мерам.

2. разработана методика оценки риска
   - в общей универсальной версии в применении к любому источнику риска,
   - в специальной версии, включая упрощенный вариант, для оценки радиационного риска от любого вида и сценария облучения (разового, хронического или растянутого во времени, смешанного и т.п.) и для оценки нерадиационного риска разной природы;

   методика позволяет оценивать риск в специфических или обобщенных показателях индивидуального или популяционного риска в их возможной зависимости от особенностей источника воздействия, от времени, возраста, местных условий, а также в интегрированной или усредненной форме; выбор показателей зависит от постановки задачи и практического применения результатов.
3. Разработан и предложен к практическому применению новый, дополнительный набор показателей риска: специальный показатель риска для нормирования и сравнения риска, стандартизованные показатели риска.
4. Показаны недостатки современных стандартов возрастного распределения населения в их применении к оценке риска, разработан метод стандартизации показателей риска.
5. Выполнены оценка и анализ эффектов конкуренции рисков, продемонстрировано их влияние на принятие решений по безопасности населения и необходимость учета этого влияния в оценке, анализе и управлении риском.
6. Разработаны научные основы гармонизации регулирующих документов по безопасности, медицинской и социальной защиты человека в чрезвычайных ситуациях на основе оценки и анализа риска.
7. Впервые в необходимых деталях и показателях получены оценки риска здоровью населения на территориях России, пострадавших от ядерных испытаний и Чернобыльской аварии для поддержки принятия решений по защитным и восстановительным мерам.

8. Обоснован и продемонстрирован способ сравнения рисков разной природы с использованием предложенного соискателем специального показателя риска.
9. Разработан комплексный подход к регулированию безопасности в случае действия двух или более источников риска на основе оценки и анализа риска

На защиту выносятся:

1. Научно-методические основы риска
   - трехуровневый подход к развитию и практическому применению методов оценки риска,
   - общая универсальная методика оценки риска в применении к любому источнику риска,
   - специальная, частная версия методики, включая ее упрощенный вариант - методика оценки радиационного риска от любого вида и сценария облучения (разового, хронического или растянутого во времени, смешанного и т.п.) на основе общей методики;
   - новый, дополнительный набор показателей риска: специальный показатель риска для нормирования и сравнения риска, стандартизованные показатели риска, разработанные и предложенные к практическому применению.
2. Эффекты конкуренции рисков и необходимость и способ их учета при оценке и анализе риска.
3. Метод стандартизации показателей риска при их усреднении (интегрировании) по возрасту населения.
4. Гармонизированный подход к разработке регулирующих документов по обеспечению безопасности человека от разных источников вреда, включая
   - концептуальные основы управления безопасностью человека, медицинской и социальной защитой персонала опасных производств и населения в чрезвычайных ситуациях на основе оценки и анализа риска.
   - структуру установления норм безопасности на единой основе оценки риска в разных сферах человеческой деятельности (от универсальных к отраслевым нормам безопасности),

- уровни принятия решений по безопасности, медицинской и социальной защите персонала опасных производств и населения в нормальных и чрезвычайных ситуациях в показателях риска,
- комплексное регулирование безопасности при действии двух или более источников опасности.

5. Результаты оценки, анализа и сравнения риска для населения от разных источников опасности (ядерные испытания, Чернобыльская авария, транспортные аварии и др.) на основе разработанных научно-методических основ оценки риска.
6. Способ сравнения рисков разной природы с использованием предложенного соискателем специального показателя риска.

Научная и практическая значимость работы

Разработана совокупность методов оценки и анализа риска в нормальных и чрезвычайных ситуациях, включая общую методику оценки риска. *Эта методика носит универсальный характер*:

– она применима к любому источнику риска, накладывая требование единообразного и, вообще говоря, единственно возможного способа представления входных и выходных данных по источнику риска;
– она обеспечивает расчет риска как в специфических показателях риска в их возможных зависимостях от времени, пола, возраста и т.п., так и в обобщенных или интегрированных показателях;
– на ее основе разработана частная методика, включая ее упрощенный вариант: методика оценки радиационного риска; радиационный риск может быть рассчитан для любого вида и характера (сценария) облучения, а также для так называемого варианта отсроченной оценки риска (для живущих людей спустя много лет после получения дозы воздействия ионизирующего облучения).

Помимо набора специфических и интегрированных показателей риска, более или менее уже известных по отечественным и зарубежным публикациям, в том

числе и публикациям соискателя, предложены для практического применения *специальный показатель риска* для нормирования и сравнения риска и *стандартизованные показатели риска* (СПР).

СПР - это новая разработка, обобщающая некоторые идеи работ соискателя, приемы стандартизации в оценке риска.

Результаты оценки риска (1994 – 2000 гг.) для населения на территориях, пострадавших от ядерных испытаний, позволили существенным образом изменить направленность мер по ликвидации последствий испытаний: от чисто мер социальной защиты населения к добавлению мер медицинской защиты здоровья людей.

При формировании программы практических действий в рамках ФЦП «Семипалатинский полигон – Алтай» (1992 г.) считалось, что радиологические последствия первого ядерного испытания в августе 1949 г. уже реализовались и задачи преодоления последствий сводились в основном к мерам социальной компенсации. Расчеты риска показали, что к 1994 г. реализовалась примерно только половина радиологических последствий, другую половину можно было ожидать после 1994 г. Следует отметить, что именно первое ядерное испытание в 1949 г. в силу сложившихся обстоятельств на момент испытания имело наибольшие последствия на территории Алтайского края по сравнению с другими последующими испытаниями. Практическая значимость результатов оценки риска была высоко оценена руководителями ФЦП и Алтайского края. За НИР по оценке риска соискателю была вручена Государственная премия Алтайского края (1999 г.).

НИР по развитию анализа риска, результаты которых представлены в диссертации, начали проводиться в начале 80-х годов в основном по инициативе соискателя и его коллег. После Чернобыльской аварии из-за возникновения практической потребности в результатах анализа риска на территориях, пострадавших от ядерных аварий и ядерных испытаний, эти работы стали выполняться в рамках государственной программы НИР.

Начиная с 90-х годов прошлого века работа по всем указанным выше основным направлениям стала проводиться в рамках ряда отечественных и международных программ и проектов:

– федеральная программа НИР МЧС (Госкомчернобыль) России (1992-1994 гг.);
– программа НИР Совета Безопасности России (1996 г.);
– программа НИР Координационного Совета Минатома РФ по анализу риска в ядерном комплексе (1997 - 2001 гг.);
– Федеральная программа «Семипалатинский полигон/Алтай» (1994 – 2000 гг.);
– Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008 - 2011 годы»;
– международный (ЕС-СНГ) послечернобыльский исследовательский проект JSP2 «Уровни вмешательства в СНГ, оценка риска и нерадиологические факторы в принятии решений» (1992-1996 гг.)
– и др.

Разработанная общая методика оценки и способ формирования частных методик могут быть применены и рекомендованы

- к оценке и анализу риска от таких источников риска как
  - внешние причины опасности (аварии и несчастные случаи в разных областях деятельности человека, пожары, убийства/самоубийства и др.),
  - воздействие вредных химических веществ, микро- и нано-биообъектов в нормальных и нештатных условиях;
- к формированию групп повышенного риска с оценкой и анализом риска и принятию решений по страхованию жизни и здоровья профессиональных работников и населения, оказавшегося в нештатных ситуациях.

Разработанные концептуальные основы принятия решений по безопасности человека на основе оценки и анализа риска, структура установления НБ для персонала и населения с единими универсальными и основными отраслевыми НБ и другими уровнями принятия решений по безопасности для регулируемых источников риска в нормальных и нештатных условиях могут быть использованы

при совершенствовании регулирующих документов по обеспечению безопасности персонала опасных производств, опасных видов деятельности и населения в зонах действия источников опасности.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием строгих положений математического анализа, теории вероятности и математической статистики, точностью и строгостью математических определений показателей риска и расчетных формул, составляющих основу методики оценки и анализа риска. Для оценки риска в разных ее вариантах разработан компьютерный комплекс БАРД (**Б**анк **Д**анных по **А**нализу **Р**иска). В основе расчетного алгоритма лежат строгие математические формулы методики оценки риска и хорошо известные формулы численных методов математики. Достоверность расчетов по БАРДу проверяется разного рода тестовыми расчетами.

В 1996 г. были проведены перекрестные расчеты радиационного риска по заданным соискателем входным данным (дозовые данные и МДД) между системами БАРД и ASQRAD при выполнении международного проекта EU-CIS Joint Study Project 2 с целью их валидации. Компьютерная система ASQRAD (Assessment System for Quantification of Radiological Detriment) разработана совместно специалистами Великобритании и Франции.

Методология и методы исследования

Методика оценки и анализа риска строится на основе использования математического анализа, теории вероятности м математической статистики. Расчетные алгоритмы в системе БАРД разработаны с использованием формул вычислительной математики, главным образом в части численного интегрирования. При расчете риска в качестве входных данных используются детальные медико-демографические данные той территории, для населения которой проводится оценка и анализ риска. Эти данные берутся из баз данных Росстата, российских медицинских и демографических организаций, баз данных ВОЗ и Евростата.

Апробация работы

Материалы работы докладывались на следующих национальных и международных конференциях, симпозиумах и т.п.:

- международная конференция ядерных обществ Франции и СССР «Ядерные аварии и будущее энергетики: уроки Чернобыльской аварии», апрель 1991 г., Париж, Франция;
- международный семинар «Уровни вмешательства и контрмеры в случае ядерных аварий», 7 - 11 октября 1991 г., Кадараш, Франция;
- международный симпозиум МАГАТЭ по воздействию радиоактивных выбросов на окружающую среду, 8-12 мая 1995 г., Вена, Австрия;
- международная конференция ВОЗ «Последствия для здоровья населения Чернобыльской и других радиационных аварий», 20 - 23 ноября 1995 г., Женева;
- международная конференция «Одна декада после Чернобыльской аварии», 8 -12 апреля 1996 г., Вена, МАГАТЭ;
- первая международная конференция ЕС, Беларуси, России и Украины по радиологическим последствиям Чернобыльской аварии, Минск, 18 - 22 марта 1996 г.;
- международная конференция «PSAM 5 – Probabilistic Safety Assessment and Management”, 27.11 - 1.12.2000, Osaka, Japan;
- международная конференция «ЕвроНаноФорум 2009», 28-30 сентября 2009 г., Берлин, Германия;
- международная конференция «Токсикологические и нормативные аспекты производства и применения наноматериалов в России», 15, 16 сентября 2009 г., Москва, Россия;
- VI съезд по радиационным исследованиям, 25 - 28 октября 2010 г., г. Москва;
- международная конференция «ЕвроНаноФорум 2011», 29 мая - 01 июня 2011 г., г. Будапешт, Венгрия;

- Международный симпозиум в рамках Форума «АТОМЭКСПО 2012», Москва, 5 июня 2012;
- международная научно-техническая конференция «Нанотехнологии функциональных материалов», г. Санкт-Петербург, 27-29 июня 2012 г.;
- пленум Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды РАМН и Минздрава РФ, 13,14.12.2012, Москва;
- 6-ой ИНПРО Диалог Форум по стабильному развитию глобальной ядерной энергетики: вопросы лицензирования и безопасности реакторов малой и средней мощности, 29.07-02.0-8.2013, МАГАТЭ, Вена, Австрия;
- Пленум Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды РАМН и Минздрава РФ, 12,13.12.2013, Москва;
- международный конгресс по нанобезопасности (INSC2014), Тегеран (Иран), 19, 20 февраля 2014 г.;
- международный симпозиум ASME 2014 «Малые модульные реакторы SMR2014», 15 – 17 апреля 2014 г., Вашингтон, США;
- научно-практическая конференция «Промбезопасность–2014», 9-10 сентября 214 г., г. Красноармейск Московской области;
- международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы радиационной гигиены», 02-03 октября 2014 года, Санкт-Петербург.

Публикации

По результатам исследований, составивших содержание диссертационной работы, опубликовано 55 печатных работ, из них 10 в зарубежных изданиях; в том числе 23 в рецензируемых журналах, из них 2 в зарубежных журналах.

Личный вклад соискателя

Диссертационная работа содержит теоретические, методические и прикладные результаты исследований, выполненных лично соискателем или при его непосредственном определяющем участии. Разработана концептуальная, 3-х уровневая структура методики оценки риска, общая методика риска как основная часть этой структуры с ее полным набором базовых величин и показателей риска,

включая впервые предложенные соискателем, с их точным определением и строгими математическими расчетными формулами.

Соискателем проведен расчет и анализ эффектов конкуренции рисков, часть из которых может носить парадоксальный характер, показана необходимость учета этих эффектов при оценке, анализе и принятий решений по безопасности на основе анализа риска.

Соискателем разработаны на основе оценки и анализа риска

1) гармонизированный подход к разработке регулирующих документов по обеспечению безопасности человека от разных источников вреда, включая нормы безопасности,
2) концептуальные основы управления безопасностью человека на основе оценки и анализа риска,
3) новая концепция стандартизации рисковых показателей при их усреднении по возрасту населения.

Оценки последствий ядерных испытаний и ядерных аварий выполнены соискателем с применением его научно-методических разработок.

В перечисленных выше отечественных и международных программах и проектах соискатель был руководителем или ответственным исполнителем в части развития и использования оценки и анализа риска.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Оценка и анализ риска: общая характеристика

Риск - это очень широкое понятие, отражающее многие, как правило, негативные явления в жизни отдельного человека или общества, проявления которых носит вероятностный (стохастический) характер. В диссертации **рассматривается риск здоровью или жизни человека от действия техногенных или природных источников вреда в нормальных и чрезвычайных ситуациях.**

1.1.1 Категории риска

По возможности свободы выбора риски подразделяются на:

- добровольные,
- недобровольные (вынужденные).

По степени приемлемости величины риска риски подразделяются на:

- неприемлемые,
- приемлемые с некоторыми условиями,
- приемлемые без каких-либо условий,
- пренебрежимые.

Можно также выделить по степени отношения к источнику техногенного или природного риска такие категории как

- профессиональный риск,
- риск для населения.

Занятия альпинизмом, экстремальными видами туризма и спорта относятся к категории добровольного риска, пользование общественным и личным транспортом можно отнести к категории добровольного и частично вынужденного риска.

1.1.2 Типы ситуаций воздействия источников риска

В подходах к управлению риском уместно выделять три типа ситуаций воздействия источников опасности [6]:

- ситуации планируемого воздействия, когда осуществляется намеренное введение и эксплуатация источника воздействия или намечается использование на производстве или в быту новых потенциально опасных услуг, приборов или материалов;
- ситуации аварийного воздействия, которое может возникнуть из ситуации планируемого или существующего воздействия вследствие аварии, злонамеренных действий или в результате другой неожиданной ситуации, например, природного явления (извержение вулкана, крупный лесной (торфяной) пожар и т.п.);
- ситуации существующего воздействия, включающие уже существующие источники воздействия, относительно которых принимается решение взять их под контроль; например, это выхлопы автомобилей, выбросы угольных или газовых электростанций и тому подобное.

1.1.3 Объекты оценки риска

Объектом оценки риска являются процессы воздействия на человека, в которых вероятностный (стохастический) характер носит либо само воздействие или (и) проявление вредных эффектов, включая смерть) в здоровье человека:

- ионизирующее излучение,
- вредные химические вещества,
- наноматериалы,
- микробы и вирусы,
- техногенные аварии,
- природные опасные явления, включая изменение климата,
- социальные факторы
- и др.

С начала 21 века все более актуальными становятся проблемы оценки риска воздействия нано-, нанобио-технологии и использования их материалов.

1.1.4 Эффекты воздействия на здоровье человека источников риска

Эффекты воздействия на здоровье человека ионизирующего излучения, вредных химических веществ и ряда других воздействующих агентов, можно разделить на две группы: детерминированные и стохастические (вероятностные) эффекты. Эффекты первой группы возникают при дозах (экспозициях) выше некоторых пороговых значений, зависящих от органа-мишени тела человека, вида агента и характера экспозиции (кратковременная или протяженная во времени). С ростом дозы (экспозиции) растет тяжесть эффекта.

К стохастическим эффектам воздействия следует отнести злокачественные новообразования, наследственные заболевания и ряд других, соматических заболеваний (болезни органов дыхания, системы кровообращения и др.). Величина дозы (экспозиции) определяет только вероятность проявления эффекта, но не его тяжесть. Укажем некоторые особенности стохастических эффектов, которые существенным образом влияют на возможность их надежной оценки и принятие решений по обеспечению безопасности, а именно:

- злокачественные новообразования, наследственные заболевания и, можно думать, большинство других стохастических заболеваний *неспецифичны*, то есть, неотличимы от аналогичных спонтанных проявлений, обусловленных воздействием совокупности факторов иной природы;
- возможная взаимозависимость эффектов риска (реальная, медико-биологическая) или расчетная (конкуренция рисков));
- для части эффектов могут иметь место значительные латентные периоды (интервал времени между воздействием и проявлением эффекта); так для солидных радиогенных и «химических» раков средние значения этих периодов составляют десятки лет;
- проявления этих эффектов могут оказаться статистически малыми по сравнению с их спонтанными аналогами практически для всех природных и

техногенных источников воздействия, исключая возможную высокую экспозицию в аварийных условиях;

- можно ожидать, что практически все будущие эпидемиологические исследования будут иметь малую статистическую мощность, затрудняющую получение надежных количественных данных.

К особым исключительным случаям относится получение очень высоких «доз» от источника риска отдельными лицами или небольшими группами профессионалов при авариях. Однако в этом случае основную проблему с защитой их здоровья составляют не рассматриваемые здесь детерминированные эффекты (для ионизирующего излучения острая лучевая болезнь и ее последствия).

Детерминированные эффекты изучаются в токсикологических исследованиях. Установление порога их действия служит основанием для установления норм безопасности (НБ). Неспецифические стохастические эффекты изучаются в эпидемиологических исследованиях с привлечением медико-биологических данных. Основанием для установления (пересмотра) НБ служат результаты оценки риска. Последние НБ могут оказаться более жесткими, чем НБ из токсикологических исследований, как это имеет место для ионизирующего излучения и некоторых вредных химических веществ.

Изучение детерминированных и стохастических эффектов ионизирующего излучения и вредных химических веществ заняло десятки лет. Идентификация этих эффектов для ионизирующего излучения состоялась в первой половине прошлого века. Первые НБ были установлены в конце 20-х годов прошлого века. По мере накопления знаний об эффектах воздействия ионизирующего излучения эти нормы изменялись в сторону ужесточения. Очень важную роль в развитии и обосновании НБ сыграло развитие и применение средств оценки радиационного риска. Реально о развитии и практическом применении оценки риска стало возможным говорить с конца 80-х годов прошлого века. Современные радиологические НБ в десятки-сотни раз жестче, чем первые НБ, установленные по результатам первых токсикологических исследований.

Изучение эффектов воздействия наноматериалов и биологических агентов на живые организмы будет достаточно сложным и длительным. Однако можно думать, что накопленный опыт токсикологических и эпидемиологических исследований для других вредных воздействий, более совершенные современные средства измерения и методы научных исследований позволят значительно сократить сроки получения практически значимых результатов.

1.2 Этапы оценки риска

Оценка риска и использование ее результатов состоит из нескольких основных и вспомогательных (обеспечивающих) этапов (см. рисунок 1.1):

- идентификация опасности,
- оценка дозы,
- собственно оценка риска,
- анализ и управление риском.

Последний этап, как правило, обеспечивает поддержку решений по безопасности.

Для каждого этапа должен быть разработан свой подход, методология и средства оценки.

1.2.1 Идентификация опасности

Этап - идентификация опасности – это первый, начальный этап оценки риска. Он состоит в свою очередь, из трех частей (стадий):

- оценка экспозиции (дозы),
- медико-биологические и эпидемиологические исследования,
- определение зависимости доза-эффект (экспозиция-ответ).

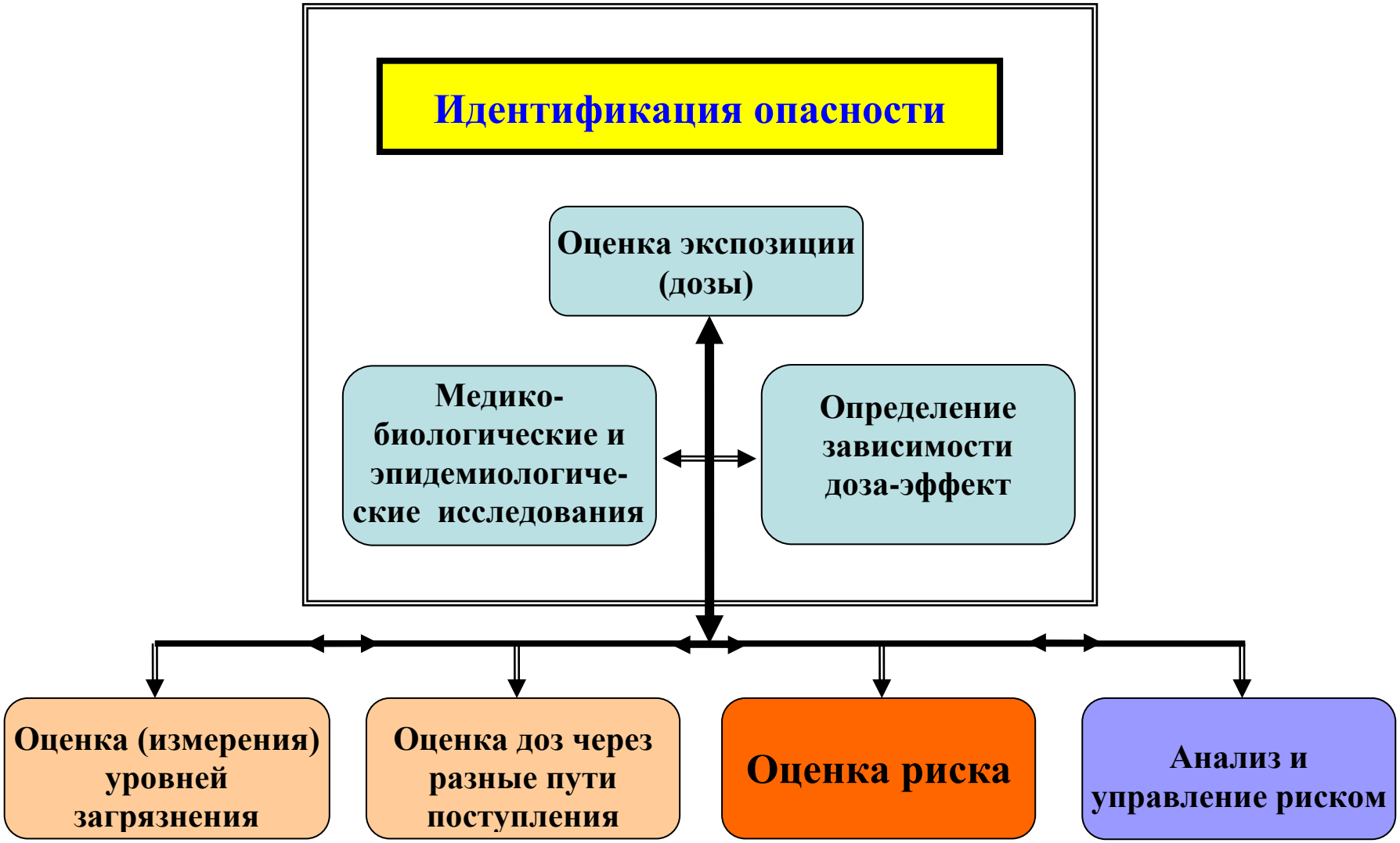


Рисунок 1.1 - Этапы оценки и управления риском воздействия вредных факторов окружающей среды на здоровье человека.

Идентификация опасности осуществляется при проведении токсикологических исследований на молекулярном, клеточном уровнях (исследования «in vitro») и организменном уровне (исследования «in vivo»). Могут быть также использованы результаты исследований на пострадавших в авариях людях с разными экспозициями вредному агенту, если такие аварии произойдут, как это было, например, при радиационных и химических авариях в прошлом.

Идентификация опасности предусматривает, прежде всего, установление на качественном уровне доказательств способности того или иного агента вызывать определенные вредные эффекты у человека. Другой более важной задачей, требующей значительно больше усилий, является получение экспериментального материала для установления порогов действия вредного агента и зависимостей доза – эффект (ЗДЭ) для детерминированных и, что может быть особенно трудным, стохастических эффектов. Последние выявляются в эпидемиологических исследованиях с привлечением медико-биологических данных.

На этапе идентификации опасности при выборе показателей опасности, необходимых для решения конкретных задач оценки риска, определяются предварительные пути воздействия вредного агента, которые в последующем уточняются на этапе оценки дозы этого воздействия. Параллельно решается задача об установлении наиболее подходящих показателей и методов оценки дозы воздействия вредного агента.

Воздействие – это контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом.

Всюду ниже используется обобщенное определение дозы воздействия. Конкретное ее определение зависит от изучаемого вредного агента (источника вредного воздействия), пути его поступления в организм человека и других факторов. Это может быть

- *поглощенная доза*, выражаемая поглощенной энергией на единицу массы (используется в оценке риска воздействия ионизирующего излучения);

- *экспозиционная доза*, выражаемая временным интегралом от концентрации вредного агента в атмосферном воздухе (используется в оценке риска воздействия вредных химических веществ, радиоактивного радона и др.);
- *доза*, выражаемая количеством агента, поступившего тем или иным путем в организм человека
- и др.

Подробнее об этом написано ниже, при рассмотрении методов оценки риска от конкретного источника вредного воздействия. В тех случаях, когда не уточняется определение дозы, термин доза используется в кавычках: «доза».

Токсикологические исследования позволяют получить, прежде всего, ЗДЭ для детерминированных эффектов. Для стохастических неспецифических эффектов наиболее надежные данные могут дать эпидемиологические исследования. Подходы, процедуры, правила и требования к эпидемиологическим исследованиям описаны в литературе.

1.2.2 Прогнозная оценка риска и эпидемиологические исследования

Оценка риска, или, как часто это называется, *прогнозная оценка риска* (см. нижний ряд рисунка 1.1) основывается на результатах выполнения задач первого этапа – идентификации опасности. Эти результаты обеспечивают этап собственно оценки риска необходимыми входными данными: ЗДЭ для детерминированных и стохастических эффектов, показателями и методами оценки «дозы».

С использованием результатов эпидемиологических исследований и с привлечением результатов лабораторных экспериментов и теоретических представлений компетентные национальные и международные организации разрабатывают модели оценки риска или, иными словами, модельные ЗДЭ. Именно эти модели являются одной из основных частей процедуры оценки риска. Примеры таких организаций: Международная Комиссия по радиологической защите (МКРЗ), Научный Комитет по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН), Комитет по биологическим эффектам воздействия ионизирующего излучения

Национальной академии наук США (BEIR USA), Агентство по защите окружающей среды США (EPA USA) и др.

В СССР и России до недавних пор не ставилась в достаточном объеме задача проведения эпидемиологических исследований и разработки моделей оценки риска. При выполнении оценок риска в России приходится использовать «экспортный продукт» - ЗДЭ, полученные за рубежом.

В 2011/14 гг. в России разработана модифицированная модель оценки риска от воздействия радона [8]. Она используется для оценки риска воздействия радона. Кроме того, по материалам российских специалистов разработана модельная ЗДЭ для оценки риска воздействия плутония на легкие [9]. Эта разработка исключительно актуальна, учитывая текущее и особенно перспективное использование плутония в ядерном топливном цикле.

Прогнозная оценка риска может быть проведена как ретроспективно, так и проспективно. Примером ретроспективной оценки может служить изучение последствий ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне для населения Алтайского края. Вопрос о необходимости такого изучения был поставлен спустя 45 лет после первого ядерного испытания в 1949 г. Правда, из-за очень больших латентных времен радиогенного рака в оценке последствий присутствовала как ретроспективная, так и перспективная части [10].

Главное назначение эпидемиологических исследований – получение и уточнение количественных данных о проявлениях стохастических эффектов. Их практическая значимость в принятии решений по медицинской и социальной защите населения ограничена из-за запаздывания в получении данных (констатация постфактум). Поэтому для поддержки принятия решений по защитным мерам можно рассчитывать в основном на результаты прогнозной оценки риска.

1.2.3 Входные данные для прогнозной оценки риска

На рисунке 1.1 прогнозная оценка риска (или просто оценка риска) показана блоком в нижнем ряду. Входные данные для оценки риска делятся на внешние и

внутренние. К первым относятся ЗДЭ, полученные на этапе идентификации опасности, и «дозовые» данные (см. блок в нижнем ряду рисунка), рассчитанные по специальным методикам для данной конкретной оценки риска.

Отметим, что на рисунке 1.1 показаны два блока оценки «доз»: на этапе идентификации опасности и в нижнем ряду оценки риска. Эти блоки соответствуют разным задачам. На стадии идентификации опасности разрабатывается подход к оценке «доз», осуществляется выбор наиболее удобных показателей «дозы», разрабатывается методики оценки «доз» и производится расчет «доз» для поддержки токсикологических и эпидемиологических исследований. На стадии оценки риска (нижний ряд) производится оценка «доз» по ранее разработанным методикам как входных данных для прогнозной оценки риска. Разумеется, методики оценки «доз» могут совершенствоваться и с использованием опыта прогнозной оценки риска.

Слева в нижнем ряду показан этап (блок) оценки уровней загрязнения окружающей среды изучаемым агентом. Он обеспечивает необходимые данные для этапа оценки «доз». Этот этап должен быть обеспечен своим набором данных и методик, в разработке которых используются набор разных научных дисциплин (математические, физические, химические и биологические и другие научные дисциплины). Этот этап в настоящей публикации не рассматривается.

К внутренним входным данным относятся медико-демографические данные для рассматриваемой популяции населения, необходимые для оценки риска. Эти данные более подробно рассмотрены при описании методики оценки риска.

1.2.4 Анализ и управление риском

Результаты оценки риска анализируются с позиций их практического применения. Они необходимы для управления риском - поддержки принятия решений по ряду направлений:

- установление и пересмотр санитарно-гигиенических правил и нормативов;
- разработка технических регламентов;
- технические и организационные защитные меры,

- средства и способы защиты здоровья населения при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера;
- санитарно – гигиенический мониторинг и защита,
- медико-социальное и экономическое обоснование размеров и порядка возмещения гражданам или юридическим лицам ущерба (вреда) здоровью, причиненного негативными воздействиями вредных факторов;
- сравнительная оценка прогнозируемых ущербов здоровью при различных санитарно-эпидемических ситуациях;
- медицинские меры защиты здоровья
- и др.

1.3 Исторический экскурс

Оценка и анализ риска во всех своих аспектах начал интенсивно развиваться в развитых странах с 70-х годов прошлого века. В настоящее время уровень его развития характеризуется наличием большого количества институтов и лабораторий, проведением национальных и международных конференций, публикацией многих монографий, регулярным выпуском международных и национальных научных журналов. Отметим, например, европейское общество по анализу риска с его научными журналами «Risk Analysis», «Risk Research» и ежегодными международными конференциями. На национальных и международном уровнях разработан и принят к практическому использованию ряд регулирующих документов. Значительный прогресс достигнут в развитии средств анализа риска: научно-методических основ, установлении зависимостей доза-эффект (ЗДЭ) для ионизирующего излучения, ряда химических загрязнителей природной среды и других источников опасности, а также в разработке компьютерных расчетных программ и баз данных.

В СССР и России до середины 80-х годов прошлого века можно отметить только инициативные НИР отдельных исследовательских групп или специалистов (Ковалев Е.Е., Сакович В.А., Книжников В.А., Филюшкин И.В. и др.). Такие работы начали проводится и в ИАЭ им. И.В.Курчатова (Быков А.А., Демин В.Ф.,

Шевелев Я.В. и др.). На тот момент времени практическое применение в СССР анализ риска нашел только в одной, специфической области деятельности: в обеспечении радиационной безопасности космических полетов (Ковалев Е.Е., Сакович В.А.).

На рисунке 1.2 приведена приближенная временнáя шкала развития оценки и анализа риска от разных источников вреда в мире. Здесь имеется в виду начало достаточно широкой активности в этой области. Отдельные работы, прямо или косвенно имевшие отношение к оценке и анализу риска, могли быть и раньше указанных на рисунке сроков.

По разным причинам в 90-х годах в России возросла практическая потребность в анализе риска как основе поддержки принятия решений по обеспечению экологической и социальной защиты населения. В частности, необходимость использования анализа риска при принятии решений по защитным и восстановительным мерам после радиационной аварии является одним из основных уроков ликвидации последствий Чернобыльской и других аварий, а также испытаний ядерного оружия. Экологическое регулирование при развитии опасных производств, особенно топливно-энергетического комплекса, также нуждается в анализе риска.

В 1997 г. Минздрав РФ выпустил специальное постановление относительно развития и использования анализа риска для здоровья человека для поддержки решений по защите окружающей среды и здоровья населения, социально-гигиеническому мониторингу и др. [7]. Была создана также Проблемная Комиссия по комплексной оценке риска и Совет по аккредитации органов по оценке риска.

T, годы	Факторы опасности в оценке риска		
70-80 - ые гг. 20 век	**Ионизирующее излучение**	**Аварии в промышленности и на транспорте**	**Природные катастрофы**
80-90 - ые гг. 20 век		**Химическое загрязнение среды обитания человека**	
90 - ые гг. 20 век	**Другие физические факторы**	**Микробиологические факторы**	**Социальные факторы**
~ 2000 г.	**Нанотехнологии**		**Глобальное изменение климата**

Рисунок 1.2 - Факторы опасности и примерное время *T* начала развития средств оценки риска.

В 1997 г. был организован Координационный Совет Минатома РФ по оценке риска в ядерном комплексе, работа которого направлена на организацию и проведение НИР по разработке средств оценки и анализа риска для поддержки принятия решений по обеспечению безопасности и защиты окружающей среды.

С 2004 г. выпускается журнал «Проблемы анализа риска» Российского научного общества анализа риска.

В связи с потребностью в анализе риска в рамках отечественных и международных программ (проектов) НИР стали развиваться средства оценки и анализа риска и соответствующее регулирование. Специалисты из НИЦ «Курчатовский институт», НИИ питания РАМН, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, ФМБЦ им. А.Н.Бурназяна ФМБА РФ, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям МЧС России, Российского научного общества анализа риска и других исследовательских организаций вовлечены в эти работы. Основное направление этих работ: развитие средств оценки и анализа риска (методика, компьютерные программы и базы данных), отдельные конкретные исследования, использование результатов анализа для поддержки принятия решений по безопасности и др.

1.4 Актуальность развития и применения оценки и анализа риска, направление исследований

Промышленное развитие со 2-ой половины XX столетия характеризуется как относительно быстрым ростом объема промышленного производства, так и изменением его структуры. Это изменение происходит в сторону создания производств большой единичной мощности с высокой энергонасыщенностью и содержанием в больших количествах потенциально опасных технологических материалов и отходов. К природным катастрофам добавилась реальная опасность техногенных катастроф и глобальных изменений среды обитания человека.

Число чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера продолжает расти, масштабы их последствий становятся все более опасными для населения, окружающей среды, социально-экономической сферы государств [1]. Список уже произошедших катастроф хорошо известен: Три-Майл-Айленд, Бхопал, Севезо, Чернобыль, Фукусима и др.

Это потребовало изменения подхода к обеспечению безопасности промышленности: от инженерного подхода и принципа абсолютной безопасности к вероятностному анализу безопасности, исследованию процессов в аварийных условиях, оценке последствий аварий, анализу риска и концепции приемлемого риска, оптимизации решений по безопасности и т.п. Как ответ на эту потребность стало необходимым развивать междисциплинарное научное направление **«оценка и анализ риска».**

С конца прошлого века начала развиваться нано-, нанобиотехнологии и становятся актуальными проблемы обеспечения безопасности человека от возможного вредного воздействия нано-, нанобиоматериалов. Это расширяет область развития и применения оценки и анализа риска.

Диссертационная работа относится к той части анализа безопасности, в которой осуществляется оценка и анализ воздействия на здоровье профессиональных работников и населения техногенных и частично природных источников риска. В общепринятом определении это третий уровень обеспечения безопасности [2].

Объектом оценки риска являются процессы воздействия на человека (источники риска), в которых вероятностный (стохастический) характер носит либо само воздействие или (и) проявление вредных эффектов, включая смерть, в здоровье человека. В первом случае имеются в виду техногенные аварии или стихийные бедствия, следствием которых могут быть прямые (детерминированные) поражения здоровья людей и даже смерть.

Агентство по защите окружающей среды США определяет риск для здоровья человека как вероятностное проявление вредного эффекта в его здоровье под воздействием опасных факторов среды обитания людей [3].

Это практически совпадающие определения.

Госстандарт [4] дает более общее определение: Риск - это сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба.

Общий подход к оценке, анализу и управлению риском в общем его определении и в разных областях деятельности человека (экономика, социальная сфера, промышленность и др.) представлен в публикации [5].

Определение термина «риск» носит качественный характер. Количественно риск определяется *показателями риска.* Имеется набор таких показателей, выбор и использование которых зависит от постановки конкретной задачи. Определение показателей риска приводится в главе 2.

Анализ риска в разных его применениях начал интенсивно развиваться в развитых странах с 70-х годов прошлого века. Чернобыльская авария дала толчок работам по анализу риска в СССР и России. Политические изменения в СССР, с одной стороны, сняли идеологические ограничения на подобные работы, с другой стороны, расширили область необходимого применения анализа риска (ранее закрытые объекты ядерного комплекса, произошедшие в прошлом радиационные аварии, ядерные испытания, обращение с отходами, снятие с эксплуатации АЭС и других радиационно опасных объектов, разработка стратегии развития энергопроизводящего комплекса страны или отдельного региона с учетом современных требований обеспечения безопасности и защиты окружающей среды и др.).

К этому следует добавить следующее:

- В новых экономических условиях необходимо решать вопросы с обоснованием платежей за радиоактивные и химические выбросы в окружающую среду, с оценкой ущерба при авариях на ядерных объектах, их вероятности и страхованием установок, персонала и населения.
- Один из основных принципов обеспечения радиационной и химической безопасности и защиты окружающей среды - принцип оптимизации - до сих пор остается на уровне общего пожелания и не реализуется на практике из-за отсутствия соответствующих методических и регулирующих документов.

- Необходимость использования анализа риска при принятии решений по защитным и восстановительным мерам после радиационной аварии является одним из основных уроков ликвидации последствий Чернобыльской и других аварий, а также испытаний ядерного оружия.

Однако до сих пор применяется в основном упрощенный вариант анализа риска. Он сводится к определению уровней загрязнения природных сред или «доз» воздействия на человека или флору и фауну и сравнению с установленными предельно допустимыми концентрациями (ПДК) вредных веществ или предельно допустимыми «дозами» (ПДД). В радиационной защите это так называемый дозовый подход, в котором основным показателем является эффективная доза.

В нормальных условиях, когда ПДК (ПДД) установлены обоснованно и они соблюдаются, такой простой и ясный для всех участвующих в принятии решения сторон подход (научные, производственные, законодательные и контролирующие организации) вполне достаточен. Тем не менее, и в этом случае необходим более детальный анализ риска для обоснования ПДД или ПДК, как это делается, например, в национальных (США, Великобритания и др.) и международных организациях по радиационной защите (МКРЗ, НКДАР ООН и др.).

Вплоть до настоящего времени при установлении норм безопасности (НБ) и других уровней принятия решений по безопасности для разных источников вредного воздействия используются разные подходы и разные рисковые или «дозовые» показатели. Их трудно, если вообще возможно, сопоставить друг с другом. По этой причине трудно или практически невозможно сравнить НБ и другие уровни принятия решений по безопасности в разных областях деятельности человека. В такой ситуации трудно рассчитывать на их оптимальность.

Причина такого положения (несоответствие между практической потребностью и возможностью использования анализа риска): недостаточное развитие научно-методической и нормативно-правовой базы, а также современных компьютерных систем (баз данных, расчетных и других программ).

Принятие решений по послеаварийным защитным и восстановительным мероприятиям вне площадки осуществляется главным образом на основе учета

только радиологических последствий и при этом, также как и в нормальных условиях, применяется дозовый подход.

В регулирующих документах, принятых национальными и международными организациями (МКРЗ, МАГАТЭ, РНКРЗ и др.) в разные годы, в том числе и в последнее время, установлены дозовые уровни вмешательства, служащие основой принятия решений по защитным и восстановительным мерам. Прямыми измерениями или расчетным путем устанавливаются дозы облучения населения и в зависимости от их соотношения с дозовыми уровнями вмешательства принимаются решения по радиационной или социальной защите. При этом используется, как правило, концепция эффективной дозы D_E, разработанная и предложенная МКРЗ. Последнее уточнение этой концепции сделано в 103-ей публикации МКРЗ в 2007 г.[6].

Как показал опыт оценок и анализа последствий ядерных аварий, ядерных испытаний и проведения защитных и восстановительных мероприятий, существует целый ряд причин, по которым необходимо, с одной стороны, выйти за пределы радиационной защиты и рассматривать также и нерадиационные факторы риска. С другой стороны, оставаясь в рамках радиационной защиты, недостаточно основываться на концепции эффективной дозы, даже если рассматриваются только стохастические эффекты облучения.

Необходимость оценки нерадиационного риска в аварийных и им подобных ситуациях обусловлена следующим:

- некоторые принимаемые контрмеры могут иметь отрицательные побочные последствия для населения нерадиологической природы; например, переселение, как показывает имеющийся опыт, из-за изменения социальных и других условий проживания может отрицательно сказаться на здоровье человека; возможные отрицательные изменения в социально-психологическом состоянии (стрессы, состояние возбуждения и страха) также оказывают существенные изменения в здоровье людей;
- как следует из современной методологии оценки радиационного или «химического» риска, для ее применения необходимо знать медико-

демографические данные о рассматриваемом населении, включая фоновые значения канцерогенного риска [2];

- возможное отсутствие полного благополучия с состоянием здоровья населения, вызванного местными или общегосударственными социальными условиями проживания, требует с позиций наиболее эффективного вложения средств в защиту здоровья оценивать единым образом - с позиций анализа риска - состояние здоровья в целом и фоновые радиационные и нерадиационные факторы риска;
- отметим эффект так называемой конкуренции рисков; этот эффект приводит в принципе к взаимному влиянию разных факторов риска даже при их исходной статистической независимости;

Большую роль с конца прошлого века возникла потребность в сравнительном анализе риска при принятии решений по выбору типа энергопроизводства на местном, региональном и глобальном уровнях. В этом анализе существует необходимость оценки риска от разных источников радиационной и нерадиационной природы.

Однако несмотря на усилия в развитии методов оценки и анализа риска и потребность в использовании результатов таких оценок в разных областях деятельности человека, вплоть до настоящего времени наблюдается несоответствие между практической потребностью и возможностью использования анализа риска. Причина такого положения: недостаточное развитие научно-методической и нормативно-правовой базы, а также современных компьютерных систем (баз данных, расчетных и других программ). Выше описаны некоторые проблемы в развитии средств оценки и анализа риска и в их практическом применении.

Таким образом, существует **актуальная проблема** в принятии решений по безопасности на основе анализа риска и их обоснования: недостаточное развитие научно-методической и нормативно-правовой базы оценки, анализа и управления риском, а также современных компьютерных систем (баз данных, расчетных и

других программ), обеспечивающих оценку и анализ риска во всех необходимых для принятия решений деталях.

В связи с этим выбрано следующее **направление исследований диссертационной работы:** разработка научно-методических основ оценки и анализа риска, развитие и обоснование регулирующих документов по безопасности человека в нормальных и чрезвычайных ситуациях на основе оценки, анализа и управления риском.

ГЛАВА 2 ОБЩАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА

2.1 Трехуровневая схема методических основ оценки риска

Средства оценки и анализа риска находятся в состоянии постоянного развития с использованием новых достижений и отвечая на новые практические потребности (см., например, [2,3,5-29]). На современном уровне их развития становится возможным в достаточно полной форме описать общие научно-методические основы оценки риска, применимые к любому источнику вредного воздействия.

Эти основы, или далее общая методика оценки риска служит базой для разработки и обоснования частных (для некоторого конкретного источника опасности) и (или) упрощенных методик оценки риска, см. 3-х уровневую схему на рисунке 2.1. В последних, как правило, используются усредненные показатели риска и упрощенные расчетные формулы. Обоснование применимости упрощенных методик может быть сделано только с помощью общей методики.

Такая структура методических основ оценки риска в своем полном развитии делает более прозрачными и сравнимыми как частные методики, так и поддержку принятия решений по защитным и прочим мерам от разных источников вреда на основе анализа риска.

Частная методика оценки риска, применимая к некоторому конкретному источнику вреда, в таком подходе состоит из следующих 2-х частей [2,11]:

1) общая методика оценки риска, применимая к любым изучаемым источникам вредного воздействия;
2) зависимость «доза» – эффект (экспозиция–ответ) для данного источника вредного воздействия, полученная в виде повозрастных коэффициентов смертности или заболеваемости.

Исходной информацией (входными данными) для частной методики являются «дозы» воздействия и МДД.

Частные методики для разных источников вреда различаются только частью 2), входными данными и специфическими требованиями к предоставлению МДД.

Только при наличии этих двух частей можно говорить о полноте и достаточности частной (конкретной) методики оценки риска. По ней можно рассчитать любой необходимый набор специфичных или общих показателей риска в их возможных зависимостях от уровня воздействия вредного фактора, пола, возраста, местных условий и др. и затем в усредненной форме, если это необходимо.

Часть 1) на современном уровне развития средств оценки риска может быть достаточно полно и строго описана. МДД могут быть получены из публикаций Росстата или баз данных ВОЗ.

Все сложные проблемы оценки риска воздействия ионизирующего излучения (ИИ), вредных химических веществ (ВХВ) и ряда других источников вреда связаны с п. 2).

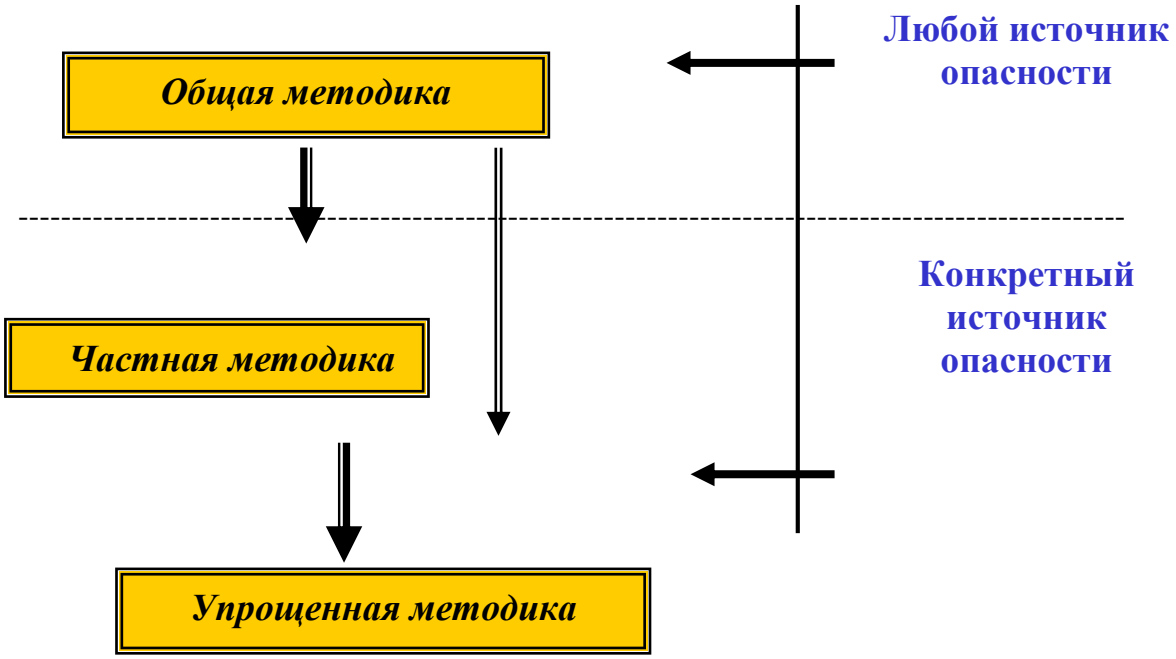


Рисунок 2.1 - Три уровня методики оценки риска.

Ниже в этой главе описана общая методика оценки риска. Помимо собственных разработок в ней использованы материалы отечественных и зарубежных публикаций, а также соответствующие материалы компетентных международных и национальных организаций (МКРЗ; НКДАР ООН; ВОЗ; EPA, BEIR США; НКРЗ Великобритании и др.).

Следует отметить, что параллельно с методикой развивается расчетные компьютерные комплексы. Примеры таких комплексов:

- БАРД (**Б**анк **Д**анных по **А**нализу **Р**иска, или по-английски BARD – **B**ank of **D**ata for **A**nalysis of **R**isk), включающий базу необходимых медико-демографических данных, расчетные и служебные программы; развивается в НИЦ «Курчатовский институт» [27].
- TERA (Tools for Environmental Risk Assessment – Инструмент для оценки риска факторов окружающей среды). Развивается при НИИ ЭЧ ГОС им. А.Н. Сысина.

Приведенные в последующих разделах примеры расчетов риска выполнены с использованием комплекса БАРД.

В соответствии с 3-х уровневой структурой методики оценки риска, предложенной выше в этом разделе, ниже описывается ее первый, основной уровень - общая методика оценки риска, применимая к любому источнику риска, в том числе возникающему в чрезвычайной ситуации [2,11-18].

2.2 Базовые величины. Основные определения

К базовым величинам, используемым в оценке риска, относятся:

- ***повозрастные коэффициенты фоновой смертности и заболеваемости,***
- ***функция дожития,***
- ***ожидаемая продолжительность предстоящей жизни для разного возраста,***
- ***повозрастные распределения населения***
- ***и др.***

Базовые величины характеризуют «фоновое» состояние здоровья населения (до воздействия рассматриваемого вредного фактора).

Повозрастные коэффициенты смертности и заболеваемости. *Повозрастные коэффициенты смертности $\mu(a)$ или заболеваемости $m(a)$ определяются как временная плотность вероятности умереть или заболеть в возрасте a при условии дожития до этого возраста.* Первая величина имеет несколько других

наименований: временная плотность условной вероятности смерти, сила смертности и др. Повозрастные коэффициенты смертности $\mu(a)$ (функции возраста a) вычисляются как отношения чисел умерших в данном возрасте в течение календарного года к среднегодовой численности лиц данного возраста по текущей оценке. Эти коэффициенты характеризуют средний уровень смертности в каждой возрастной группе в календарном году.

Если $\mu(a)$ относится к некоторой конкретной i-ой причине смерти, то она обозначается как $\mu_i(a)$. Саму $\mu(a)$ будем относить к сумме всех причин смерти:
$\mu(a) = \sum_i \mu_i(a)$.
Аналогичные обозначения используются для заболеваемости. Разумеется, что все события смерти или заболевания рассматриваются как случайные.

Функция дожития $S(a)$ определяется как вероятность (безусловная вероятность) человеку дожить до возраста a, начиная от рождения. Она вычисляется по формуле

$$S(a) = exp[-\int_0^a \mu(a')da']. \qquad (2.1)$$

Далее для обозначения возраста используются два символа: e и a. Если они встречаются в одном выражении, то e обозначает, как правило, начальный возраст, a - текущий или конечный возраст.

Функция дожития $S(e,a)$ от возраста e до возраста a вычисляется аналогично:

$$S(e,a) = exp[-\int_e^a \mu(a')da']. \qquad (2.2)$$

По определению функции дожития

$$S(a) = S(e) * S(e,a),$$
$$S(e,a) = S(a) / S(e).$$

Легко видеть, что $S(0)=1$ и $S(e,e)= 1$; $S(\infty) = S(e,\infty) = 0$.

Вероятность $W(a)$ умереть к возрасту a от всех причин смерти и интенсивность риска смерти $r(a)$ (или другими словами временная плотность риска: изменение риска в единицу времени) соответственно равны

$$W(a) = 1 - S(a),$$

$$r(a) = dW(a)/da \;=\; -\, dS(a)/da = S(a)\cdot \mu(a). \qquad (2.3)$$

Вероятностное распределение $r(a)$, как и должно быть, нормировано на единицу (полная пожизненная вероятность смерти от всех причин равна единице):

$$\int_0^\infty r(a)da \;=\; \int_0^\infty S(a)\cdot\mu(a)\, da = \int_0^\infty exp[-\int_0^a \mu(a')da']\cdot\mu(a)da =$$

$$\int_0^\infty exp(-M)\, dM \;=\; 1, \;\; (\; M(a) = \int_0^a \mu(a')da' \;). \qquad (2.4)$$

В отличие от $\mu(a)$ (временная плотность условной вероятности смерти) функция $r(a)$ называется также временной плотностью безусловной вероятности смерти. На рисунке 2.2 дан пример базовых величин $S(a)$, $\mu(a)$ и $r(a)$.

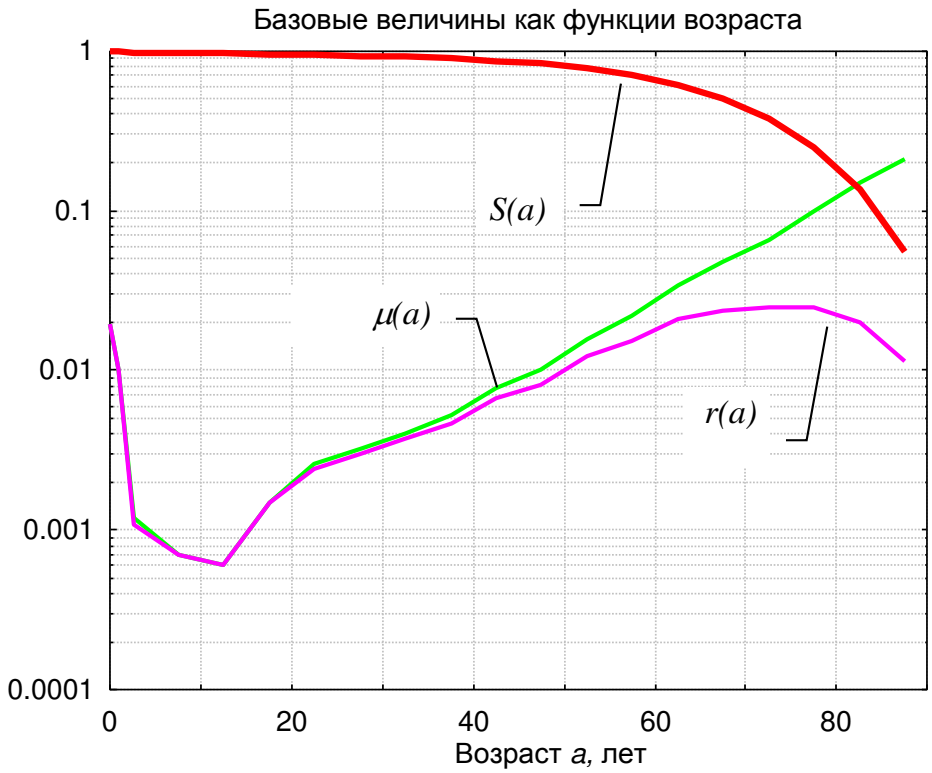


Рисунок 2.2 - Пример базовых функций $S(a)$, $\mu(a)$, а также интенсивности риска $r(a)$ (Россия, мужское население, по данным Госкомстат на 1989 г. [30,31]; размерность $\mu(a)$ и $r(a)$ - [год$^{-1}$]).

Ожидаемая продолжительность жизни $L(e)$ для лиц, достигших определенного возраста e - среднее число лет, которое предстояло бы прожить

людям, достигшим данного возраста при сохранении в каждом следующем возрасте современного уровня смертности.

Полная продолжительность $L \equiv L(0)$ ожидаемой предстоящей жизни (от рождения) или, в строгом теоретико-вероятностном определении, математическое ожидание возраста смерти или, что то же самое, длительности предстоящей жизни равна:

$$L = \int_0^\infty a * r(a)da = \int_0^\infty S(a)da. \qquad (2.5)$$

Далее будет использоваться в основном вторая часть этого определения. Доказательство равенства двух выражений в формуле (2.5) приведено в Приложении А.

Аналогично вычисляется ожидаемая продолжительность предстоящей жизни $L(e)$ для человека возраста e:

$$L(e) = \int_e^\infty S(e,a)da, \qquad (2.6)$$

где функция $S(e,a)$ определена выше (см. формулу (2.2)). Отметим, что $L(e) > L - e$. Нередко существует упрощенное и неверное представление, что $L(e)=L - e$.

При $a > 70$ лет функция $H(a)$ быстро стремится к нулю с ростом a, а после 100 лет становится практически бесконечно малой. Используемый здесь и в других интегралах ниже верхний предел интегрирования, равный ∞, означает только то, что нет точного биологического предела жизни (или знания о нем), который можно было бы поставить в качестве этого предела. В реальных расчетах выбирают верхний предел равным 100 или 110 лет. Легко проверить, что результаты расчета не чувствительны к вариациям этого предела в этом диапазоне и тем более вне его справа, если осуществлена правильная экстраполяция $S(a)$ в область больших a ($a > 85$ лет; как правило, все медико-демографические данные даются в диапазоне $a = 0 - 85$ лет).

Продолжительность предстоящей жизни от рождения L включена специалистами ВОЗ в список основных показателей состояния здоровья и социального благополучия населения.

2.3 Показатели индивидуального риска. Определения и расчетные формулы

К показателям индивидуального риска относятся:

- ***интенсивность риска смерти,***
- ***пожизненный риск смерти,***
- ***ущерб здоровью человека в потерянных годах жизни,***
- ***относительный годовой ущерб,***
- ***показатели риска заболеваемости,***
- ***относительный, атрибутивный и абсолютный риск,***
- ***вероятность причинной обусловленности возникновения неспецифического заболевания или смерти.***

2.3.1 Интенсивность риска смерти

Интенсивность риска смерти (или временна̊я плотность вероятности смерти) $r_i(e,t)$ от некоторого i-го источника воздействия для человека начального возраста e как функция времени t (или текущего возраста $a = e + t$) в полной аналогии с формулой (2.3) равна:

$$r_i\,(e,t) = S\,(e,e+t)\cdot\mu_i(e+t), \quad \text{или} \quad r_i\,(e,a) = S(e,a)\cdot\mu_i(a)\,. \qquad (2.7)$$

У этой формулы простой наглядный смысл: вероятность умереть в возрасте a равна произведению вероятности дожить до этого возраста (функция $S(e,a)$) на вероятность умереть в этом возрасте (функция $\mu_i(a)$). Отсюда ясно, почему функцию $\mu_i(a)$ называют условной плотностью вероятности смерти: чтобы эта вероятность могла реализоваться, необходимо, чтобы человек дожил до этого возраста. Здесь у функции $r_i(...)$ в отличие от формулы (2.3) введены два параметра e и t вместо одного для различения начального возраста e и текущего возраста $a = e + t$.

2.3.2 Пожизненный риск

Пожизненный риск R_i определяется как вероятность умереть от i-го источника риска на протяжении всей предстоящей жизни. Величина R_i рассчитывается по формуле:

$$R_i = \int_0^\infty r_i(a)da\ , \quad r_i\,(a) = S(a)\cdot\mu_i(a)\ , \tag{2.8}$$

где величины $S(a)$ и $\mu_i(a)$ определены выше.

Отметим, что функции $\mu_i(a)$ могут зависеть и от других параметров (пола человека, типа населения и др.). В явном виде эти зависимости прописываются в описании конкретных моделей оценки риска. Так это сделано в главе 3 при описании моделей радиационного риска.

Отметим также условие нормировки:

$$\sum_i R_i = 1 \tag{2.9}$$

(сумма по всем источникам риска, включая риск смерти от естественных причин: старость и др.; это повторение формулы (2.4) в несколько ином виде), которое может быть использовано в расчетной ЭВМ-программе в качестве проверки точности вычислений.

Пожизненный риск $R_i(e)$ для человека возраста e вычисляется аналогично:

$$R_i(e) = \int_e^\infty r_i(e,a)da = \int_e^\infty S(e,a)\cdot\mu_i(a)da. \tag{2.10}$$

Первое выражение в формуле (2.5) можно назвать также средним возрастом смерти от всех причин смерти. В этом понимании средний возраст смерти $a_{см.,i}$ от некоторой i-той причины смерти вычисляется как

$$a_{см.,i} = \int_0^\infty a\cdot r_i(a)da\ /\ R_i\ . \tag{2.11}$$

Величина $\rho_i(a)= r_i(a)/R_i$ нормирована на полную вероятность, равную 1. Ее можно назвать интенсивностью риска смерти от i-той причины смерти, но отнесенной к части людей, которые умирают только от этой причины. Величина же $r_i(a)$ относится ко всей когорте людей.

Выражение (2.11) нетрудно преобразовать в следующий вид:

$$a_{см.,i} = \int_0^\infty \hat{S}_i(a)da, \quad \hat{S}_i(a)=1 - R_i(a) / R_i ,$$

где $R_i(a)$ – вероятность смерти от i-той причины смерти от рождения до возраста a:

$$R_i(a) = \int_0^a r_i(a')da' ,$$

а $\hat{S}_i(a)$ есть функция дожития до возраста a от рождения, но в отличие от функции $S(a)$, она относится к той части когорты людей, которые умрут только от этой i-той причины смерти.

Из формулы для $R_i(a)$ следует, что средний возраст смерти $a_{см.,i}$ можно назвать также и ожидаемой продолжительностью жизни для этой части людей, обозначив ее как L_i .

В таблице 2.1 приведены показательные результаты вычислительного эксперимента относительно среднего возраста смерти от основных классов причин смерти для населения России в 1989 и 2008 гг. Подобные данные можно найти, например, в публикациях Росстата [30,31] и ВОЗ [32,33].

Подобно формулам (2.8) и (2.10) может быть определен пожизненный риск $Rd_i(e)$ и интенсивность риска $rd_i(e,t)$ для заболеваемости; например,

$$rd_i(e,t) = S(e,e + t)\cdot m_i(e + t). \tag{2.12}$$

Величина $Rd_i(e)$ может быть больше 1.

Полезно для некоторых применений ввести специальные показатели пожизненного риска смерти $\hat{R}_i$ и заболевания $\hat{R}d_i$ от некоторого фактора риска i, рассчитываемые по формулам

$$\hat{R}_i = \int_0^\infty \hat{S}_i(a)\cdot\mu_i(a)da, \tag{2.13}$$

$$\hat{R}d_i = \int_0^\infty \hat{S}_i(a)\cdot m_i(a)da, \tag{2.14}$$

Они определяются как пожизненная вероятность смерти (заболевания) при действии только фактора риска i в отсутствие всех остальных факторов риска. В

публикации [34,35] величины пожизненного риска смерти $\hat{R}_i$ и заболевания $\hat{R}d_i$ названы *кумулятивным риском.*

Отношение

$$\alpha_i = \hat{R}_i \,/\, \hat{R}d_i \qquad (2.15)$$

есть летальность - относительная вероятность смерти (относительно полной вероятности заболевания) при действии фактора риска i .

В следующей главе 3 эти величины будут конкретизированы в применении к оценке риска от спонтанного и радиогенного рака.

Таблица 2.1 - Средний возраст смерти $a_{см.,i}$ от основных классов ее причин для населения России в 1989 и 2008 гг. Расчет по БАРД, входные данные Росстата [30,31].

Основные классы причин смерти	Коды классификации ВОЗ	$a_{см.,i}$ **), год			
		1989 г.		2008 г.	
		муж.	жен.	муж.	жен.
Инфекцион. и паразитарные болезни	A00-B99	46,0	39,0	44,1	42,3
Злокачественные новообразования	C00-C96	64,9	67,1	65,7	68,0
Болезни системы кровообращения	I00-I99	72,3	79,5	68,9	78,7
Болезни органов дыхания	J00-J99	66,5	71,0	61,6	67,2
Болезни органов пищеварения	K00-K93	63,5	70,2	55,9	63,8
Внешние причины смерти *)	V01-Y98	43,2	52,9	44,3	50,8

*) Внешние причины смерти: несчастные случаи, аварии, пожары, утопления, убийства, отравления и др.

**) Среднеквадратичное отклонение расчетных величин $a_{см.,i}$ не превышает 1 %.

2.3.3 Ущерб здоровью человека

Ущерб $G_i(e)$ здоровью человека возраста e от некоторого i-го источника риска определяется как *ожидаемое сокращение (математическое ожидание сокращения) предстоящей жизни*, измеряемое в годах (днях) потерянной жизни, в результате действия данного источника. Он равен разности между ожидаемой продолжительностью жизни в отсутствие и при действии i-го источника риска и вычисляется по формуле:

$$G_i(e) = \int_e^{\infty} (S^{(i)}(e,a) - S(e,a))da \qquad (2.16)$$

или (другая, полезная для приложений формула)

$$G_i(e) = \int_e^{\infty} r_i(e,a)\cdot L^{(i)}(a)da = \int_e^{\infty} S(e,a)\cdot \mu_i(a)\cdot L^{(i)}(a)da \qquad (2.17)$$

Вывод этой формулы приведен в Приложении А. В формуле (2.17) $S(e,a)$ - полная функция выживания, $S^{(i)}(e,a)$ - функция выживания в отсутствие i-го источника риска, $L^{(i)}(a)$ – ожидаемая продолжительность жизни человека, достигшего возраста a, *в* отсутствие фактора риска i :

$$L^{(i)}(a) = \int_a^{\infty} S^{(i)}(a,a')da'. \qquad (2.18)$$

Отметим, что у формулы (2.17) достаточно наглядный (ясный) смысл. Это математическое ожидание потери предстоящей жизни: в случае смерти человека в возрасте a человек теряет всю ожидаемую предстоящую жизнь.

Подобная же формула может быть написана для ущерба, обусловленного заболеванием:

$$Gd_{ij}(e) = \int_e^{\infty} rd_{ij}(e,a)\cdot Ld_j(a)da .$$

Здесь $Gd_{ij}(e)$ - математическое ожидание продолжительности болезни вида j, вызванных источником риска i в течение всей предстоящей жизни после возраста e, $Ld_j(a)$ - ожидаемая средняя длительность рассматриваемого заболевания вида j в возрасте a. При правильном расчете величины $Ld_i(a)$ она не может быть больше длительности ожидаемой предстоящей жизни $L(a)$.

2.3.4 Относительный, атрибутивный и абсолютный риск

Пусть ρ_i - некоторый показатель риска от i-ой причины смерти (например, $r_i(...)$), вызванной рассматриваемым источником вредного воздействия, а $\rho_{ф,i}$ - риск от этой же причины смерти, но вызванной спонтанными (фоновыми) источниками вреда. Например, это может быть риск смерти соответственно от радиогенного и спонтанного рака. Тогда величины

$$RR = (\rho_i + \rho_{ф,i}) / \rho_{ф,i}$$

$$ERR = \rho_i / \rho_{ф,i}$$

$$ATR = \rho_i / (\rho_i + \rho_{ф,I})$$

принято называть соответственно относительным риском (*RR* – relative risk), дополнительным относительным риском (*ERR* – excess relative risk) и атрибутивным риском (ATR – attributable risk). По аналогии величину ρ_i называют дополнительным абсолютным риском и обозначают как EAR (excess absolute risk). Аналогичные обозначения и определения используются и для риска заболевания.

2.3.5 Приведенный ущерб здоровью человека в потерянных годах жизни

Пусть имеет место протяженное (хроническое) воздействие источника вреда со среднегодовой мощностью «дозы» *d(e)*. Здесь используется обобщенное понятие дозы как меры воздействия. Тогда приведенный ущерб $\mathcal{R}(e)$ в возрасте *e* равен [11-15]

$$\mathcal{R}(e) = d(e) \cdot g_D(e), \qquad (2.19)$$

где $g_D(e)$ - ущерб от единицы «дозы»; рассчитывается по формуле (2.14) для единичной дозы, полученной в возрасте *e*. В Приложении А приведен вывод формулы (2.19).

Размерность величины *d(e)*- [«доза»/год], а величины $g_D(e)$- [год/»доза»]. Отсюда размерность величины $\mathcal{R}$ - [год/год] (потерянный год жизни, отнесенный к году пребывания под действием источника риска). В среднестатистическом смысле величина $\mathcal{R}$ - условно доля этого года, которая теряется в результате действия рассматриваемого источника риска в течение всего года, т.е. $\mathcal{R}$ можно условно назвать *относительным ущербом*. Реально же теряются годы жизни после

этого воздействия. С учетом сделанного здесь замечания величину $\mathcal{R}$ можно в определенном смысле считать безразмерной величиной (доля года).

Для разных источников риска мерой «дозы» могут быть разные величины. Для риска смерти от несчастных случаев, аварий и т.п. (т.е. для источника риска немедленного действия) мерой «дозы» служит вероятность смертельно опасной аварийной ситуации, а мощность «дозы» есть интенсивность риска смерти r в результате аварии или природного аномального явления. В этом конкретном случае

$$\mathcal{R} = r \cdot g_r, \qquad (2.20)$$

где g_r - потерянные годы жизни в результате смерти в данный год. Здесь единицей «дозы» служит вероятность смерти, равная единице. Среднее значение величины g_r равно 30 – 40 годам. Это значение зависит от пола, вида населения и т.п.

Для ионизирующего излучения в качестве физической меры воздействия на здоровье человека используется доза этого воздействия D (поглощенная, эквивалентная или эффективная – в зависимости от области применения). Для этого источника риска величина $\mathcal{R}$ вычисляется как

$$\mathcal{R} = d_{p.} \cdot g_{p.} \qquad (2.21)$$

где d_p – мощность дозы ионизирующего излучения, воздействующего на человека, $g_{p.}$ – ущерб (потеря лет жизни L) от единицы дозы.

Как правило, соотношение «доза»-эффект (экспозиция - ответ) для химических загрязнителей воздуха нормируется на так называемую экспозицию ε_x - временной интеграл (сумму) концентрации этого вещества C_x в атмосфере:

$$\varepsilon_x = \int C_x \, dt.$$

Ее размерность - [год*мкг/м^3)]. Интенсивность экспозиции e_x вычисляется через экспозицию ε_x за некоторое время Δt по формуле $e_x = \varepsilon_x / \Delta t$ и имеет размерность [год*мкг/м^3)/год] . При таком выборе меры воздействия для химического загрязнения выражение для $\mathcal{R}$ записывается следующим образом:

$$\mathcal{R} = e_x \cdot g_x \,, \qquad (2.22)$$

$g_{x.}$ - ущерб (потеря лет жизни L) от единицы экспозиции.

Отметим, что в результате годовой экспозиции ионизирующему излучению или химическому загрязнению вероятность реализации вреда может быть растянута во времени после данного года на десятки лет.

В случае поступления пероральным путем (с пищей или водой) вредного вещества, включая наночастицы/наноматериалы, «дозой» может служить количество этого вещества Q, поступившего в организм человека или животного. В этом случае значение показателя риска $\mathcal{R}$ должно вычисляться по формуле

$$\mathcal{R} = q \cdot g_q \,, \qquad (2.23)$$

где q - интенсивность поступления вещества в организм (мг/год), $\cdot\, g_q$ - ущерб от единицы вещества.

Выбор показателя «дозы», который будет использован для воздействия наночастиц/наноматериалов, находится в стадии изучения.

Выше рассматривалась только смертность от источников риска. Приведенные формулы могут быть обобщены и на заболеваемость, как это, например, делается для ионизирующего излучения в рекомендациях МКРЗ [6].

Показатель риска $\mathcal{R}$ рекомендуется применять в сравнительных оценках риска и при установлении норм безопасности человека на единой методической основе в условиях действия разных источников вреда. Подробнее об этом изложено в главе 6.

2.3.6 Вероятность причинной обусловленности возникновения заболевания или смерти

Для практических целей иногда необходимо определение и вычисление вероятности причинной обусловленности (ВПО) возникновения неспецифического заболевания или смерти от него в результате действия некоторого i-го источника риска. Эту величину принято определять как следующее отношение, выражаемое в процентах:

$$ВПО = [\Delta R_i / (\Delta R_i + \Delta R_{cn})]*100, \quad (2.24)$$

где ΔR_i и ΔR_{cn} - риск (вероятность) неспецифического заболевания или смерти от него соответственно для i-го источника риска и спонтанного фонового заболевания данного вида (смерти от него) в некотором интервале времени. Как правило, рассматривается короткий интервал времени, например, 1 год. В этом случае величины ΔR_i и ΔR_{cn} равны фактически повозрастным коэффициентам смертности или заболеваемости $\mu_i(a)$ и $\mu_{cn.}(a)$ ($m_i(a)$ и $m_{cn.}(a)$).

В литературе часто используется другое, эквивалентное определение

$$ВПО \equiv PC = [ERR_i/RR_i]*100,$$

где RR_i - относительный риск ($RR_i = (\Delta R_i + \Delta R_{cn})/ \Delta R_{cn}$), ERR_i - избыточный относительный риск ($ERR_i = \Delta R_i / \Delta R_{cn}$), PC (probability of causation) - используемое в зарубежной литературе обозначение этой величины.

Величину ВПО используют, например, при установлении медицинскими экспертными советами причинно-следственной связи между облучением и раковым заболеванием или смертью от рака.

Значения ВПО могут быть легко рассчитаны с помощью системы БАРД.

2.4 Показатели риска на популяционном уровне

Выше были приведены определения основных показателей риска, отнесенных к одному человеку. Их называют индивидуальными показателями риска. Учитывая вероятностный (стохастический) характер риска, эти показатели уместно было бы назвать показателями риска на когортном уровне, отнесенными в среднем к оному человеку в когорте, когда рассматривается когорта людей с определенными характеристиками (по возрасту, условиям проживания или работы и т.п.).

Здесь приводятся формулы для некоторых показателей риска на популяционном уровне. Они являются производными от основных показателей, рассмотренных выше.

Пусть имеется популяция людей с возрастным составом, характеризующимся *плотностью распределения n(e) по возрасту*. Полное число N людей в популяции равно:

$$N = \int_0^{\infty} n(e)de .$$

Интенсивность смерти (заболевания) на популяционном уровне или другими словами годовая смертность $M_i(t)$ (заболеваемость $Md_i(t)$) от i-го источника риска вычисляется по формуле:

$$M_i(t) = \int_0^{\infty} n(e)\cdot r_i(e,t)de, \tag{2.25}$$

$$Md_i(t) = \int_0^{\infty} n(e)\cdot rd_i(e,t)de \tag{2.26}$$

Подобно этим формулам можно написать выражения для *интенсивности ущерба* (или другими словами годового ущерба) на популяционном уровне, обусловленного смертностью $GP_i(t)$ или заболеваемостью $GPd_i(t)$:

$$GP_i(t) = \int_0^{\infty} n(e) * r_i(e,t) * L_i(e+t)de \tag{2.27}$$

$$GPd_i(t) = \int_0^{\infty} n(e) * rd_i(e,t) * Ld_i(e+t)de. \tag{2.28}$$

Если интегрирование проводить по ограниченному возрастному интервалу, например, от $e1$ до $e1+\Delta e$, можно определить смертность для отдельных возрастных групп:

$$M_i(e1,\Delta e,t) = \int_{e1}^{e1+\Delta e} n(e)r_i(e,t)de.$$

Полное число дополнительных смертных случаев в результате действия рассматриваемого источника риска в интервале времени $t1$, $t2$ равно:

$$\boldsymbol{M}_i = \int_{t1}^{t2} M_i(t)dt.$$

Популяционные показатели риска (ущерба), рассчитанные с реальным возрастным распределением *n(e),* мало пригодны для разного рода сравнений рисков или состояний здоровья населения конкретных регионов и для поддержки принятия решений по обеспечению безопасности населения. Причина этого: неравновесность и нестационарность этих распределений. Для получения более надежных популяционных значений риска используются стандартные возрастные распределения. Подробнее об этом см. в главе 4.

Выше был определен ряд отдельных показателей риска, характеризующих как источник риска, так и объект его воздействия. В частности, разными показателями описаны смертность и заболеваемость. При этом один и тот же фактор вреда может вызывать набор разных заболеваний. Например, вдыхание взвешенных частиц может приводить к целому ряду заболеваний органов дыхания и кровообращения; с некоторой вероятностью возможен также и фатальный исход [20,24]. Воздействие ионизирующего излучения может вызвать смертельные и несмертельные раковые заболевания разной локализации, а также наследственные заболевания при облучении гонад. Каждому виду заболевания соответствует свой показатель. Общим показателем описывается только смертность: вероятность смерти (индивидуальный риск) или число случаев смерти (коллективный (популяционный) риск). Единым показателем является также ущерб от смерти под воздействием вредного фактора: потерянные годы жизни.

Во многих приложениях анализа риска (сравнение источников риска, управление риском и др.) были бы полезны или даже необходимы *обобщенные* или другими словами *интегрированные показатели* (ИП) риска, объединяющие как смертность, так и заболеваемость.

В ряде задач необходимо *экономическое выражение показателей риска*. Это еще один, конечный этап интегрирования показателей риска. Этот этап здесь не рассматривается. О нем, см., например, в [28,29,36,37].

Вообще говоря, выбор ИП и выполнение процедуры интегрирования показателей риска зависит от поставленной задачи и пр.

2.4.1 Смертность и заболеваемость

Прежде всего, полезно ввести ИП, одновременно учитывающий как смертность, так и заболеваемость. Для показателя ущерба от *i*-го источника риска такой ИП $(IG_i(e))$ определяется следующим образом:

$$IG_i(e) = \Sigma_j\, [G_{ij}(e) + wg_j \cdot Gd_{ij}(e)], \qquad (2.29)$$

где wg_j - взвешивающий фактор, устанавливающий эквивалентность ущербов от смертности и заболеваемости (взвешивающий фактор между потерянными годами (днями) жизни и потерянными годами (днями) здоровой жизни из-за заболевания вида *j*. Его величина может быть установлена только экспертным заключением. В зарубежной литературе величина $IG_{ij}(e)$ получила название DALYs: disability-adjusted life-years (потерянные годы жизни от смерти или от болезней со взвешивающими коэффициентами) [38].

Ожидаемая продолжительность здоровой жизни $LH_i(e)$ человека в возрасте *e* в условиях действия источника риска *i* будет равна

$$LH_i(e) = L(e) - IG_i(e)$$

Аналогичное интегрирование может быть сделано для показателей *GP*, *GPd* и др., используя соответствующие взвешивающие факторы.

На эту тему есть разработки отдельных авторов. Однако нет общепринятых рекомендаций. Обзор по данной проблеме и полезные рекомендации по выбору величин wg_i можно найти, например, в [38]. По состоянию на начало 2015 г. в оценках риска присутствует весь набор показателей риска, соответствующий всему спектру эффектов от рассматриваемого источника вреда без попыток их объединения.

Частным примером введения ИП служит специальный показатель радиационного риска, предложенный МКРЗ в их основных рекомендациях [6] и интегрирующий все стохастические эффекты ионизирующего излучения. Он предложен для использования при установлении норм радиационной безопасности человека, хотя часто используется не совсем законно и в общих оценках радиационного риска.

2.4.2 Усреднение по возрасту и полу

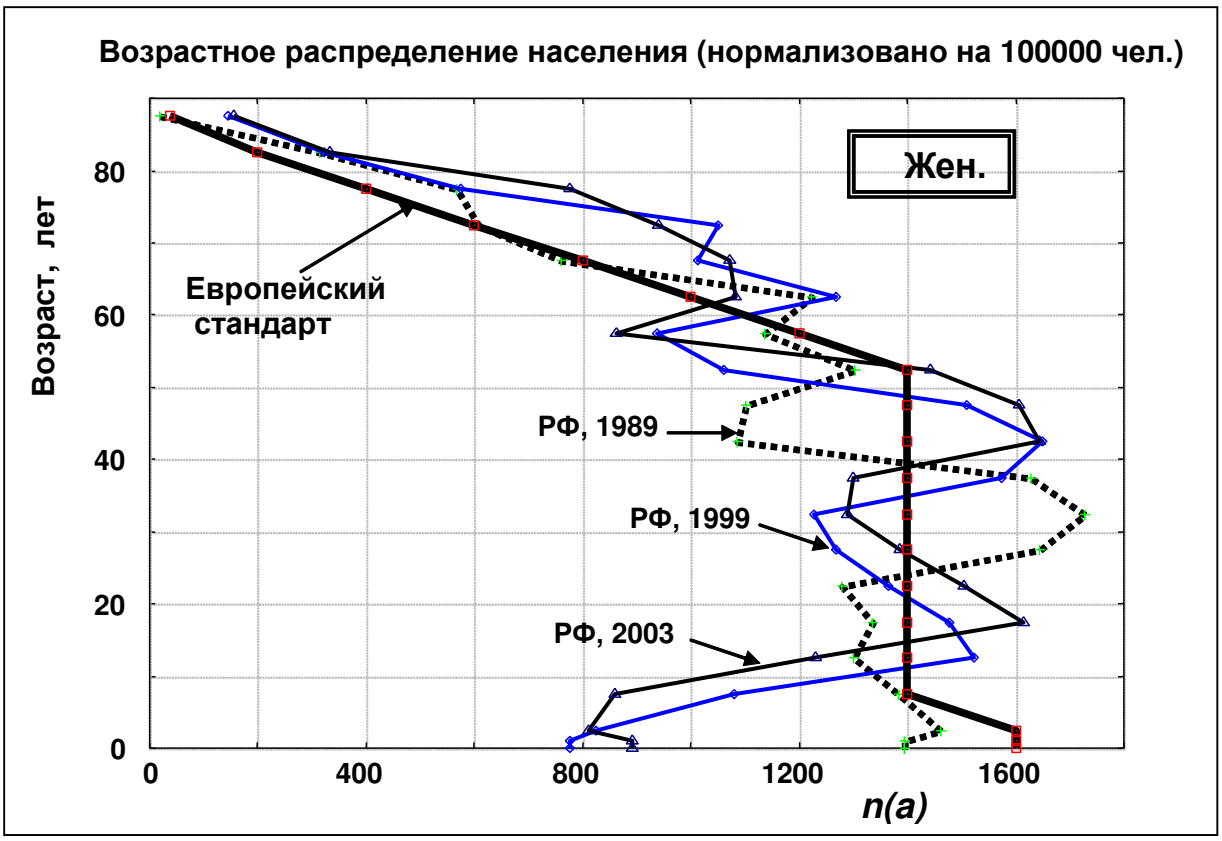
Усреднение по возрасту некоторой популяции в N человек и возрастным распределением $n(a)$ осуществляется по формуле

$$Q_{cp} = \int_0^{\infty} n(a) * Q(a) da / N, \qquad (2.30)$$

где $Q(a)$ - некоторый показатель риска. Им может быть одна из величин в зависимости от постановки задачи: $r_i(a)$ $R_i(a)$ $G_i(a)$ и др. При таком усреднении результат зависит от возрастного состава рассматриваемой популяции. Это ограничивает возможности его применения для целей оценки, сравнения и управления риском. Особенно осторожно нужно подходить к усреднению по формуле (2.30) с использованием возрастного распределения России или какого-либо ее региона. Это распределение в высшей степени неравновесно и нестатично во времени из-за социально-политических потрясений в последние сто лет, см. рисунок 2.3. Как для средних индивидуальных, так и для популяционных показателей риска необходимо использовать процедуру стандартизации этих показателей (глава 4).

2.5 Соотношение между индивидуальными, популяционными и средними показателями риска

Выше уже отмечалось, что понятие индивидуальный риск нельзя буквально относить к некоторому конкретному человеку: это характеристика когорты людей, отнесенная к одному человеку («среднему» человеку в когорте). Правильнее было бы использовать термин «индивидуализированный показатель риска» вместо индивидуального показателя. Пусть получены значения R_i (пожизненный риск) и G_i (потерянные годы жизни), характеризующее действие некоторого i-го источника риска на когорту из N человек и отнесенному к одному человеку («среднему» человеку из когорты).



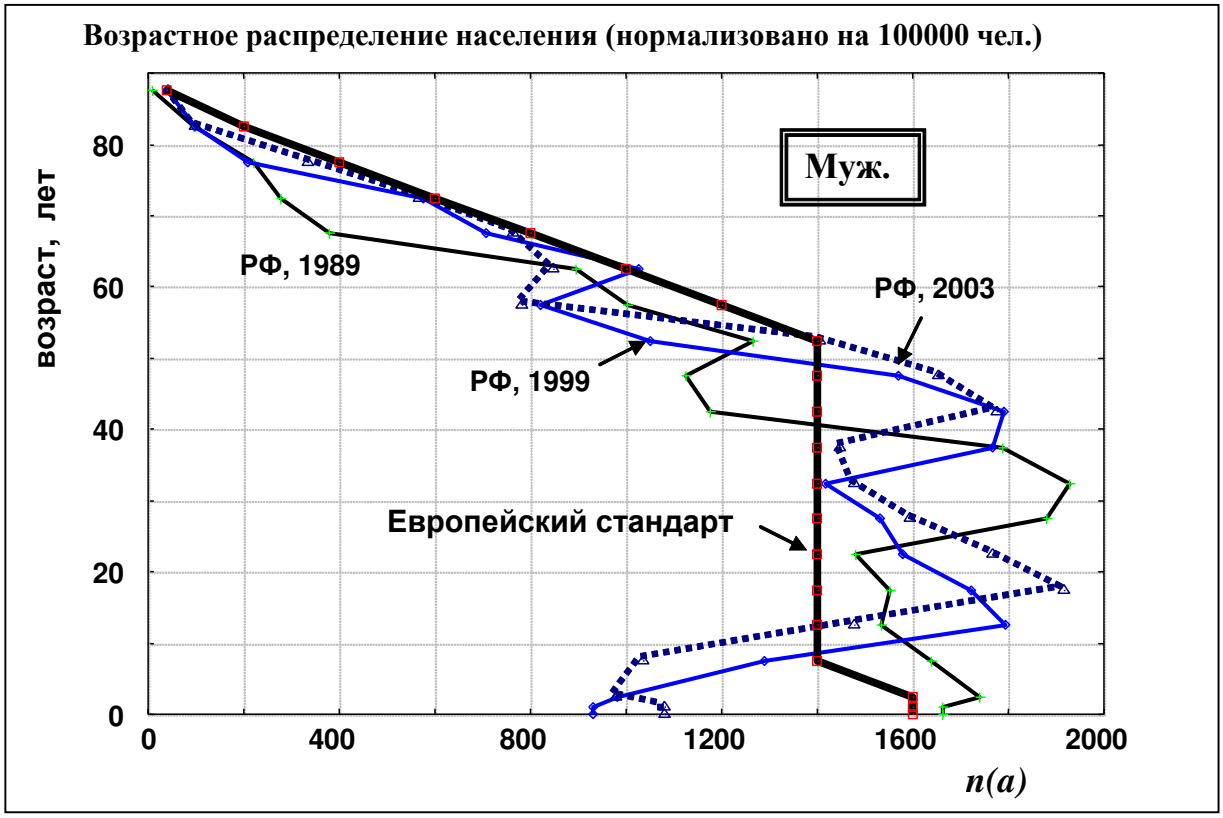


Рисунок 2.3 - Плотность распределения *n(a)* по возрасту *a* женского и мужского населения РФ в разные годы [30,31] и для сравнения Европейский стандарт ВОЗ [32,33].

Величину G_i не следует понимать как количество лет, потерянных каждым человеком из когорты. На самом деле реально в будущей жизни пострадает (погибнет от этого источника риска) только $N_i = N*R_i$ человек и каждый из них в среднем потеряет $g_i = G_i / R_i$ лет.

Величина

$$g_i = G_i/R_i \qquad (2.31)$$

называется ущербом, отнесенным к пострадавшему от i-го источника риска. Она также используется в анализе риска. Например, когда говорят, что от одного случая радиогенного рака теряется в среднем 15 лет, имеется в виду именно значение g_i для радиационного облучения. Это значение усреднено по полу, возрасту, т.е., это уже среднее по популяции значение показателя риска.

В таблице 2.2 приведены показательные расчетные значения величин G_i и g_i для населения России в 1989 и 1994 гг. Это пример года благоприятных и года крайне неблагоприятных социально-экономических условий.

Таким образом, R_i есть вероятностная характеристика опасности от i-го источника риска в течение всей будущей жизни для когорты или популяции в зависимости от того, как и для какой группы людей она рассчитана; G_i - это ущерб, отнесенный ко всей группе людей (часть из них умрет от данного источника риска, другая часть - от всех остальных причин смерти), $g_i = G_i / R_i$ - ущерб, отнесенный только к тем, кто умрет от действия рассматриваемого источника риска.

Таблица 2.2 - Ожидаемый ущерб в показателях риска G_i и g_i для населения России в 1989 и 1994 гг.

Расчет по БАРД**), входные данные Росстата [30,31].

Основные классы причин смерти	G_i, год				g_i, год			
	Мужчины		Женщины		Мужчины		Женщины	
	1989	1994	1989	1994	1989	1994	1989	1994
Инфекционные и паразитарные болезни	0,4	0,4	0,2	0,2	27	23	40	36
Злокачественные новообразования	2,9	2,0	2,3	2,0	15	14	17	16
Болезни системы кровообращения	9,0	9,4	11	12	17	20	15	17
Болезни органов дыхания	1,0	1,1	0,6	0,6	14	15	15	16
Болезни органов пищеварения	0,4	0,5	0,3	0,4	14	16	14	17
Внешние причины смерти*)	4,0	6,3	1,3	2,2	30	27	28	29

*) Внешние причины смерти: несчастные случаи, аварии, пожары, утопления, убийства, отравления и др.
**) Среднеквадратичное отклонение расчетных величин G_i и g_i не *п*ревышает 1 %.

2.6 Базовые данные

Как это видно из приведенных выше определений и формул, для оценки риска или состояния здоровья в различных показателях необходимо знать исходные повозрастные распределения населения, повозрастные коэффициенты смертности (заболеваемости) для рассматриваемой когорты или другими словами «фоновые» медико-демографические данные (МДД): функции $\mu(e)$, $\mu_i(e)$, $m_i(e)$, $n(e)$ см. выше). Для оценки генетических эффектов необходимы данные по фертильности.

Понятие *базовый* или *«фоновый»* относится к состоянию здоровья населения до (или без учета) действия рассматриваемого дополнительного вредного фактора.

Базовые МДД составляют основной массив исходных данных для оценки риска. В зависимости от области применения базовые данные должны быть известны с той или иной степенью подробности. Практически во всех случаях необходимо знать суммарные значения $\mu(e)$: для суммы всех фоновых факторов риска.

Для оценки радиационного риска на основе современного подхода необходимо иметь дополнительно фоновые значения МДД для злокачественных новообразований различных нозологий [6,8,11,17,25,26].

Для оценки риска воздействия ряда химических загрязнителей биосферы необходимо знать данные о смертности и заболеваемости органов кровообращения и дыхания [20,24]. Для оценки риска воздействия социальных факторов необходимы данные от «внешних» причин смерти (несчастные случаи, аварии на транспорте, пожары, убийства, с/убийства и др.), от болезней системы кровообращения, от злокачественных новообразований и др. в виде повозрастных коэффициентов смертности (заболеваемости) $\mu_i(e)$.

Значения показателя ущерба могут быть чувствительны к смертности в пожилом возрасте. Большинство таблиц смертности или заболеваемости от определенных причин комбинируют все смерти после 85 лет, а иногда и после 75 лет в одну группу.

Вопросу экстраполяции значений МДД в эту область (e > 85 лет) уделяется большое внимание, см. об этом, например, в [11,19]. Для функции $\mu(a)$, относящейся к сумме всех причин смерти, хорошим приближением в указанной экстраполяции является функция Гомперца:

$$\mu(e) \approx \alpha \cdot exp(\beta \cdot e), \qquad (2.32)$$

где параметры α и β подбираются по известным данным при e < 85 лет. Это же приближение можно применять и к смертности от болезней системы кровообращения.

2.7 Зависимость «доза» - эффект

В этом разделе рассматриваются проблемы с получением и использованием в анализе риска *зависимости «доза» – эффект* (ЗДЭ), устанавливающей функциональную связь между «дозой» (уровнем) воздействия на здоровье человека и эффектом (смерть или заболевание) для рассматриваемых источников опасности. Для воздействия химических загрязнителей атмосферы и в ряде других случаев ЗДЭ чаще называют как *экспозиция – ответ*. Для всех рассматриваемых источников опасности ниже используется единое обозначение: ЗДЭ.

Нормальная ситуация для анализа риска возникает тогда, когда ЗДЭ известна в форме повозрастных коэффициентов смерти $\mu_i(a)$ или заболеваемости $m_i(a)$. В этом случае можно рассчитать любой специфический или интегрированный показатель риска на когортном (индивидуальном) или популяционном уровне.

Для ряда источников риска ЗДЭ могут быть прямо взяты из публикаций Росстата, материалов ВОЗ и других источников. В них часть данных по состоянию здоровья представлены именно в виде повозрастных коэффициентов смерти или заболеваемости. Таковы данные по смертности от воздействия «внешних» причин смерти (аварии на транспорте, пожары, несчастные случаи, связанные с отравлениями, убийства и самоубийства и др.) и по некоторым видам болезней, причина которых точно известна.

Для таких источников опасности как ионизирующее излучение, вредные химические вещества, наноматериалы/наночастицы ситуация совершенно другая.

К рассматриваемым стохастическим эффектам воздействия на здоровье человека этих источников опасности относятся злокачественные новообразования, наследственные заболевания, заболевания органов кровообращения и дыхания и смертность от них и др.

Особенности этих стохастических эффектов и проблемы их количественной оценки рассмотрены в главе 1.

К особым исключительным случаям относится получение очень высоких доз ионизирующего излучения или вредных химических веществ отдельными лицами или небольшими группами профессионалов при радиационных или химических авариях. Однако в этом случае основную проблему с защитой их здоровья составляют не рассматриваемые здесь детерминированные эффекты: острая лучевая болезнь, острые отравления и их последствия.

В отсутствие строгой количественной теории радиационного, «химического» канцерогенеза и других рассматриваемых эффектов задача количественного описания решается путем построения модельных зависимостей на основе результатов эпидемиологических исследований и экспериментов на животных с привлечением существующих медико-биологических и радиобиологических представлений. Полученные таким образом ЗДЭ называют моделями оценки радиационного или «химического» риска (далее просто модели оценки риска).

Проведение эпидемиологических исследований с целью получения коэффициентов ЗДЭ для ионизирующего излучения, вредных химических веществ или наночастиц/наноматериалов представляет исключительно сложную задачу. Ее выполнение, как правило, требует огромного времени, больших затрат и высокой квалификации исследователей. Например, эпидемиологические исследования по когорте жителей Японии, пострадавших от атомной бомбардировки гг. Хиросима и Нагасаки (основной источник данных по ЗДЭ для ионизирующего излучения), началось более 60 лет назад, и оно продолжается до сих пор. На это

эпидемиологическое исследование уже затрачено несколько сот миллионов долларов США.

Из-за отмеченных в главе 1 особенностей изучаемые в эпидемиологических исследованиях эффекты обладают малой статистической мощностью, что неизбежно приводит к значительным неопределенностям в получаемых результатах этих исследований.

Отметим, что из-за малой статистической мощности эпидемиологических исследований по японской когорте, как и в других эпидемиологических исследованиях, не было статистически достоверно выявлено радиогенных наследственных заболеваний.

По разным причинам, в том числе из-за отмеченных выше трудностей проведения эпидемиологических исследований, практически все используемые в настоящее время в оценке риска модельные ЗДЭ получены за рубежом: в национальных исследовательских организациях США, частично ЕС, а также в международных организациях, таких как UNSCEAR (Комитет ООН по эффектам ионизирующего излучения), МКРЗ (Международная комиссия по радиационной защите), UNEP (Агентство ООН по защите окружающей среды), ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) и др.

В 2014 г. в России был предложен модернизированный вариант модели оценки риска воздействия радиоактивного радона, разработанный по результатам ранее проведенных эпидемиологических исследований в разных странах [8].

2.7.1 Разовая или кратковременная доза (экспозиция)

Пусть человек возраста e получил разовую (кратковременную) «дозу» D от i-го источника в момент времени $t = 0$. Здесь используется обобщенное определение «дозы». Для воздействия вредных химических веществ и некоторых других вредных факторов термин «доза» будет обозначать кратковременную экспозицию. Пусть рассматривается только смертность и для нее известна ЗДЭ в виде повозрастных коэффициентов смертности $\mu_i(e + t,D)$. Тогда интенсивность риска (годовой риск) смерти как функция времени t определяется формулой (2.10), а

полный (пожизненный) риск смерти от этого i-го источника и полный ущерб в потерянных годах жизни - соответственно формулами (2.16) и (2.17).

Пусть проявление риска смерти носит кратковременный характер: меньше года, что характерно для большинства неканцерогенных проявлений нарушений в здоровье. Тогда $S(e,e + t) \approx 1$ и

$$R_i(e,D) \approx \int_0^\infty \mu_i\,(e,e+t,D)dt\,, \tag{2.33}$$

$$G_i(e,D) \approx R_i(e,D)\,L(e)\,. \tag{2.34}$$

Для «химического» и радиационного канцерогенеза имеет место большая растянутость во времени проявления эффекта. Например, для большинства солидных раков минимальный латентный период равен 5 - 10 годам, а средний – 30 – 45 годам. Для таких факторов риска упрощения типа (2.33) и (2.34) невозможны.

2.7.2 Модели мультипликативного и аддитивного риска

Как уже отмечалось, эффекты, вызываемые тем или иным источником риска, могут быть неспецифичными, т.е. такие же эффекты (заболевания и смертность от них) могут вызываться и другими причинами. Например, злокачественные новообразования, вызываемые воздействием химических канцерогенов или ионизирующего излучения, ничем не отличаются от так называемых спонтанных раков. Аналогичная картина для заболеваний органов дыхания и кровообращения, возникающих под воздействием химических загрязнителей атмосферы.

Результаты эпидемиологических исследований показывают, что для ряда источников риска вероятность проявления вызываемых ими эффектов может зависеть от уровня спонтанных заболеваний или смертности. С учетом наличия или отсутствия такой связи ЗДЭ выбираются в виде одной из двух моделей: модели *мультипликативного и аддитивного* риска.

В первом случае ЗДЭ записывается следующим образом:

$$\mu_{i,j}(e,a,D) = \mu_{i,0}(a)\cdot ERR_{i,j}(e,a,D), \tag{2.35}$$

где введен дополнительный индекс j для обозначения источника риска. У него могут быть несколько эффектов его воздействия, различаемые индексом i; $\mu_{i,0}(a)$ – фоновая повозрастная смертность от i-ой причины смерти, $\mu_{i,j}(e,a,D)$ – коэффициент повозрастной смертности от той же i-ой причины смерти, которая вызывается j-ым источником риска; $ERR_{i,j}(e,a,D)$ – коэффициент дополнительного относительного риска, зависящий от возраста e получения «дозы», возраста a проявления эффекта и величины разовой «дозы» D .

По определению, данному в разделе 2.2.4, величину $1 + ERR_{i,j}(e,a,D)$ называют относительным риском.

Если используется модель аддитивного риска, то

$$\mu_{i,j}(e,a,D) = EAR_{i,j}(e,a,D)\,, \tag{2.36}$$

$EAD_{i,j}(e,a,D)$- коэффициент дополнительного абсолютного риска.

2.7.3 Хроническое или протяженное воздействие

Пусть для человека в возрасте e начинается хроническое или существенно протяженное во времени (на время, большее нескольких лет) воздействие с мощностью «дозы» $d(t)$, изменяющейся, вообще говоря, со временем t, $t = e' - e$ (t – текущее время, e' – текущий возраст).

Протяженное воздействие можно рассматривать как сумму разовых воздействий (облучений). Но суммарный пожизненный риск, выражаемый функциями $R_{i,j}(e,\Sigma D)$ или $G_{i,j}(e,\Sigma D)$, не может быть получен простым суммированием из-за конкуренции рисков. Только функции $\mu_{i,j}(\ldots,D)$ обладают свойством аддитивности. Проведя соответствующие преобразования, можно получить интегральные значения ЗДЭ $\mu_{i,j}(e,a,\{d\})$. Для моделей мультипликативного и аддитивного риска эти интегральные ЗДЭ соответственно равны

$$\mu_{i,j}(e,a,\{d\}) = \mu_{i,0}(a)[\,exp(\int_e^a \alpha_{i,j}(e',a)d(e')\partial e') - 1], \tag{2.37}$$

$$\mu_{i,j}(e,a,\{d\})=\int_e^a \beta_{i,j}(e',a)d(e')\partial e', \qquad (2.38)$$

где $\alpha_{i,j}(e',a) = \partial/\partial D\ (ERR_{i,j}\ (e',a,D))\ /_{D=0}$, $\beta_{i,j}\ (e',a) = \partial/\partial D\ (EAR_{i,j}\ (e',a,D)\ )\ /_{D=0}$, $d(e')$ – мощность дозы в текущий момент времени $t = e' - e$; e (e') – начальный (текущий) возраст, a – возраст проявления эффекта. Вывод формулы (2.37) приведен в Приложении А.

Если протяженное облучение ограничено некоторым конкретным интервалом (пусть это будет интервал (e_1, e_2)), тогда в формулах (2.37) и (2.38) пределы интегрирования e, a, следует заменить на e_1, e_m , где $e_m = min(e_2,a)$. В этих же формулах функция $\mu_{i,j}(...)$ будет зависеть от двух параметров e_1, e_2 вместо одного параметра e .Еще раз полезно напомнить, что в этих формулах опущены возможные некоторые другие параметры, например, обозначающие пол, тип населения и др. Эти параметры вводятся в явном виде при описании конкретных ЗДЭ.

Детальное описание модельных зависимостей ЗДЭ должно даваться при описании частной методики, как это сделано ниже при описании методики оценки радиационного риска.

2.8 Оценка неопределенности

Оценка неопределенности и анализ чувствительности являются обязательными процедурами в оценке риска. Концептуально и методически эти процедуры рассматриваются во многих публикациях, см., например, [39-41].

Следует отметить, что неопределенности в оценке риска делятся на 2 принципиально различных группы. Первая связана с вероятностной вариабельностью изучаемого события, вторая – с недостатком знаний (данных) об изучаемых событиях. В первом случае имеется точное вероятностное описание стохастических событий, и можно математически строго рассчитать все вероятностные или статистические характеристики. Во втором случае имеет место неопределенности в выборе самой модели ЗДЭ и ее параметров.

Источники неопределенности связаны в основном с оценкой доз (экспозиций), с базовыми МДД и ЗДЭ. Последние и некоторые дополнительные собственные неопределенности рассматриваются в конкретных методиках оценки риска. Здесь рассмотрены общие неопределенности, связанные с МДД.

В публикациях Росстата МДД, как правило, представляются как точечные оценки – без указания значений неопределенности или процедуры их расчета.

Ниже, используя известные методы статистической обработки результатов измерений (испытаний), описан метод оценки неопределенности МДД для дальнейшего их использования в оценке риска.

Нетрудно видеть, что эти данные по смертности как случайные величины могут описываться распределением Пуассона. Пусть M есть наблюдаемое число смертных случаев в данной популяции в некотором интервале времени, а $\overline{M}$ - его среднее значение. Тогда вероятность $F(M)$ наблюдения M случаев смерти равна

$$F(M) = exp(-\overline{M})\,\overline{M}^{M}/M! \qquad (2.39)$$

Здесь $M!$ – факториал ($M! = 1\cdot 2\cdot 3 \ldots \cdot M$). Как хорошо известно, при больших значениях $\overline{M}$ распределение (2.44) близко к нормальному распределению со среднеквадратичным отклонением

$$\sigma = \sqrt{\overline{M}}, \qquad (2.40)$$

а 95-процентный доверительный интервал ΔM равен

$$\Delta M = 2\sigma = 2\sqrt{\overline{M}},$$

Пусть N – число людей в данной популяции. Обычно данные о смертности представляются нормированными на 100 000 человек. Обозначаем эти данные как μ. Тогда среднее значение $\overline{\mu}$ и 95-процентный доверительный интервал $\Delta\mu$ соответственно равны

$$\overline{\mu} = (\overline{M}/N)\cdot 10^{5}, \qquad (2.41)$$

$$\Delta\mu = 2\sigma_\mu = 2\sqrt{\overline{M}} \cdot 10^5 / N = 2 \cdot (\overline{\mu} \cdot 10^5 / N)^{1/2} \qquad (2.42)$$

Если рассматривается показатель смертности p, нормированный на одного человека

$p = \mu / 10^5$,

то его среднеквадратичное отклонение равно

$\sigma_p = \sigma_\mu / 10^5 = (p / N)^{1/2}$.

Пусть данные о смертности относятся к некоторой причине смерти j и возрастному интервалу i. Тогда к обозначению этих данных добавляем индексы i и j, опуская черту над m (см. формулы (2.41) и (2.42)): μ_i^j и $\Delta\mu_i^j$.

2.9 Оценка риска от двух и более источников вредного воздействия

Пусть рассматриваем действие на людей 2-х источников риска, характеризуемых своими повозрастными коэффициентами риска $\mu_1(a)$ и $\mu_2(a)$. Здесь не уточняются возможные другие параметры, кроме текущего возраста a. Тогда полный пожизненный риск смерти от действия этих источников и их отдельные составляющие вычисляются соответственно как

$$R_{1+2}(e) = \int_e^\infty S_{1+2}(e,a) \cdot [\mu_1(a) + \mu_2(a)] da; \qquad (2.43)$$

$$R_i(e) = \int_e^\infty S_{1+2}(e,a) \cdot \mu_i(a) da; \; i = 1,2. \qquad (2.44)$$

Значения рисков $R_i(e)$ зависят друг от друга через функцию $S_{1+2}(e,a)$, конкурируя между собой. Подробнее об этом см. в главе 4. При необходимости учесть еще один или более источников риска в формуле (2.43) в квадратную скобку должны быть добавлены величины $\mu_{i>2}(a)$, а функция дожития должна вычисляться для суммы всех источников $S_{1+2+\ldots}(e,a)$.

2.10 Упрощенная методика оценки риска

Упрощенная методика (УМ) оценки риска получается на основе общей и (или) полной частной методики путем расчетных усреднений показателей риска по возрасту и в некоторых случаях и по полу. При этом необходимо иметь в наличии входные данные нужного качества. УМ предназначена для грубой предварительной оценки риска в некоторых средних показателях.

Область применения УМ определяет выбор исходных МДД. Это могу быть МДД России или отдельных ее регионов.

Как уже отмечалось, возрастное распределение населения России и ее регионов мало пригодно для усреднения из-за его неравновесности и нестатичности, см. выше Рисунок 2.2. Более обоснованный способ усреднения состоит в использовании стандартизованных возрастных распределений. Часто используется европейский стандарт ВОЗ. В главе 5 показаны недостатки при конкретном практическом применении этого стандарта. Там же предложено при суммировании (усреднении) показателей риска использовать собственный стандарт.

Усреднение риска для профессиональных работников должно производиться для ограниченного возрастного диапазона, соответствующего допустимым возрастам работников на рассматриваемом предприятии (производстве).

Введем следующее обозначение процедуры усреднения некоторого показателя риска $F(a)$ как функции возраста a по стандартному возрастному распределению $n_c(a)$:

$$F_{cp} = Cp_a\,[F(a)\,] \equiv \int_0^\infty n_c(a)\cdot F(a)\cdot da\,. \qquad (2.45)$$

Согласно разработанной в главе 5 рекомендации по выбору стандарта

$$n_c(a) = S(a)/L, \qquad (2.46)$$

$S(a)$ – функция дожития до возраста a, L – ожидаемая продолжительность жизни от рождения; здесь $n_c(a)$ нормирована на 1.

При разработке рекомендаций по радиационным нормам безопасности МКРЗ использовала процедуру усреднения коэффициентов риска по разным популяциям мира, разбив их на две группы: азиатскую (Шанхай, Осака, Хиросима и Нагасаки) и европейско-американскую (Швеция, Соединенное Королевство, США) [6]. Из-за существенных различий в МДД этих двух групп и внутри группы такое усреднение трудно признать достаточно обоснованным. Его можно отнести к разряду разумного компромисса, хотя нельзя исключать возможность и другого, более обоснованного, решения по процедуре усреднения. Такое усреднение использовалось МКРЗ при формировании концепции эффективной дозы и установлении норм радиационной безопасности. Но эти усредненные таким образом показатели риска мало пригодны для оценки риска в условиях конкретных стран или регионов. МКРЗ не рекомендует использовать показатели риска эффективной дозы для оценки риска [6].

Ниже предлагается получение средних значений показателей риска, получаемых на МДД некоторой конкретной популяции. В нашем случае это МДД России.

Средний пожизненный индивидуальный риск смерти $R_{ij,cp}$ и средняя потеря лет жизни $G_{ij,cp}$ от j-той причины смерти, порожденной действием i-го источника риска с разовой «дозой» D, записываются в УМ как

$$R_{ij,cp} = R_{ij,cp}(1)\cdot D, \quad R_{ij,cp}(1) = \{Cp_e\,[R_{ij}(e,D)]\}/D\,, \tag{2.47}$$

$$G_{ij,cp} = g_{ij,cp}\cdot D\,,\ g_{ij,cp} = \{Cp_e\,[G_{ij}(e,D)]\}/D \tag{2.48}$$

где $R_{ij,cp}(1)$ - средний пожизненный риск смерти от единицы «дозы», , $g_{ij,cp}$ – средняя потеря лет жизни от единицы «дозы». Размерность величин $R_{ij,cp}(1)$ и $g_{ij,cp}$ – соответственно [«доза»]$^{-1}$ и [год]/[«доза»].

Используя формулы (2.10) и (2.17) с добавлением индекса j, получаем следующие выражения для $R_{ij,cp}(1)$ и $g_{ij,cp}$:

$$R_{ij,cp}(1) = [\int_0^\infty daS(a) \cdot M_{ij}(a,1)]/L, \quad (2.49)$$

$$g_{ij,cp} = [\int_0^\infty daS(a) \cdot M_{ij}(a,1) \cdot L(a)]/L, \quad (2.50)$$

$$M_{ij}(a,1) = \int_0^a \gamma_{ij}(e,a,1)de, \quad (2.51)$$

$$\gamma_{ij}(e,a,1) = \mu_{ij}(e,a,D)/D. \quad (2.52)$$

Среднее значение приведенного ущерба $\mathfrak{R}_{cp}$ при хроническом действии источника опасности с мощностью «дозы» d вычисляется аналогично формуле (2.48):

$$\mathfrak{R}_{cp} = d \cdot g_{ij,cp}, \quad (2.53)$$

Отметим, что при выводе формул неявно предполагается линейная зависимость эффекта от разовой «дозы», а при выводе формул (2.48) – (2.50) произведена замена порядка интегрирования по переменным e и a.

Здесь приведены общие определения УМ. В главе 3 будут даны конкретные определения УМ в отношении оценки радиационного риска.

ГЛАВА 3 ЧАСТНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА. РАДИАЦИОННЫЙ РИСК

Частная методика оценки риска предназначена для детальной оценки риска от некоторого конкретного источника опасности. Он включает общую методику оценки риска (см. выше главу 2) и полное описание ЗДЭ для этого источника. Ниже эта структура частной методики оценки риска применена к описанию методики оценки радиационного риска – риска воздействия ионизирующего излучения. Это означает, что достаточно описать модели радиационного риска – модельные ЗДЭ. Это сделано в этом разделе с добавлением некоторых специфических для радиационного риска расчетных формул. Все основные расчетные формулы содержатся в общей методике.

Кроме того, следует описать и представить необходимые для расчета радиационного риска МДД. Таковыми МДД являются

- повозрастное распределение населения;
- повозрастные коэффициенты смертности от всех причин смерти (они нужны для расчета функции дожития);
- повозрастные коэффициенты смертности от злокачественных новообразований (большая часть моделей оценки радиационного риска построена по принципу мультипликативной зависимости);
- повозрастные коэффициенты фертильности (для расчета риска наследственных заболеваний).

Есть необходимость повторить основные расчетные формулы для показателей радиационного риска, уточная аргументы и параметры. Для кратковременного (разового) воздействия дозой D в возрасте e пожизненный риск смерти $R_{ij}(e,D)$ и ожидаемая потеря лет жизни $G_{ij}(e,D)$ вычисляются, согласно формулам (2.10) и (2.17) обшей методики (глава 2) как

$$R_{ij}(e,D) = \int_e^{\infty} S(e,a,D)\cdot\mu_{ij}(e,a,D)da. \qquad (3.1)$$

$$G_{ij}(e,D) = \int_e^{\infty} S(e,a,D)\cdot\mu_{ij}(e,a,D)\cdot L^{(i)}(a)da \qquad (3.2)$$

Здесь добавлен аргумент доза D, индекс i обозначает вид радиогенного рака, а индекс j – характер воздействия: воздействие на отдельный орган, равномерное или неравномерное воздействие на все тело, эквивалентная, поглощенная или экспозиционная доза; $S(e,a,D)$ – полная функция дожития с учетом воздействия дозой D. Ожидаемая продолжительность жизни человека $L^{(i)}(a)$ в возрасте a без учета радиационного воздействия рассчитывается по формуле (2.18), глава 2.

В случае протяженного (хронического) воздействия, начиная с возраста e с мощностью дозы $d(a)$ эти показатели риска рассчитываются по формулам

$$R_{ij}(e,\{d\}) = \int_e^{\infty} S(e,a,\{d\})\cdot\mu_{i,j}(e,a,\{d\})da, \tag{3.3}$$

$$G_{ij}(e,\{d\}) = \int_e^{\infty} S(e,a,\{d\})\cdot\mu_{ij}(e,a,\{d\})\cdot L^{(i)}(a)da, \tag{3.4}$$

Выражение в фигурных скобках обозначает зависимость от протяженного воздействия с мощностью дозы $d(a)$.

3.1 Модели зависимости доза-эффект

Ниже дан краткий обзор модельных ЗДЭ для ионизирующего излучения частично в их историческом развитии.

В таблице 3.1 приведен список ряда известных к настоящему времени моделей ЗДЭ. Приведено сокращенное название организации, разработавшей модель, даны сокращенные, принятые в литературе названия моделей и примерный год их разработки.

Процесс развития моделей ЗДЭ для ионизирующего излучения имеет наиболее длительную историю. Последовательности моделей BEIR III,V,VII и BEIR IV,VI отражают процесс совершенствования (пересмотра) моделей вследствие получения со временем более полных данных эпидемиологических исследований и уточнения данных дозиметрии. В таком же соотношении находятся модели NIH 1985 и NCI-CDC 2003.

В более ранних моделях (BEIR III, NIH 85) использовалась в основном аддитивная зависимость в ЗДЭ. В современных моделях для «солидных» раков рекомендована мультипликативная или аддитивная зависимость, или их комбинация в зависимости от локализации злокачественного новообразования, а для радиогенного лейкоза, как правило, аддитивная форма зависимости. Во всех моделях используются следующие зависимости от дозы: линейная для «солидных» раков, линейная для лейкозов от плотно ионизирующего излучения, линейно-квадратичная для лейкозов от редко ионизирующего излучения (β-, γ- излучение).

В моделях радиационного риска моделируется как риск заболеваемости, так и смертности от рака. Возможность расчета риска как смертности, так и заболеваемости значительно расширяет практическую значимость оценки риска. Однако следует иметь в виду, что данные Росстата содержат только МДД по смертности. Можно надеяться, что данные по заболеваемости могут быть получены из специализированных медицинских организаций или смоделированы по данным о смертности с учетом данных, например, по соотношению между онкологической заболеваемостью и смертностью, имеющихся в медицинских организациях.

В моделях радиационного риска исходным показателем, характеризующим воздействие ионизирующего излучения, является поглощенная или эквивалентная доза. Последняя может быть получена в результате внешнего облучения, поступления радиоактивных веществ пероральным путем или через органы дыхания. Исключением являются модели оценки риска для радона. В них мерой воздействия служит экспозиционная доза (пребывание человека в атмосфере, в воздухе которой присутствует радон и продукты его распада).

В моделях радиационного риска устанавливают ЗДЭ для разового (кратковременного) облучения. ЗДЭ для хронического (протяженного) облучения получается из этих моделей, исходя из строгих положений теории риска (см. формулы (2.37), (2.38) общей методики оценки риска).

Таблица 3.1 - Модели радиационного риска, разработанные международными и национальными организациями *).

Ионизирующее излучение					
Редко ионизирующее излучение (β,γ)					
BEIR III	***BEIR V***[42]	***BEIR VII***[45]	***UNSCEAR 94; UNSCEAR 2000***	***UNSCEAR 2006***[25]	**EPA 2011** [46]
1980 г.	1990 г.	2005 г.	1994, 2000 г.г.	2006 г.	2011 г.

Облучение радиоактивным радоном и продуктами его распада (рак органов дыхания)				
BEIR IV	***BEIR VI*** [43]	***EPA 2003*** [44]	***Висмут*** [48]	***Радон-2014*** [8]
1988 г.	1999 г.	2003 г.	2006 г.	2014 г.

Воздействие плутония на легкие	
Маяк-2013 [9]	

Наследственные заболевания			
UNSCEAR88	***UK NRPB***	***BEIR VII***[45]	***UNSCEAR 2006***[25]
1988 г.	1993 г.	2005 г.	2006 г.

Для установления причинно-следственной связи между заболеванием раком и облучением		
NIH (США)	***NCI-CDC 2003 (США)***[47]	
1985 г.	2003 г.	

*) BEIR – Комитет по биологическим эффектам ионизирующей радиации США; NIH – национальный институт здоровья США; NCI - национальный институт рака США; EPA – Агентство по защите окружающей среды США; UNSCEAR - Комитет ООН по эффектам атомной радиации.

3.2 Модели зависимости доза-эффект для редко ионизирующего излучения

Модели BEIR VII и EPA 2011 предназначены для оценки радиационного риска от редко ионизирующих излучений (β, γ). Эти модели относятся к относительно новым разработкам. В них учтены последние на момент их разработки данные эпидемиологических и других исследований и, прежде всего эпидемиологических

исследований по японской когорте (японцы, выжившие после атомной бомбардировки городов Хиросима и Нагасаки).

В этих моделях, как и в других относительно новых моделях, см. например, модели NCI-CDC 2003, стало возможным более надежно установить зависимость коэффициентов радиационного риска от пола, возраста облучения и возраста диагностирования рака и других факторов.

3.3 Модели зависимости доза-эффект от воздействия радона

Радон является второй по значимости причиной развития рака легких во многих странах. По оценкам ВОЗ, радон вызывает от 3 % до 14 % всех случаев рака легких в зависимости от среднего уровня концентрации радона в воздухе в разных странах [49].

Необходимость уделять серьезное внимание проблеме защиты здоровья горнорабочих и населения многих территорий от воздействия радона давно уже осознана специалистами в области радиационной гигиены. Для поддержки решений по обоснованию и принятию защитных мер необходимы методы оценки доз и риска. В течение нескольких последних десятилетий предприняты значительные усилия по разработке таких методов. В частности, рядом коллективов ученых и других специалистов выполнена серия эпидемиологических исследований по риску смерти от рака легких, вызванного воздействием радона и его радиоактивных дочерних продуктов распада (ДПР) на горнорабочих и населения ряда стран. На основании результатов этих эпидемиологических исследований разработаны методика оценки доз и ряд моделей оценки риска, см. таблицу 3.1, в том числе российскими авторами [8]. Эти модели уже используются для практических расчетов уровней воздействия (доз) и риска в США, странах ЕС и других странах. При расчете риска от радона в России используется модель Радон-2014 [50].

3.4 Зависимость доза - эффект для радиационного канцерогенеза в области малых доз

3.4.1 Анализ состояния проблемы

Оценка и нормирование радиационного риска проводится в условиях, когда функциональная зависимость доза – эффект (ЗДЭ) в области так называемых «малых доз» точно не известна. Но именно в этой области устанавливаются нормы безопасности и проводятся многочисленные расчеты риска для населения.

Для определенности будем рассматривать только радиационный канцерогенез. Проводимый ниже анализ в полной мере относится к генетическим и другим эффектам.

Точная граница, разделяющая малые от средних и высоких доз, устанавливается по-разному в зависимости от ее определения. Здесь для ионизирующего излучения в качестве такой границы выбираем значение эквивалентной дозы облучение всего тела $D_{гр}$ = 0,1 Зв. Эта та граница, ниже которой количественные данные о радиационном канцерогенезе получить не удается из-за низкой статистической мощности эпидемиологических исследований [51]. Далее дозы, значительно меньшие $D_{гр}$, принято называть «малыми», вблизи $D_{гр}$ (больше или меньше) – «умеренными», а значительно большие $D_{гр}$ – «высокими». В основном, приводимое ниже рассмотрение касается редко ионизирующего излучения (β-, γ-излучение): именно с ней связаны основные проблемы зависимости доза-эффект.

Есть основания считать, что для редко ионизирующего излучения истинная ЗДЭ в области левее $D_{гр}$ носит подлинейный, или другими словами, линейно-квадратичный характер [52-54], см. кривую ***2*** на рисунке 1, а. Левее $D_{гр}$ кривая отклоняется от прямой линии вниз и вновь восстанавливается линейная зависимость в области малых доз. Однако ее наклон (см. линию ***3*** на рисунке 1, а) меньше, чем для исходной линейной зависимости ***1.***

Кривая ***2*** проведена чисто гипотетически. Точно поведение ЗДЭ левее $D_{гр}$ не установлено, хотя считается, что истинная зависимость риска от дозы имеет вид кривой ***2.*** Для учета разницы между линиями ***1*** и ***3*** введен поправочный коэффициент, который в международной литературе получил обозначение DDREF (dose, dose rate effectiveness factor). Значение риска в области малых доз и мощностей доз радиационный риск в DDREF раз меньше, чем в области высоких доз. Согласно материалам НКДАР ООН [52,53] и другим публикациям значение DDREF для редко ионизирующего излучения и «солидных» раков лежит в диапазоне 1 - 3.

Отметим, что здесь рассматривается только зависимость от дозы. Разница в наклонах кривых ***1*** и ***3*** только частично отражена в DDREF, но в любом случае она есть. Однако следует иметь в виду, что всякий рассматриваемый источник дает добавку к фону как по дозе, так и по мощности дозы. Это значит, что мощность рассматриваемого источника радиации может быть и мала, однако суммарная мощность всех источников воздействия в любом случае намного больше.

В этих условиях Международная Комиссия Радиологической Защиты (МКРЗ) рекомендует использовать линейную ЗДЭ в качестве основы оценки и нормирования риска [6]. Следует при этом отметить, что при расчетах радиационного риска при получении коэффициентов эффективной дозы для «солидных» раков использовался поправочный множитель DDREF = 2.

Отметим, что для химического канцерогенеза также рекомендуется использовать линейную ЗДЭ [3,20,24].

Использование линейной концепции позволило ввести в практику регулирования радиационной защиты такую величину как коллективная эффективная доза.

Принятие линейной ЗДЭ для радиационного канцерогенеза приводит к следующим двум следствиям:

1. В установлении норм безопасности на основе принятой зависимости содержится элемент консерватизма (запаса надежности).

2. Оценка радиационного риска для населения в области малых доз на основе линейной ЗДЭ дает завышенные его значения и, в конечном счете, может привести к ошибочным выводам и решениям.

Эти следствия использования линейной ЗДЭ в оценке и нормировании радиационного риска представляются достаточно очевидными. Однако следует отметить, что эти оба положения справедливы только при выполнении следующих условий [55,56]:

а) рассматривается полная доза облучения от всех источников, а не некоторая его часть;

б) рассматриваемое ионизирующее излучение является единственным источником возникновения стохастических канцерогенных эффектов, т.е., отсутствуют другие факторы воздействия, которые могли бы повлиять на ЗДЭ и на их частоту.

На практике оба эти условия не выполняются. Человек подвергается воздействию нескольких источников ионизирующего излучения. Средняя годовая эффективная доза облучения человека в России от всех источников (природные и техногенные источники, медицинское облучение) равна 3 – 4 мЗв или 0,2 – 0,3 Зв за жизнь.

Должно быть очевидным, что невозможно одинаково подходить с точки зрения управления радиационной защитой ко всем источникам ионизирующего излучения. Медицинское облучение не может быть поставлено в один ряд с другими техногенными источниками, в частности. с радиационно опасными производствами. Подход к нормированию природного ионизирующего излучения, если такой вопрос стоит, должен быть другим, если сравнивать его с обеспечением радиационной защиты населения и профессиональных работников в ядерной отрасли.

Таким образом, как правило, только один источник ионизирующего излучения анализируется и нормируется, а сумма остальных рассматривается как фон. Таково положение дел с выполнением условия а).

Условие б) также не выполняется: очевидно, что облучение не является единственной и тем более главной причиной ракового или генетического

заболевания. Существуют эндогенные (внутренние) и другие экзогенные факторы, вызывающие раковые заболевания.

Имеется большой список химических веществ с канцерогенными свойствами, которые разными путями могут попадать в организм человека [20,24]. При этом как радиационный, так и химический канцерогенез не специфичен: раковые заболевания этой природы не отличимы от раковых заболеваний другого происхождения. Можно думать, что процессы развития злокачественных новообразований на клеточно-молекулярном и организменном уровнях взаимозависимы для разных первопричин появления того или иного нарушения, приводящего, в конечном счете, к раковому заболеванию. Об этом может свидетельствовать необходимость использования модели мультипликативного риска для большинства «солидных» радиогенных раков, как и для ряда других заболеваний, вызываемых экзогенными факторами.

Ниже рассматривается вопрос о том, как нарушение условий а) и б) может сказаться на применимости линейной ЗДЭ в оценке и нормировании радиационного канцерогенного риска. Этот вопрос актуален также и для нормирования воздействия на здоровье людей химических канцерогенных и других веществ.

3.4.2 Математический анализ

Пусть ΔD есть индивидуальная доза от некоторого техногенного источника ионизирующего излучения, для которого производится оценка и нормирование риска. Полная доза D равна

$$D = D_0 + \Delta D, \tag{3.5}$$

где D_0 - доза от всех остальных источников, рассматриваемая как доза фонового облучения.

На рисунке 3.1,а представлены две модельные зависимости $R(D)$ радиационного риска от дозы D : линейная и подлинейная (линейно-квадратичная) – соответственно кривые ***1*** и ***2***. Последняя считается более реалистической [6,25]. Для определенности пусть R есть пожизненный риск – вероятность смерти от радиогенного рака в течение всей жизни, а D - эквивалентная доза облучения всего тела.

Нас интересует не весь риск R, а его добавка ΔR как функция дозы ΔD :

$$\Delta R(\Delta D) = R(D) - R(D_0). \qquad (3.6)$$

Пусть D_0 равно некоторому значению, показанному стрелкой на рисунке 3.1,а. Из кривых ***1*** и ***2*** рисунка 3.1,а легко получить соответствующие им зависимости $\Delta R(\Delta D)$ – кривые ***1*** и ***2'*** на рисунке 3.1,б.

Из рисунка 3.1,б с очевидностью следует, что для отдельного источника ионизирующего излучения линейная ЗДЭ не является верхним пределом оценки риска, т.е., ни о каком консерватизме речь идти не может. Подлинейная (линейно-квадратичная) зависимость $R(D)$ для дополнительного риска $\Delta R(\Delta D)$ дает бо̀льшее значение риска, чем линейная ЗДЭ. Тем самым, встречающееся в литературе утверждение о том, что использование линейной концепции в оценке радиационного риска, например, от выбросов АЭС приводит к завышенному значению риска, вообще говоря, неверно. В таком рассуждении доза облучения от АЭС рассматривается независимо от остальных источников радиации и мысленно отсчитывается от нуля на дозовой оси.

При построении зависимости $\Delta R(\Delta D)$ на рисунке 3.1,а значение D_0 (фоновое облучение) было выбрано в точке наибольшего наклона кривой 2. Это сделано для того, чтобы яснее показать возможность надлинейной зависимости ΔR от ΔD. Положение этой точки зависит не только от других источников ионизирующего излучения, но и от действия химических канцерогенов и других возможных факторов, которые рассматриваются при медико-биологическом анализе всех стадий формирования злокачественного новообразования. Однако можно думать, что сумма всех экзогенных и эндогенных воздействий вряд ли лежит в области «малых» доз - значительно левее выбранной точки D_0 .

Наконец, еще одно важное обстоятельство. Почему в приведенном выше построении дополнительное к фону облучение добавляется справа на дозовой оси, а не слева, где наклон кривой значительно меньше ? Само фоновое облучение состоит из нескольких частей, любое из которых вполне можно было бы поставить справа на дозовой оси, в области наибольшего подъема.

Однако вопрос о том, что первично, а что вторично, и как от этого зависит его дополнительный риск, особого смысла не имеет. В конечном счете, полный канцерогенный риск определяется суммой всех воздействий. Пусть, например, суммарная доза всех воздействий $D_s = \sum_i D_i$ лежит в точке D_s, а соответствующее значение риска равно R_s, см. рисунок 3.1,а, кривая ***4*** . Пусть каждое из этих доз или некоторые из них будут малыми величинами («малыми» дозами). В этой сумме, вообще говоря, могут быть и дозы воздействия химических канцерогенов, эквивалентно выраженных в терминах радиационных доз. Какой риск может быть приписан этим малым дозам? Совершенно очевидно, что нет никакого смысла рассматривать вопрос о том, к какому краю дозового интервала – левому или правому – отнести те или иные составляющие суммарной дозы D_s. Все компоненты полной дозы вместе вывели ее значение в область “умеренных” или даже “больших” доз. Поэтому очевидно, что риск каждой компоненты должен рассчитываться по линейной зависимости ***4,*** близкой к ***1***.

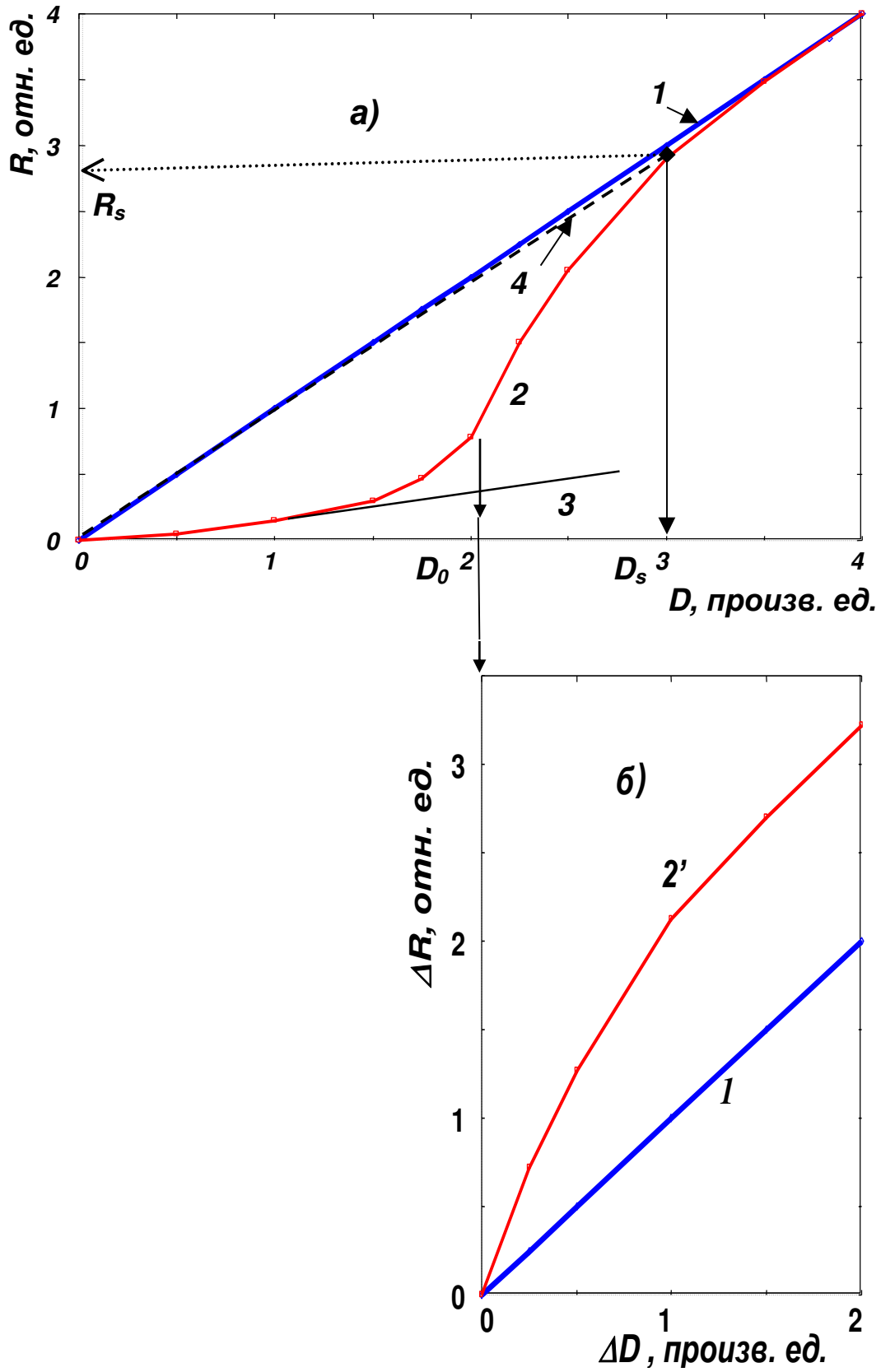


Рисунок 3.1 - Радиационный риск ***R*** как функция дозы облучения ***D (а))*** и соответствующая зависимость дополнительного риска ***ΔR*** от дополнительной дозы ***ΔD***, ***D = D₀ + ΔD*** (***б***)); ***1*** - линейная зависимость во всем диапазоне доз (линейная экстраполяция из области высоких доз), ***2*** – линейно-квадратичная зависимость, ***3*** – линейная зависимость в области малых доз, R_s – значение риска для некоторой суммарной дозы D_s ; ***2'*** – зависимость ***ΔR*** от ***ΔD*** для варианта ***2*** (линейно-квадратичной зависимости).

3.4.3 Зависимость риска от местных условий

В оценке канцерогенного риска от ионизирующего излучения или химических загрязнителей используются пожизненные показатели риска: пожизненный риск смерти R, пожизненный ущерб в потерянных годах жизни G и др., см. главу 2. Это обусловлено очень большими латентными временами появления ракового заболевания: десятки лет после облучения (экспозиции).

При расчете этих величин для некоторой конкретной популяции в качестве базовых величин используются ее медико-демографические данные (МДД): повозрастные коэффициенты смертности от всех причин и от злокачественных новообразований.

При получении глобально средних значений R , G и других величин МКРЗ провела расчеты [6] для ряда конкретных населений азиатской и европейско - американской популяций.

Различия в значениях R для суммы всех радиогенных раков между этими странами достигает 2-х раз, а для отдельных локализаций рака это различие может достигать порядка величины (до одного – двух порядков величины [6]). Поэтому такое глобальное усреднение еще как-то можно обосновать при использовании эффективной дозы при нормировании. Однако, использование этих глобально усредненных показателей риска для оценок радиационного риска в конкретной стране (конкретном регионе) представляется весьма сомнительным. В связи с этим отметим, что, например, в НРБ-99/2009 [57] предложено использовать эти средние значения показателей радиационного риска МКРЗ для оценок риска в России.

Как это следует из современных моделей оценки радиационного канцерогенного риска [6,8,43-48], для большинства «солидных» раков предлагается использовать мультипликативные ЗДЭ. При такой зависимости вероятность заболевания радиогенным раком пропорциональна вероятности заболевания спонтанным раком соответствующего вида. Поскольку имеются значительные различия (до порядка величины и более) в вероятности заболевания

раком отдельных нозологий и смертности от них, то следует ожидать подобных различий и в радиационном канцерогенном риске между разными странами. Аналогичная картина и для ряда химических загрязнителей окружающей среды с неканцерогенными эффектами. В частности, для взвешенных частиц, SO_2 и NO_x , выбрасываемых в атмосферу предприятиями энергетики, на основе данных эпидемиологических исследований также были развиты подобные модели оценки риска заболеваний органов кровообращения и дыхания и смерти от них – мультипликативные ЗДЭ [24,58].

Для таких ЗДЭ значения показателей риска в усредненной или неусредненной по возрасту форме, вообще говоря, специфичны для каждой страны или региона и могут сильно различаться для разных стран из-за различий в значении исходных МДД. В частности, значения повозрастных коэффициентов смертности от болезней органов кровообращения для России в 2 – 3 раза больше, чем для стран ЕС (ЕС до 2004 г.).

Иногда показатели риска представлены в усредненной форме и нормированными на единицу дозы (экспозиции), т.е. имеют вид усредненных ЗДЭ. Таковыми являются коэффициенты радиационного риска: значения риска, отнесенные к единице дозы. Коэффициенты риска от химических загрязнителей, упомянутых выше, отнесены к единице экспозиции. Полученные для некоторой конкретной страны, значения этих коэффициентов не применимы к другим странам, если исходные МДД значительно различаются для этих стран. Например, значения коэффициентов риска от взвешенных частиц, SO_2 и NO_x , полученные в такой форме для стран ЕС в рамках проекта ExternE [59], проблематично нельзя использовать для России и других стран СНГ. Значения риска для населения России или отдельного ее региона должны быть рассчитаны с использованием соответствующих МДД.

Таким образом, используя рекомендуемые линейные ЗДЭ для того или иного источника риска, необходимо иметь в виду, что рассчитываемые значения показателей риска, вообще говоря, зависят от национальных или местных МДД.

3.4.4 Заключительные замечания

Существует общепринятое утверждение: применение линейной зависимости риска от дозы для редко ионизирующего излучения к некоторому отдельному его источнику, создающему относительно малые дозы с малой мощностью доз, приводит к переоценке радиационного риска (переоценка в DDREF раз). Однако проведенный здесь простой математический анализ позволяет заключить, что, на самом деле может произойти недооценка риска.

Любой анализируемый источник ионизирующего излучения следует рассматривать действующим в сумме (во взаимодействии) с другими его источниками, а также всеми эндогенными и экзогенными факторами, приводящими к злокачественным новообразованиям. Из проведенного анализа следует, что при оценке риска для каждого отдельного источника ионизирующего излучения или химического канцерогена (или для некоторой их суммы) правильнее всего применять именно линейную ЗДЭ, хотя полная кривая зависимости доза – эффект может быть подлинейной (линейно-квадратичной) типа кривой ***2*** на рисунке 3.1,а. При этом было бы ошибкой утверждать, что происходит переоценка риска в DDREF раз.

DDREF зависит как от дозы, так и от мощности дозы. Выше рассматривалась в основном зависимость от дозы. Однако всякий рассматриваемый источник дает добавку к фону как по дозе, так и по мощности дозы. Это значит, что мощность рассматриваемого источника радиации может быть и мала, однако суммарная мощность всех источников воздействия в любом случае намного больше.

В анализе риска для населения России или отдельных ее регионов не совсем правильно использовать средние значения коэффициентов риска, полученные для других стран. Риск существенным образом зависит от МДД страны или территории, для которой производится оценка риска, и эту оценку нужно проводить с использованием соответствующих МДД.

3.5 Отсроченная оценка радиационного риска

Для некоторых практических ситуаций может возникнуть потребность оценивать индивидуальный радиационный риск не с момента облучения или начала облучения, а много лет спустя. Например, такая задача возникла при решении вопросов социальной и медицинской защиты населения Алтайского края, проживающего на территории, пострадавшей от испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне. Впервые эти вопросы были поставлены сорок лет спустя после первого ядерного испытания в 1949 г. Чтобы оценить риск для тех, кто еще живет в настоящее время, приведенные выше формулы (см. главу 2) напрямую не применимы. Необходимы дополнительные разъяснения и формулы.

Аналогичным образом может встать вопрос об оценке риска для профессиональных работников ядерной отрасли, работавших в ней в 50-х - 60-х годах.

Кроме возраста *e* при облучении (начале облучения) введем еще возраст *e1* начала прогнозной оценки риска для тех людей, кто остался жив до этого возраста (не умер от всех причин смерти, сопровождающих жизнь человека). Используя понятия и соответствующие математические соотношения условной вероятности, для рассматриваемой ситуации можно получить следующие формулы для пожизненного радиационного риска [11]:

$$R_{ij}(e,e1,D) = \int_{e1}^{\infty} \mu_{ij}(e,a,D)S(e,e1,a,D)\partial a\ , \qquad (3.7)$$

$$R_{ij}(e,e1,\{d\}) = \int_{e}^{\infty} d\,(e')(\int_{a*}^{\infty} S(e,e1,a,\{d\})\cdot\mu_{ij}(e',a,\{d\})\cdot\partial a)\partial e'\ , \qquad (3.8)$$

Здесь $R_{ij}(e,e1,D)$ ($R_{ij}(e,e1,\{d\})$) - пожизненный радиационный риск для человека возраста *e1*, получившего разовую дозу *D* в возрасте *e* (или для которого хроническое облучение с мощностью дозы $d(e')$ началось в этом возрасте) и дожившего до возраста *e1*; $S(e,e1,a,D)$ ($S(e,e1,a,\{d\})$) - функция выживания для него

от возраста *e1* до возраста *a* (при условии, что человек дожил до возраста *e1*); *a** = max(*e1,e'*). Для ЗДЭ используются обозначения формул общей методики, раздел 2.6. Отметим, что

$$S(e,e1,a,\ldots) = S(e,a,\ldots)/S(e,e1,\ldots)$$

Формула (3.8) проиллюстрирована на рисунке 3.2, где показана область интегрирования на плоскости (*e',a*).

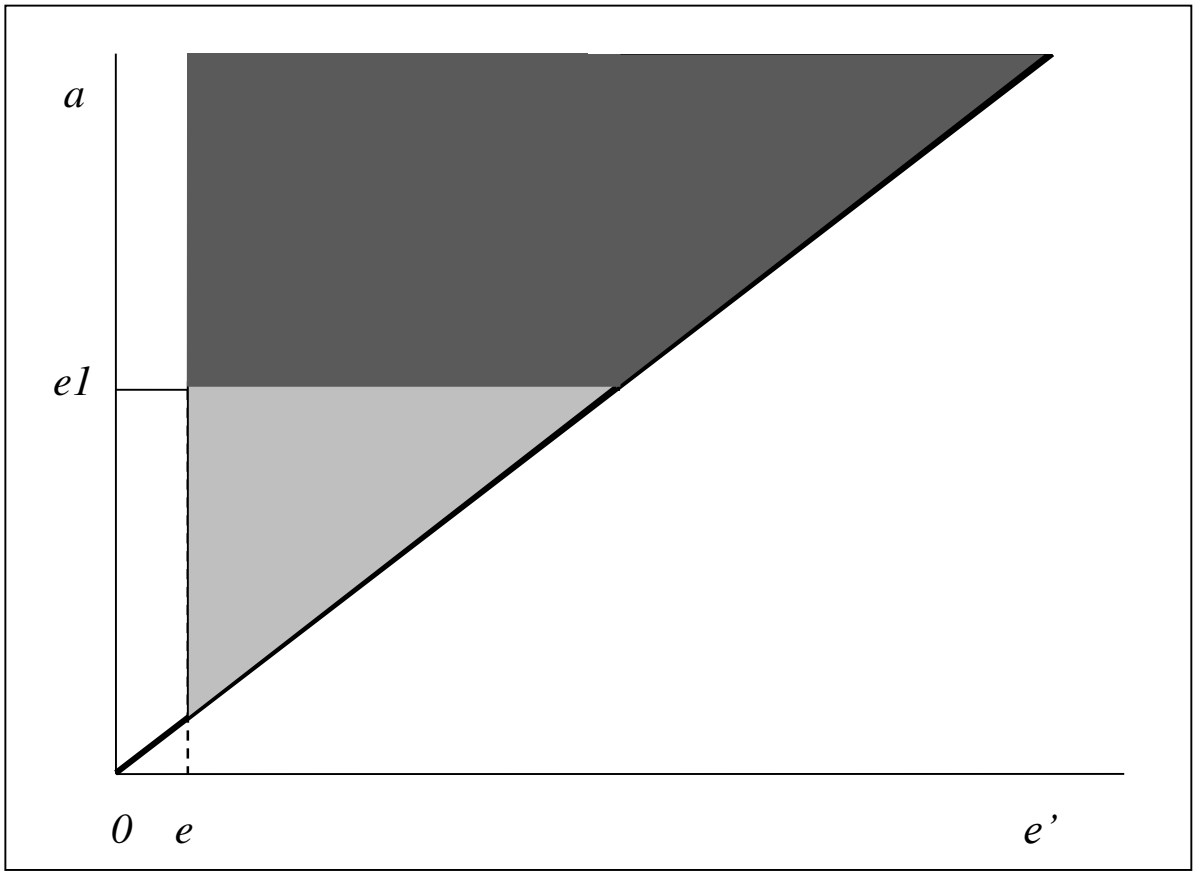


Рисунок 3.2 - Иллюстрация к формуле (3.8): область интегрирования по переменным (возрастам) *e'* и *a* (темный цвет). Область серого цвета соответствует части пожизненного риска, которую избежал человек, достигший возраста *e1*.

3.6 Упрощенная методика оценки радиационного риска

В разделе 2.9 главы 2 дано общее определение упрощенной методики (УМ) оценки риска и ее упрощенных формул, см. формулы (2.45) - (2.52) и приведены формулы для расчета средних значений коэффициентов риска. В текущем разделе

определение УМ конкретизируется на примере оценки радиационного риска: приведены значения усредненных по возрасту коэффициентов радиационного риска $R_{cp}(1)$ и g_{cp} , полученные по формуле (2.49) – (2.52) раздела 2.9.

Усреднение осуществлено по МДД России 2014 г.

Средние по возрасту значения показателей риска: пожизненный риск смерти $R_{i,cp}$ и заболевания $Rd_{i,cp}$, пожизненная потеря лет жизни $G_{ij,cp}$ от радиогенного рака вида i при получении дозы D_j (в Зивертах) вычисляются согласно формулам

$$R_{ij,cp} = R_{ij,cp}(1)\cdot D_j, \tag{3.9}$$

$$Rd_{ij,cp} = Rd_{ij,cp}(1)\cdot D_j, \tag{3.10}$$

$$G_{ij,cp} = g_{ij,cp}\cdot D_j\,, \tag{3.11}$$

Индекс j обозначает вид воздействия ионизирующего излучения: либо на отдельный орган, либо равномерное или неравномерное облучение всего тела.

Значения усредненных по возрасту коэффициентов радиационного риска $R_{ij,cp}(1)$, $Rd_{ij,cp}(1)$ и $g_{ij,cp}$ получены расчетным путем по методике оценки радиационного риска, описанной в этой главе, с использованием в качестве ЗДЭ модели BEIR VII. Эти значения приведены в таблице 3.2.

В этой модели, как и в любой другой, стоит проблема выбора значения поправочного множителя DDREF. В разных работах международных и национальных организаций используются разные значения DDREF. В оценке радиационного риска для населения США в работе [45] использовалось значение DDREF = 1,5. МКРЗ при расчете показателей радиационного риска для формирования коэффициентов эффективной дозы решила использовать значение DDREF = 2,0 [6]. При этом считалось, что при таком выборе значения DDREF возможно имело место некоторое превышение в оценке риска и тем самым в нормах радиационной безопасности был реализован некоторый консерватизм (запас безопасности).

Выше в разделе 3.4 приведены аргументы в пользу использования линейной зависимости в ЗДЭ для сȯлидных раков с DDREF = 1,0. В таблице 3.2 приведены усредненные коэффициенты риска, рассчитанные с этим значением DDREF.

Отметим, что при расчете риска смерти (заболевания) от радиогенного лейкоза коэффициент DDREF не учитывается из-за применения линейно-квадратичной зависимости доза – эффект.

Коэффициенты радиогенного риска смерти и заболевания $R_{ij,cp}(1)$ и $Rd_{ij,cp}(1)$ связаны через коэффициент α:

$$R_{ij,cp}(1) = \alpha \cdot Rd_{ij,cp}(1). \qquad (3.12)$$

Этот коэффициент (α) называют летальностью (отношение вероятности умереть от рака данного вида к вероятности заболеть этим раком). В публикации МКРЗ [6] используются значения α , полученные по МДД ряда выбранных стран в первые годы 21 столетия.

При расчете значений коэффициента $Rd_{ij,cp}(1)$, представленных в таблице 3.2, использовались значения α, полученные по Российским данным [34,35]. В этих публикациях о злокачественных новообразованиях в РФ за 1989 – 2014 гг. наряду с многими другими данными представлены так называемые кумулятивные данные о заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований. В разделе 2.2.2 главы 2 приведены расчетные формулы для этих данных (2.13) и (2.14). В этом разделе они названы специальными показателями пожизненного риска смерти $\hat{R}_i$ и заболевания $\hat{R}d_i$. Там же (формула (2.15)) приведено выражение для коэффициента α.

При расчете кумулятивных данных о риске заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований (величин $\hat{R}_i$ и $\hat{R}d_i$) интегрирование (суммирование) по возрасту в публикациях [34,35] ограничивается достаточно большим возрастом (75 лет). Эти кумулятивные данные вместе со значениями летальности α из публикаций [34,35] приведены в Приложении Г.

Таблица 3.2 - Усредненные по возрасту коэффициенты радиационного риска $R_{ij,cp}(1)$, $Rd_{ij,cp}(1)$ и $g_{ij,cp}$.

Вид радиогенного рака*)	$R_{ij,cp}(1)$, $Зв^{-1}$		
	Муж.	Жен.	Оба пола
Лейкоз	0,0039	0,0031	0,0035
Сȯлидные раки	0,041	0,097	0,07
Все раки	0,045	0,1	0,073
	$Rd_{ij,cp}(1)$, $Зв^{-1}$		
Лейкоз	0,0064	0,0055	0,006
Сȯлидные раки	0,065	0,224	0,134
Все раки	0,071	0,23	0,14
Вид радиогенного рака	$g_{ij,cp}$, год/Зв		
	Муж.	Жен.	Оба пола
Лейкоз	0,15	0,12	0,13
Сȯлидные раки	0,70	1,63	1,2
Все раки	0,85	1,75	1,33

*) Определяются индексом i .

Нетрудно видеть из данных Приложения 4, что значение летальности α значительно уменьшилось от 1989 г. до 2014 г. благодаря внедрению достижений медицины. Значения $Rd_{ij,cp}(1)$ рассчитаны из соотношения (3.12) с использованием значений α за 2014 г из Приложения Г. Они также приведены в Табл. 3.2.

3.7 БАРД: банк данных по анализу риска

3.7.1 Области применения и развитие БАРД

БАРД (**Б**анк **Д**анных по **А**нализу **Р**иска) предназначен для оценки риска здоровью населения или профессиональных работников от техногенных и природных источников риска, состояния здоровья населения в медико-демографических показателях.

К концу 2015 г. наибольшее развитие получили следующие основные применения БАРД:

- оценка радиологических и нерадиологических последствий ядерных аварий, испытаний ядерного оружия и т.п.;
- оценка риска от радиационного облучения любого типа и любой временной зависимости (профессиональное облучение, медицинские процедуры, природные источники и др.);
- оценка состояния здоровья населения в показателях риска и медико-демографических показателях;
- сравнение риска от разных источников, в том числе от разных энергопроизводств.

БАРД развивался и продолжает развиваться параллельно с методологией оценки риска [8,10-13,27] в следующих национальных и международных научно-исследовательских программах:

- федеральная программа НИР Министерства чрезвычайных ситуаций России (ФЦП «Семипалатинский полигон/Алтай», с 1994 по 2004 гг.),
- программа НИР Совета Безопасности России (1996 г.),
- программа НИР Координационного Совета Минатома РФ по анализу риска в ядерном комплексе (с 1997 по 2000 гг.),
- международный (ЕС-СНГ) послечернобыльский исследовательский проект JSP2 (1992-1996 гг.),
- координируемая МАГАТЭ международная программа НИР по сравнению рисков для окружающей среды и здоровья населения от разных энергопроизводств (1994 - 1998 гг.),
- международный проектTACIS № R4.02/03 (2005 – 2007 гг.).

На рисунке 3.3 показано главное управляющее окно варианта БАРДа, разработанного в рамках международного проекта TACIS № R4.02/03.

При некоторых модификациях БАРД может использоваться как инфомационно-экспертная система в центральных и местных государственных органах (административные органы власти, ФМБА РФ и ее региональные организации, органы госсанэпиднадзора и др.).

Main window of BARD – RADON module

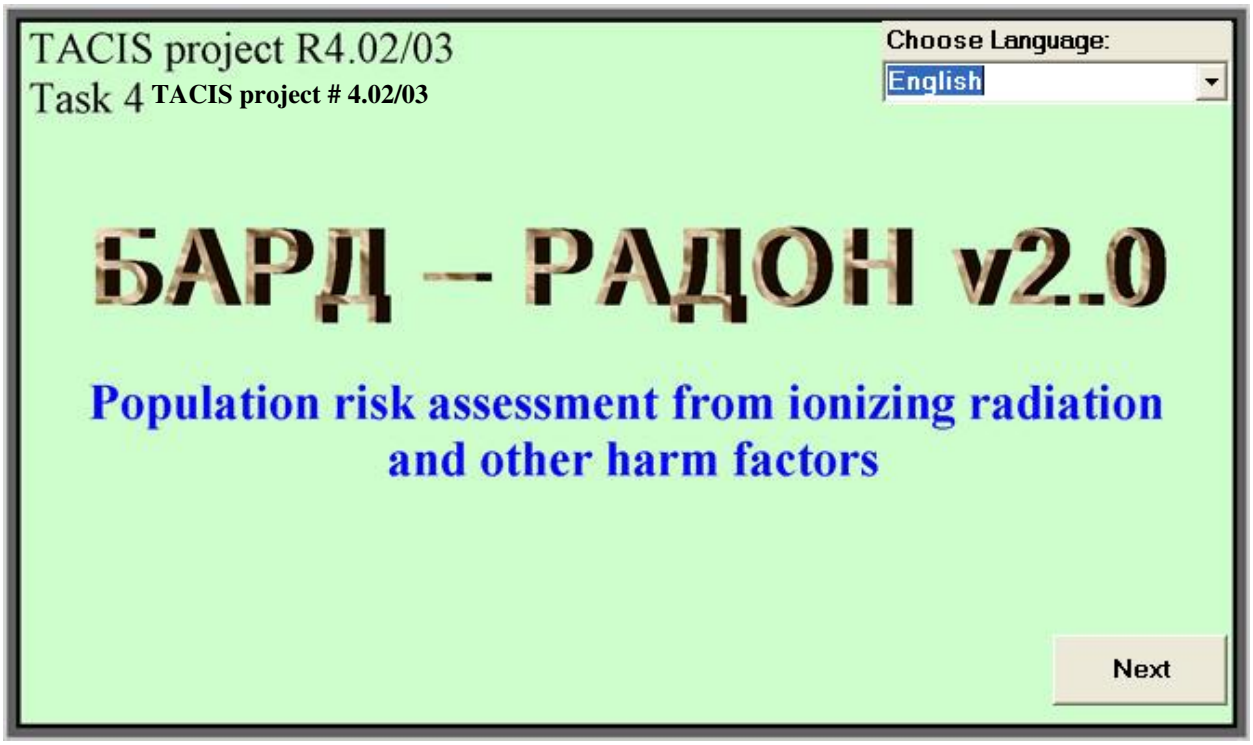


Рисунок 3.3 – Главное управляющее окно варианта комплекса БАРД, разработанного в рамках международного проекта TACIS № R4.02/03.

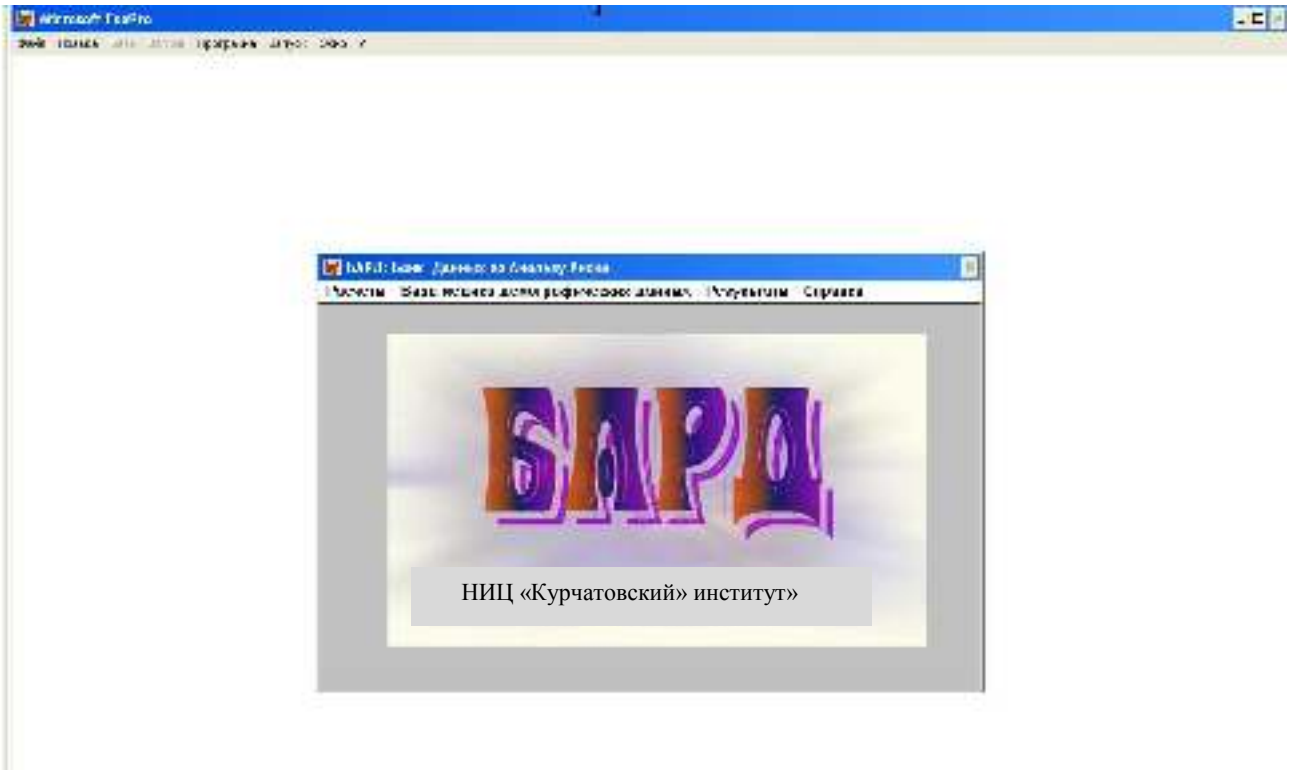
Ниже описан в основном вариант БАРДа, предназначенный для оценки радиационного риска от воздействия источников ионизирующего излучения.

3.7.2 Структура БАРД

БАРД разрабатывался с использованием СУБД FOXPRO Windows.

БАРД включает:

– исходную базу медико-демографических данных (МДД), управляемую СУБД; эти данные необходимы для расчета как радиационного, так и нерадиационного риска;
– служебные и расчетные ЭВМ-программы.



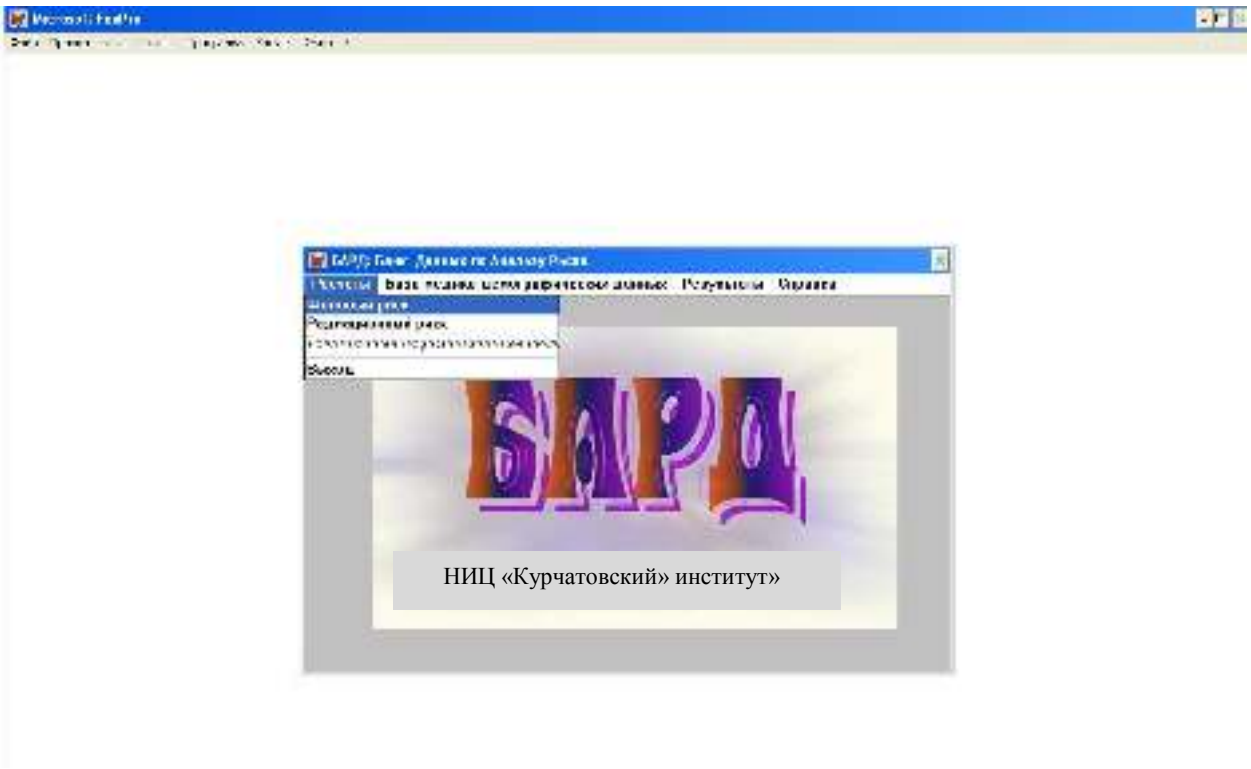


Рисунок 3.4 - Первые два управляющие окна компьютерного комплекса БАРД. Второе окно демонстрирует вход в расчетную часть комплекса.

На рисунке 3.4 показаны два первых управляющих окна комплекса основной версии БАРД. В верхней части можно видеть интерактивные управляющие позиции: **расчеты, база медико-демографических данных, результаты, справка.** Через первую позицию можно войти в расчетную часть БАРДа, через вторую и третью позиции можно осуществить просмотр соответственно медико-демографических данных в базе данных БАРДа и полученные результаты расчета.

3.7.3 База данных

База данных содержит следующие структурированные данные:

- повозрастные коэффициенты смертности и заболеваемости (частично) от разных причин,
- повозрастное распределение населения,
- повозрастные коэффициенты рождаемости.

Исходные МДД берутся из разных источников: Центр демографии и экологии человека института народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва (основной источник), Госкомстат СССР и России, Статистические данные ВОЗ ООН по состоянию здоровья населения мира, Алтайский филиал института комплексных проблем гигиены и профзаболеваний СО РАМН, Алтайский медицинский институт и др.).

Эти исходные данные обрабатываются по специальной программе и помещаются в базу данных в виде файлов с расширением *.dbf.

База данных БАРД находится в состоянии постоянного развития путем включения в нее все новых и новых МДД. По состоянию на середину 2015 г. она включает МДД разных лет для населения:

- России, ее областей и других государственно-административных образований;
- Беларуси и нескольких ее областей;
- Украины и нескольких ее областей;
- бывшего СССР и его республик;
- нескольких других стран ООН (Франция, Великобритания, США, ...).

Наиболее полно представлены МДД для России и ее регионов, см. Приложение Б.

Каждый массив МДД подразделяется на отдельные подмассивы данных по полу (мужчины, женщины, оба пола) и образу жизни (сельское, городское и все население).

Повозрастные коэффициенты смертности представлены в агрегированном и детальном видах.

При агрегированном представлении имеющиеся факторы риска (причины смертности) разбиваются на 8 групп (классов):

1) инфекционные болезни,
2) злокачественные новообразования,
3) болезни системы кровообращения,
4) болезни органов дыхания,
5) болезни органов пищеварения,
6) несчастные случаи, травмы и др.,
7) остальные факторы.
8) сумма всех факторов риска.

Для любой оценки риска необходимы данные позиции 8). Для оценки радиационного риска необходимы данные позиции 2), ля оценки риска от воздействия предприятий энергетики на ископаемом топливе –позиций 3) и 4). Для оценки риска от внешних причин смерти следует использовать данные позиции 6).

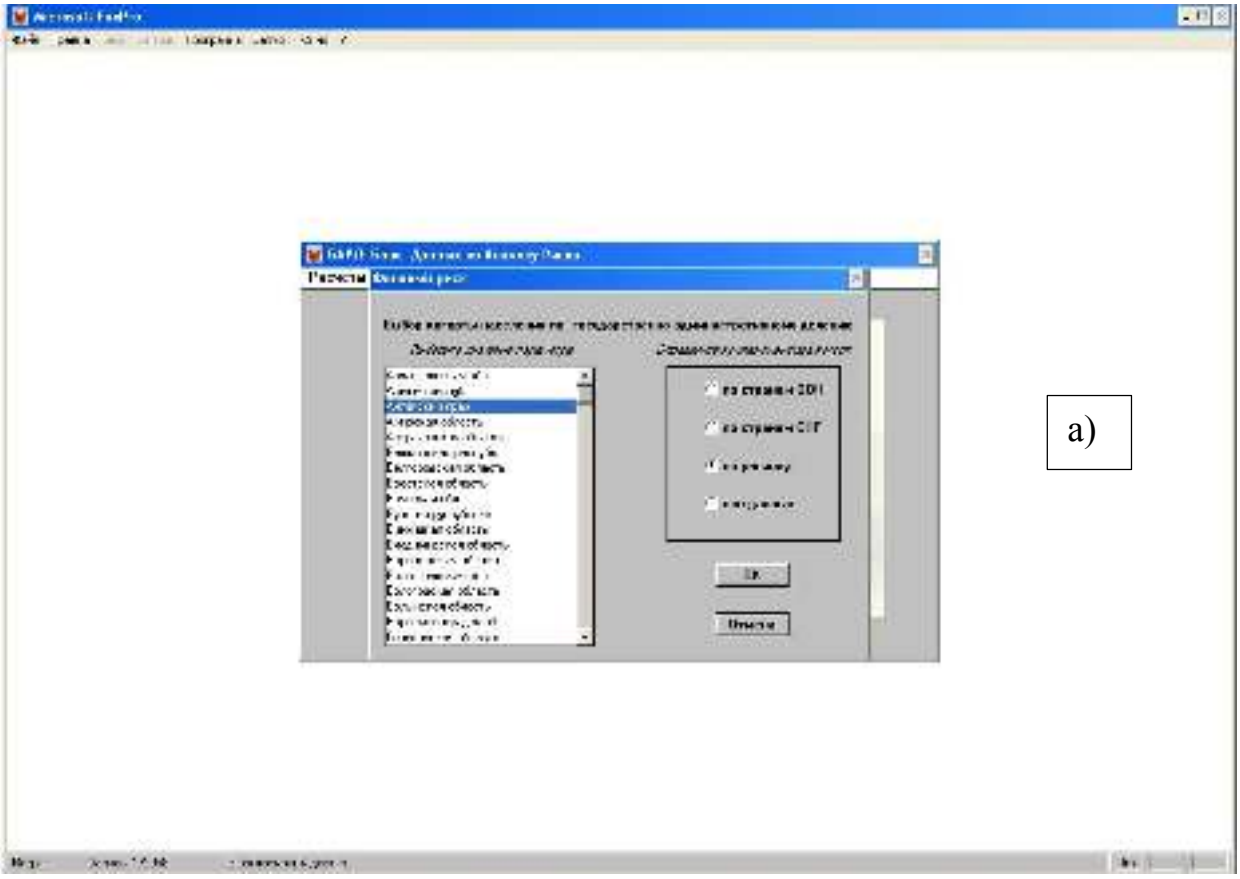
При представлении данных в детализированном виде каждая из этих групп разбиваются на подгруппы. Например, третья группа подразделяется на конкретные виды заболеваний: гипертония, ишемическая болезнь сердца, атеросклероз, цереброваскулярные болезни и др. Вторая группа также разбита по отдельным видам новообразований, что принципиально важно при расчете радиационного риска.

Используется краткая номенклатура причин смерти Госкомстата СССР 1981 г. (все причины смерти сгруппированы в 175 рубрик), действующая до 1998 г. с небольшими изменениями 1988 г. Начиная с 1999 г., введена новая краткая

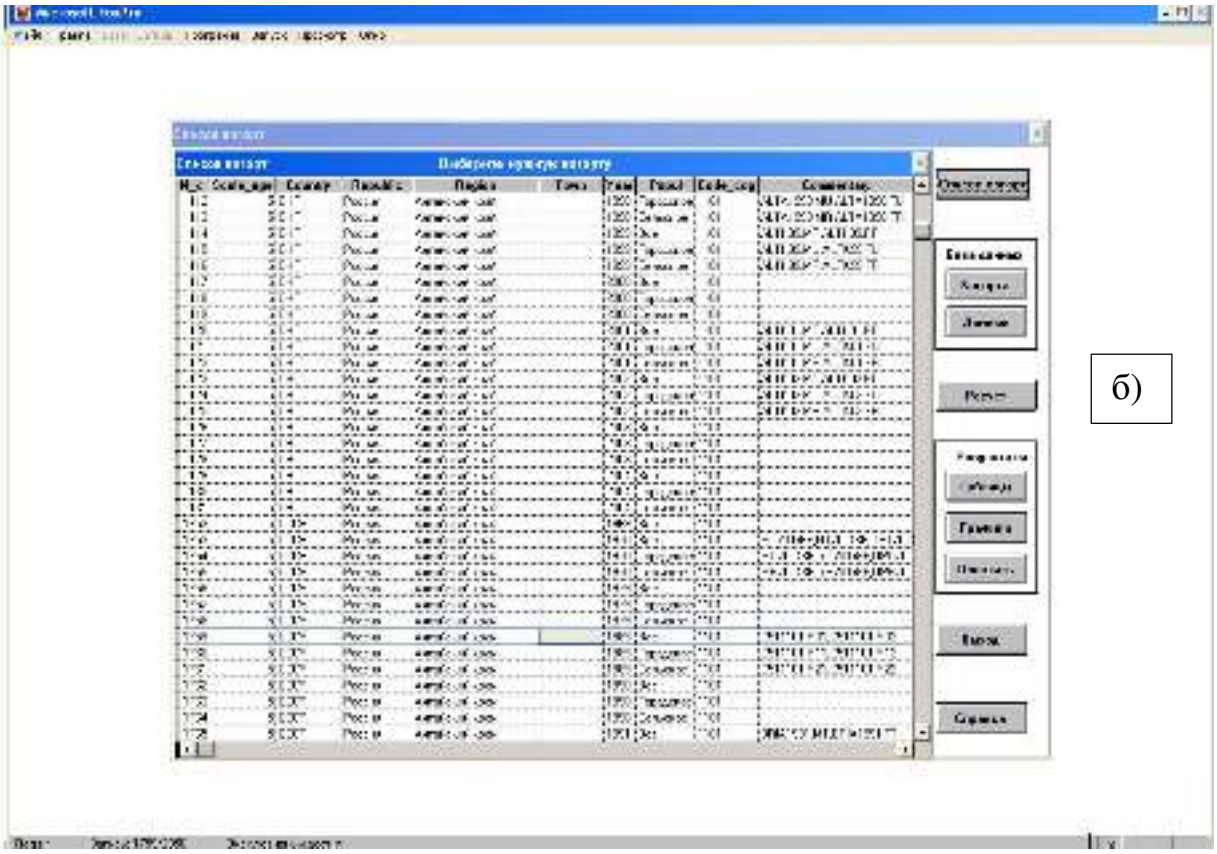
номенклатура (255 рубрик), основанная на международной классификации ICD10 [31]. Она также используется в БАРДе. В Приложении В представлена номенклатура причин смерти, действующая с 1999 г.

С позиции оценки радиационного риска наиболее важны причины смерти с кодами (номерами) 56 – 88, см. Приложение В. Это смертность от злокачественных новообразований. Также представляют особый интерес внешние причины смерти (аварии, несчастные случаи, убийства и др.): коды 239 – 256.

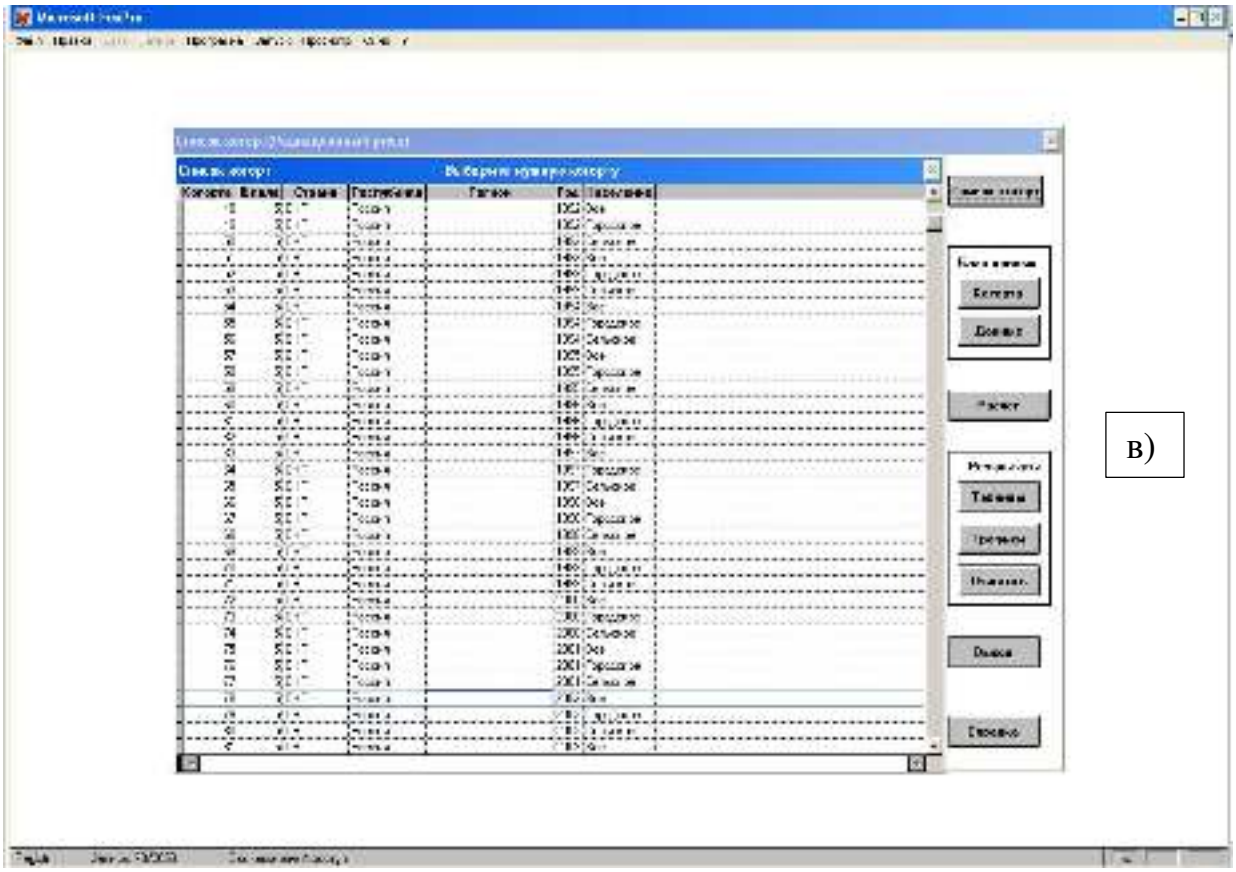
На рисунке 3.5 приведены примеры управляющих окон компьютерного комплекса БАРД, возникающих при входе в базу данных БАРДа. В управляющем окне, показанном на рисунке 3.5, а), осуществляется выбор страны или региона России, для населения которой (которого) будут далее выбираться соответствующие МДД. В правой части можно видеть командные кнопки, нажатие которых можно осуществлять выбор либо страны мира или СНГ, либо региона России. На рисунке зафиксирован вариант выбора Алтайского края среди регионов России.



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 - Примеры управляющих окон компьютерного комплекса БАРД, возникающих при входе в базу данных БАРДа. Окна а), б) и в) демонстрируют варианты выбора конкретной популяции для последующего просмотра МДД конкретного региона России или России в целом или для расчета риска.

Рисунки 3.5, б) и в) демонстрируют следующий этап выбора конкретного населения: выбрано население Алтайского края и России в целом. Выделением конкретной строки осуществляется выбор когорты по образу жизни (городское, сельское или все население) и календарного года. Справа на этих окнах можно видеть командные кнопки, определяющие конкретные действия (**просмотр МДД выбранной когорты, вход на проведение расчетов риска для выбранной когорты или просмотр результатов расчета***)*.

Во 2-ой колонке показана возрастная шкала 5: МДД представлены в базе данных с шагом по возрасту 5 лет.

3.7.4 Расчетные программы

Расчетные программы разработаны на основе методологии оценки риска, изложенной в главах 2 и 3. Расчетная часть БАРД предоставляет возможность производить расчет как радиационного, так и нерадиационного риска. В большей своей части расчетные алгоритмы сводятся к численному вычислению интегралов по возрасту (однократных или двукратных). Применены стандартные методы численного интегрирования.

3.7.5 Радиационный риск

Оценка радиационного риска может быть произведена от:

- радиационных аварий;
- ядерных испытаний;
- других техногенных источников ионизирующего излучения;
- природных источников радиоактивного загрязнения;
- медицинских процедур.

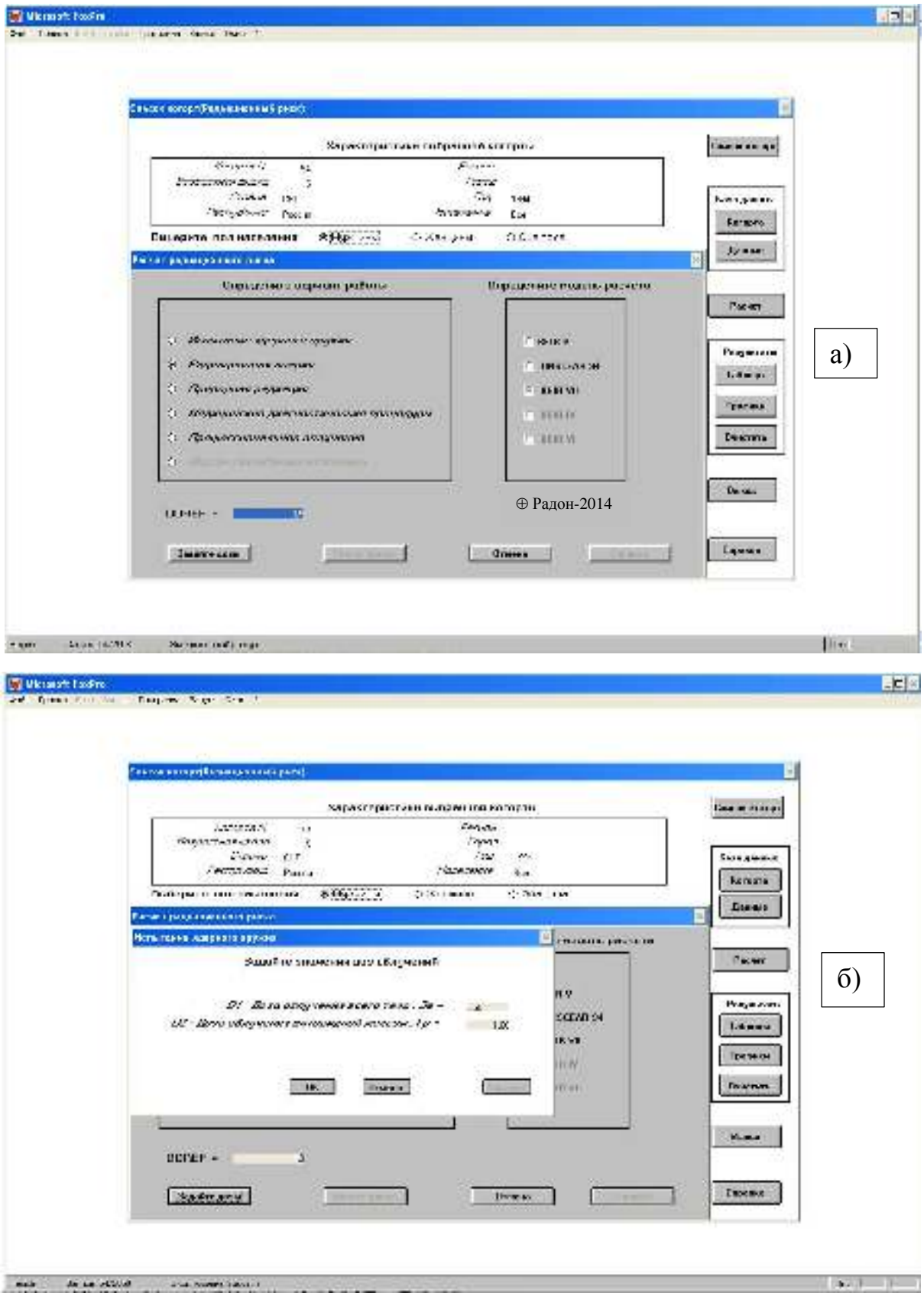


Рисунок 3.6 – Управляющие окна при входе в расчетную часть БАРДа – оценку радиационного риска: а) – начальное управляющее окно, в котором можно выбрать вариант расчета радиационного риска; б) пример следующего управляющего окна после выбора варианта оценки риска от испытания ядерного оружия.

Следующие модели радиационного риска использовались и могут использоваться в БАРД:

- BEIR V [42], BEIR VII [45], UNSCEAR-94, 2006 [25] - для β, γ излучения,
- BEIR VI [43], Висмут [48], Радон-14 [50] - для рака легких от радона и продуктов его распада,
- BEIR VII - для генетических эффектов.

На рисунке 3.6 показаны два управляющих окна при входе в расчетную часть БАРДа – оценку радиационного риска: а) – начальное управляющее окно, в котором можно выбрать вариант расчета радиационного риска и модель радиационного риска; б) пример следующего управляющего окна после выбора варианта оценки риска от испытания ядерного оружия. Дозы облучения можно задать с экрана, как это показано на рисунке 3.6, б). На данном окне заданы доза облучения всего тела (0,5 Зв) и доза облучения щитовидной железы (1,0 Гр). Следует отметить, что радиационное воздействие при испытании ядерного оружия в основном кратковременно: его можно описывать разовой дозой.

Для других вариантов оценки радиационного риска, например, для случая аварии на АЭС, картина дозовой нагрузки на население в зоне воздействия аварийных радиоактивных выбросов намного сложнее (дозы воздействия в острый период плюс длительное воздействие в последующие голы), и дозы в их зависимости от времени и других факторов после начала воздействия описываются дополнительной расчетной программой.

3.7.6 Нерадиационный риск

Эта часть БАРД предназначена для:

- оценки состояния здоровья населения в
  - в показателях риска;
  - в медико-демографических показателях;
- представления справочных данных по состоянию здоровья населения разных регионов России, СНГ и ряда других стран;

- оценки риска от внешних причин смерти (аварии, несчастные случаи, убийства и др.) и от любого другого источника нерадиационного риска (при наличии исходных данных).

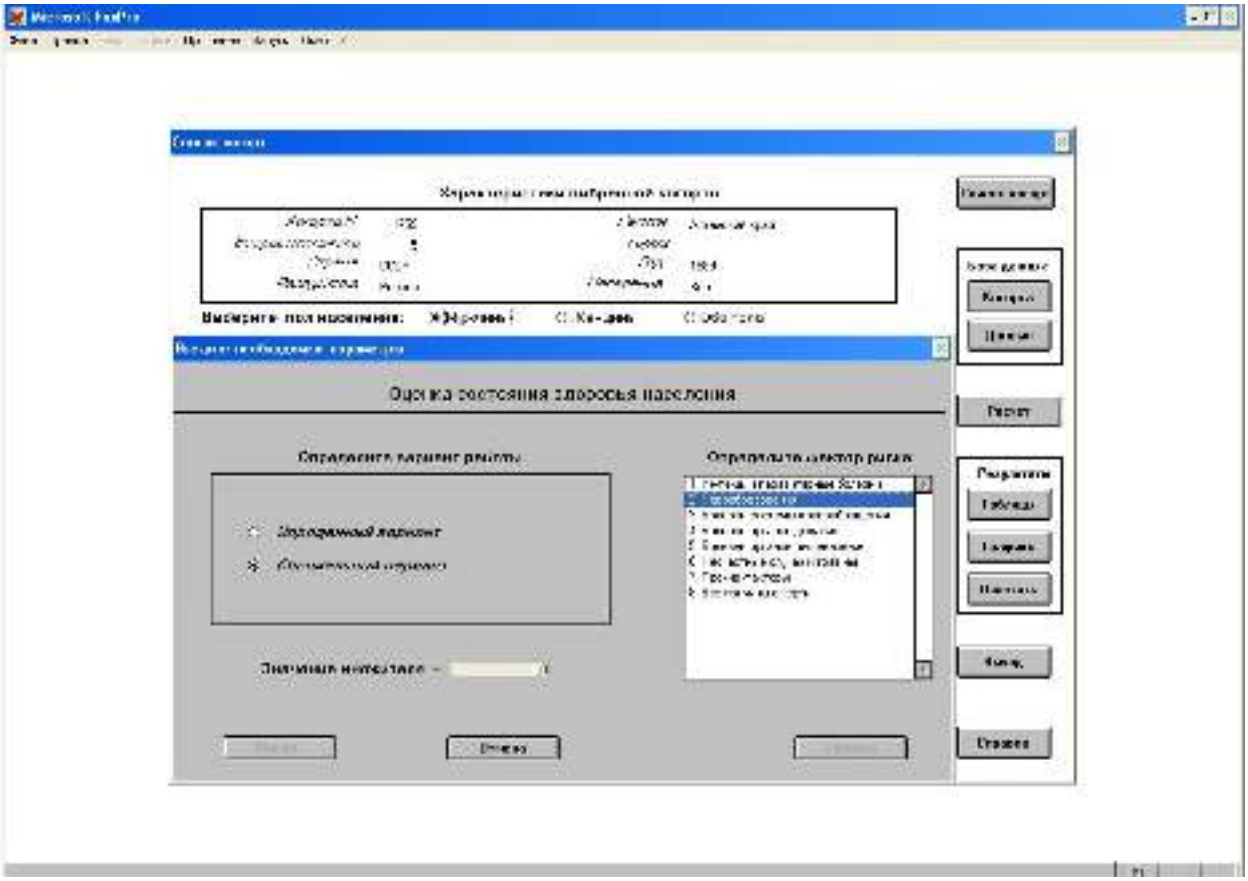


Рисунок 3.7 – Управляющее окно при входе в расчетную часть БАРДа – оценку нерадиационного риска. Показан выбор более сложного варианта оценки риска; в нем имеется возможность более детального расчета показателей риска для составляющих одного из основных классов причин смерти (по выбору).

На рисунке 3.7 изображено управляющее окно при входе в расчетную часть БАРДа – оценку нерадиационного риска. Показан пример выбора более сложного варианта оценки риска; в нем имеется возможность более детального расчета показателей риска для составляющих одного из основных классов причин смерти (по выбору). На рисунке показан выбор детальной оценки риска злокачественных новообразований. В проблеме оценки риска в аварийных (нештатных) ситуациях

должен быть осуществлен выбор 6-ой позиции (внешние причины смерти: несчастные случаи, травмы, отравления, убийства и т.д.).

3.7.7 Входные данные

При расчете риска по БАРД необходимо задать исходные данные. Они подразделяются на 2 части:

- внешние (подготавливаемые вне БАРД и вводимые в него перед расчетом),
- внутренние (извлекаемые из базы данных БАРД).
- При расчете радиационного риска входными данными являются
- поглощенные или эквивалентные дозы (кратковременное облучение) или мощности доз (хроническое облучение) для различных органов тела человека как результат воздействия рассматриваемого источника ионизирующего излучения; при оценке риска от радона используются экспозиционные дозы; все эти дозы или мощности доз должны быть даны в их зависимости от возраста, времени облучения, принимаемых защитных мер и т.п.;
- соответствующие МДД из внутренней базы данных БАРД.

Кроме того, должен быть еще осуществлен выбор первичной модели радиационного риска (см. выше раздел 3.1).

При расчете нерадиационного риска входными данными должны быть повозрастные коэффициенты смертности или заболеваемости, обусловленные рассматриваемым источником риска, или некоторые вариации МДД, полученные с использованием внутренней базы данных.

3.7.8 Выходные данные

Выходные данные (результаты оценки риска по БАРД) в соответствии с методологией оценки риска - это величины различных показателей риска на когортном (индивидуальном) или популяционном уровнях:

- пожизненный риск (вероятность смерти или заболевания от рассматриваемого источника риска в течение всей предстоящей жизни) или риск в ограниченный интервал времени;

- ущерб здоровью человека, выражаемый годами потерянной здоровой жизни вследствие действия данного источника риска, на когортном (индивидуальном) или популяционном уровнях;
- приведенный ущерб в потерянных годах жизни;
- смертность или заболеваемость как результат действия данного источника риска в некоторой когорте людей со специфическим поло-возрастным составом или в общей популяции в течение некоторого интервала времени;
- стандартизованные показатели риска.

Рассчитываемые показатели риска могут быть представлены в их зависимости от пола, возраста, местных условий, времени и т.д. или в усредненной форме. Вид выходных данных может быть специализирован при постановке задачи на оценку риска.

3.7.9 Тестовые верификационные расчеты

Проверка правильности расчета риска проводится путем проведения тестовых верификационных расчетов.

В 1996 г. были проведены вычислительные эксперименты: перекрестные расчеты риска между компьютерными системами БАРД и ASQRAD при выполнении международного проекта EU-CIS Joint Study Project 2 с целью их валидации. Компьютерная система ASQRAD (Assessment System for Quantification of Radiological Detriment) была разработана совместно специалистами Великобритании и Франции [60]. Были заданы одинаковые входные данные (МДД России 1989 г., существующая на тот период времени модельная ЗДЭ BEIR V и одинаковые дозовые нагрузки для двух вариантов расчета: разовая доза на все тело и мощность дозы хронического воздействия). Рассчитывались значения показателей риска R и g для локализаций рака, принятых в BEIR V. Было получено хорошее согласие результатов расчета риска обоими компьютерными системами после дополнительного уточнения входных данных. В частности, после первого расчетного эксперимента полученные результаты компьютерных систем БАРД и

ASQRAD различались в 2 раза из-за использования разных значений поправочного коэффициента DDREF, см. раздел 3.4.

После появления в последующие годы более совершенных ЗДЭ (BEIR VII и др.) интерес к валидации компьютерных комплексов БАРД и ASQRAD с моделью BARD V пропал. Однако осуществленный вариант перекрестных тестовых расчетов служит хорошим примером для подобных действий между научными коллективами разных институтов, регионов или стран. Важно, чтобы существовали достаточно развитые компьютерные комплексы для оценки риска типа комплекса БАРД или ASQRAD.

В литературе можно найти примеры оценки радиационного и нерадиационного риска с использованием комплекса БАРД [10,11,14,17,21,22,50].

ГЛАВА 4 ЭФФЕКТЫ КОНКУРЕНЦИИ РИСКОВ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

4.1 Введение

В этой главе рассматривается только риск смерти, так как конкуренция рисков может быть в основном только между источниками риска смерти.

В упрощенном подходе к оценке риска смерти нередко считается, что значения соответствующих показателей риска для двух или нескольких независимых факторов вреда (источников риска) просто суммируются при получении полного эффекта (т.е., обладают свойством аддитивности). Для многих это свойство представляется очевидным и не требующим каких-либо доказательств.

На самом деле аддитивными являются только повозрастные коэффициенты риска смерти. Те величины, которые принято называть показателями риска (например, пожизненный риск смерти), не аддитивны вне зависимости от того, зависимы или независимы рассматриваемые источники риска. Возможно, суммировать риски допускается только в случае, когда они малы, с необходимыми оговорками и при соответствующих условиях.

Человек может умереть только один раз. Отражением этого факта является то, что полный пожизненный риск равен единице. Изменение одного из источников риска автоматически приводит к изменению (перенормировке) пожизненных показателей риска других действующих факторов, даже если они статистически независимы. Эта взаимозависимость показателей риска принято называть ***конкуренцией рисков*** [61].

Отметим, что существует и другая зависимость между эффектами разных источников вреда типа синергизма или антагонизма. Например, для со́лидного радиогенного рака рекомендуют использовать мультипликативную зависимость от риска спонтанного рака [45-48]. Аналогичную зависимость предлагается

использовать при оценке риска заболевания (смерти) от химических вредных веществ [20,24]. Эта зависимость носит биологический характер и здесь не рассматривается. Отметим только, что конкуренция рисков действует как между независимыми, так и биологически зависимыми источниками риска.

Эффекты конкуренции рисков могут быть в ряде случаев весьма существенны, а иногда могут носить парадоксальный характер [61].

Ниже эти утверждения подтверждаются с использованием некоторых элементов теории риска и на конкретных расчетных примерах.

Оценка и анализ риска состоит из двух основных стадий (см. рисунок 1.2 главы 1): стадия идентификации опасности и основная стадия (нижний ряд Рисунка) – собственно оценка и анализ риска. Один из этапов первой стадии состоит в проведении эпидемиологических исследований (ЭИ). Основной задачей ЭИ является получение зависимостей доза-эффект в нужной для оценки риска форме.

Конкуренция риска может дать свой эффект как в результатах ЭИ, так и в собственно оценке риска. Эти две области проявления конкуренции рисков ниже рассматриваются отдельно.

4.2 Конкуренция в оценке риска

Как уже отмечалось в главе 2, пожизненный риск смерти от всех источников риска, включая риск смерти от естественных причин: старость и т.п.; равен единице. Рассмотрим некоторый источник риска, характеризующийся своими повозрастными коэффициентами смертности $\mu_1(a)$ и пожизненным риском $R_1(e)$. Он рассчитывается по формуле (2.8) главы 2 при $i = 1$. Пусть величина $\mu_1(a)$ увеличивается на некоторую величину $\Delta\mu_1(a)$. Соответственно увеличивается и $R_1(e)$ на некоторую величину $\Delta R_1(e)$. Но тогда сумма всех остальных рисков $\sum_{i\neq 1} R_i(e)$ уменьшается на эту же величину ΔR_1, сохраняя полный пожизненный риск равным единице. Уменьшается на некоторую величину каждый другой конкретный

пожизненный риск. Это может навести на парадоксальную, но неверную мысль о положительном эффекте конкуренции рисков.

Наоборот, при уменьшении $\mu_1(a)$ происходит обратное.

Отметим, что в этом примере изменяются значения пожизненного риска. Повозрастные коэффициенты риска для факторов риска $i \neq 1$ остаются неизменными.

Аналогичные изменения будут происходить и с показателями ущерба G_i. Однако в любом случае при увеличении одного из показателей ущерба полная продолжительность жизни уменьшится на некоторую величину.

Рассмотрим некоторое исходное базовое состояние когорты людей, описываемое функцией дожития $S(e,a)$. Пусть дополнительно действуют два источника риска со своими повозрастными коэффициентами смертности $\mu_1(a)$ и $\mu_2(a)$. Отдельные пожизненные риски $R_1(e)$, $R_2(e)$, отдельные пожизненные ущербы $G_1(e)$, $G_2(e)$ и полные пожизненные риск $R_{1+2}(e)$ и ущерб $G_{1+2}(e)$ при действии обоих источников риска рассчитываются соответственно по формулам

$$R_i(e) = \int_e^\infty S_i(e,a)\cdot\mu_i(a)da, \; i = 1,2; \tag{4.1}$$

$$R_{1+2}(e) = \int_e^\infty S_{1+2}(e,a)\cdot[\mu_1(a)+\mu_2(a)]da; \tag{4.2}$$

$$G_i(e) = \int_e^\infty [\, S(e,a) - S_i(e,a)]da, \;\; i = 1,2; \tag{4.3}$$

$$G_{1+2}(e) = \int_e^\infty [\, S(e,a) - S_{1+2}(e,a)]da, \tag{4.4}$$

где $S_1(e,a)$, $S_2(e,a)$ и $S_{1+2}(e,a)$ – функции дожития с учетом дополнительного действия отдельных источников 1 и 2 и их дополнительного совместного действия. Выпишем разницу $\Delta R(e)$ ($\Delta G(e)$) между суммой отдельных пожизненных рисков (ущербов) и пожизненным риском (ущербом) их совместного действия:

$$\Delta R(e)= R_1(e) + R_2(e) - R_{1+2}(e)= \int_e^{\infty} S_{1+2}(e,a)\cdot\{\mu_1(a)\cdot \cdot[(S_1(e,a)/ S_{1+2}(e,a)) - 1] +\mu_2(a))\cdot[(S_2(e,a)/ S_{1+2}(e,a)) - 1]\}da. \quad (4.5)$$

$$\Delta G(e) = G_1(e) + G_2(e) - G_{1+2}(e) = \int_e^{\infty} \{[S(e,a)\cdot[1 - exp(- M_1(e,a))]\cdot \cdot[1 - exp(-M_2(e,a))]\}da; \quad (4.6)$$

здесь

$$M_i(e,a) = \int_e^{a} \mu_i(a')da'; \; i =1,2. \quad (4.7)$$

Легко увидеть, что разница $\Delta R(e)$ и $\Delta G(e)$ больше нуля, так как всегда справедливы соотношения $S_i(e,a)/ S_{1+2}(e,a)\geq 1$ и $[1 - exp(-M_i(e,a))]\leq 1$ (i = 1,2).

Конкуренция рисков приводит к некоторой неоднозначности при выборе показателя риска для вредного фактора, приводящего к неспецифическим эффектам в здоровье человека, т.е., таким, которые неотличимы от эффектов, вызываемых другими факторами, сопровождающими жизнь человека. Примеры неспецифических эффектов:

- радиогенные раки, неотличимые от так называемых спонтанных раков;
- заболевания органов дыхания и кровообращения и смертность от них, вызываемые воздействием вредных химических веществ.

Рассмотрим некоторый такой фактор, действующий на человека, начиная с возраста e, и порождающий дополнительную вероятность смерти типа i, например, смертельный рак или смерть от болезней органов дыхания или кровообращения. Пусть она описывается функцией $\mu_i(a)$, а спонтанная (фоновая) смертность этого же типа - $\mu_{0,i}(a)$.

В главе 2 для расчета пожизненного риска смерти $R_i(e)$ от i-го фактора предложена формула (2.10). В ней $S(e,a)$ - полная функция выживания, учитывающая дополнительную смертность от рассматриваемого фактора. Однако

изменение риска смерти в связи с действием этого фактора (обозначим его как $R_i^d(e)$) описывается несколько иной формулой

$$R_i^d(e) = \int_e^\infty S(e,a)\cdot[\mu_i(a)+ \mu_{0,i}(a)]\, da - \int_e^\infty S^{(i)}(e,a)\cdot\mu_{0,i}(a))\, da\,, \qquad (4.8)$$

где $S^{(i)}(e,a)$ – полная функция выживаемости, но без учета рассматриваемого фактора и его дополнительного эффекта i .

Нетрудно видеть из формулы (2.10), что значение показателя риска $R_i(e)$ несколько больше, чем показателя риска $R_i^d(e)$, так как $S(e,a) \leq S^{(i)}(e,a)$. Например, для радиационного риска при облучении всего тела эта разница может достигать 20 % [6]. Первый показатель ($R_i(e)$) описывает дополнительную смертность типа i в когорте людей, находившейся (находящейся) под действием рассматриваемого вредного фактора. В зарубежной литературе его называют “Risk of “Exposure”-Induced Deaths (REID)” – риск смерти, порожденный экспозицией данному вредному воздействию. Второй показатель риска ($R_i^d(e)$) описывает разницу в смертности типа i в когортах людей, находящихся и не находящихся под действием рассматриваемого вредного фактора. Его определение в зарубежной литературе: “Excess Lifetime Risk (ELR)” – дополнительный пожизненный риск.

Четких оснований для выбора одного из этих показателей в анализе риска нет. Подобные эффекты конкуренции рисков могут поставить в затруднение любого специалиста в области анализа риска. Реально выбор определяется волевым решением экспертов. Например, в оценке радиационного риска в последние годы, как правило, используется показатель риска $R_i(e)$ (см., например, [6,43-47]).

Отметим, что для специфических эффектов действия некоторого вредного фактора точно известно, что человек умер от действия этого источника риска. Для оценки пожизненного риска от такого источника правильным будет использовать формулу (2.10). Исходя из этого обстоятельства, все-таки некоторое предпочтение уместно отдать использованию формулы (2.10) и для неспецифических эффектов.

Продемонстрируем эффект конкуренции рисков в следующем вычислительном эксперименте (расчет с использованием компьютерной системы

БАРД). Рассмотрим, например, мужское население России в 1989 г. Расчетная ожидаемая средняя продолжительность жизни тогда равнялась 64,2 годам. Рассчитаем ущербы в потерянных годах жизни для среднестатистического человека в результате смерти под действием таких факторов риска как спонтанные злокачественные новообразования (ЗН) и болезни системы кровообращения (БСК). Пусть по отдельности убираются эти факторы риска (при сохранении другого). Тогда предотвращенный ущерб (или, другими словами, увеличение продолжительности жизни) равнялся бы соответственно 3 и 9 годам. Можно подумать, что суммарный предотвращенный ущерб равен 12 годам. Однако если были бы одновременно устранены оба эти фактора, то предотвращенный ущерб равнялся бы 16 годам – на 4 года больше суммы отдельных ущербов. Конкурируя друг с другом, эти факторы риска уменьшают суммарный ущерб, делая его меньше 16 лет. Если «включать» или «выключать» действие одного из рассматриваемых факторов риска в отсутствии другого, то ущерб (или предотвращенный ущерб) равнялся бы примерно 7 и 13 годам (но не 3 и 9 годам) соответственно для спонтанных ЗН и БСК. Таков эффект конкуренции между этими двумя факторами риска.

Приведем другой практически важный пример проявления конкуренции рисков. Социально-экономические преобразования 90-х годов прошлого века в России привели к резкому ухудшению здоровья населения. Это ухудшение проявилось в уменьшении ожидаемой продолжительности жизни (особенно для мужчин), катастрофическом росте смертности от БСК и внешних причин смерти (аварии, отравления, убийства, самоубийства и др.). Это привело к снижению пожизненного риска смерти как от спонтанных, так и от радиогенных ЗН. Например, пожизненный риск смерти от воздействия ионизирующего излучения в России на 30 – 50 % меньше, чем во Франции при одинаковых дозовых нагрузках и примерно равных повозрастных коэффициентах смерти от спонтанных ЗН.

Рассмотрим эффект конкуренции рисков в другом вычислительном эксперименте на фоне роста смертности в 90-х годах прошлого века на примере мужского населения Брянской области. Рассчитаем пожизненный риск смерти (от

рождения) с медико-демографическими данными 1989 и 1994 г.г. от спонтанных и радиогенных ЗН при постоянной мощности дозы облучения всего тела 1 мЗв/год.

Таблица 4.1 - Пожизненный риск смерти R_i (от рождения) мужчин от спонтанного и радиогенного рака при мощности дозы облучения всего тела 1 мЗв/год (вычислительный эксперимент для населения Брянской области, расчет по БАРД).

Медико-демографические данные календарного года	R_i, %*)	
	Злокачественные новообразования	
	спонтанные	радиогенные
1989 г.	19,7	0,20
1994 г.	13,6	0,14

*) Среднеквадратичное отклонение не более 1 %.

Получаем результаты, представленные в таблице 4.1. Выбор этих годов обусловлен тем, что в 1994 г. имели место наихудшие показатели смертности, а 1989 г. характеризуется нормальными, доперестроечными медико-демографическими данными [31]. Повозрастные коэффициенты смертности от спонтанного рака изменились в 90-е годы незначительно, однако пожизненный риск смерти от спонтанного и радиогенного рака уменьшился на 30 % из-за конкуренции других значительно возросших к 1994 г. факторов риска: прежде всего, БСК и внешних причин смерти. Если риск выражать в показателе пожизненного риска смерти, как это часто делается, то нетрудно увидеть, что эффект конкуренции рисков, выражающийся в снижении пожизненного риска смерти от ЗН, превышает возможные последствия радиационного воздействия Чернобыльской аварии на население Брянской области.

Поставим теперь такой вопрос: как следует адекватным образом учитывать конкуренцию рисков при принятии практических решений по снижению риска смерти от тех или иных факторов риска?

Вновь вернемся к описанному выше примеру вычислительного эксперимента с двумя факторами риска (причинами смерти): ЗН и БСК. Рассмотрим следующие

3 варианта решений по снижению риска смерти для определенности мужского населения РФ:

1) первый, базовый вариант - мужское население РФ 1989 г. с его реальными медико-демографическими данными;
2) второй, гипотетический вариант, производный из первого варианта – за счет больших затрат на медицину повозрастная смертность от БСК равномерно сократилась на 50 % , все другие медико-демографические данные остались без изменения;
3) третий гипотетический вариант – это второй вариант, в котором дополнительно за счет мер снижения смертности от ЗН эта повозрастная смертность равномерно сократилась на 10 %.

В таблице 4.2 приведены данные расчета следующих показателей риска от действия этих двух источников риска, определенных выше (см. раздел 2.2 главы 2):

- пожизненный риск смерти $R_i = R_i(0)$ от рождения,
- ущерб в потерянных годах жизни $G_i = G_i(0)$,
- ожидаемая продолжительность жизни от рождения $L = L(0)$.

Расчет выполнен с помощью компьютерной системы БАРД.

В первом, базовом варианте получены значения этих величин для реальных медико-демографических данных мужского населения РФ 1989 г. (наиболее благополучные медико-демографические данные за последние 22 года). Как и следовало ожидать, БСК являются главной причиной смерти в РФ. Некоторые подобные данные можно найти, например, в публикациях Росстата, см., например, [30,31].

Во втором гипотетическом варианте показатели риска смерти от БСК значительно уменьшились за счет резкого снижения смертности от этих болезней. Но при этом пожизненные показатели риска смерти от ЗН возросли в соответствии с эффектом конкуренции рисков. Этот вариант качественно уже был рассмотрен выше.

Таблица 4.2 - Результаты вычислительного эксперимента в показателях риска R_i ,G_i , их изменение*) от малых добавок $\Delta\mu_i(a) = 0{,}1\cdot\mu_i(a)$ (i = 1,2) и ожидаемой продолжительности жизни L для нескольких гипотетических вариантов медико-демографических данных РФ.

Вариант расчета	Поправочный коэффициент		ΔR_i or R_i		ΔG_i or G_i , *год*		*L, год*
	ЗН	БСК	ЗН	БСК	ЗН	БСК	
1**)	1,0	1,0	0,1968	0,5228	2,87	9,00	64,23
2	1,0	0,5	0,2384	0,4013	4,01	5,90	67,33
3	0,9	0,5	0,2183	0,4130	3,64	6,11	67,65
4	1+0,1	1,0	0,0194	0,5098	0,25	8,68	63,98
5	1,0	1+0,1	0,1906	0,0489	2,73	0,48	63,75
6	1+0,1	1+0,1	0,0188	0,0478	0,24	0,47	63,51

Примечания: *) Значения показателей риска от малых добавок выделены серым цветом. **) Реальные медико-демографические данные для мужского населения РФ 1989 г. Другие, гипотетические варианты (2 - 6) получаются из 1-го варианта путем умножения повозрастных коэффициентов смерти от ЗН или БСК на поправочный множитель (коэффициент). ЗН – злокачественные новообразования, БСК – болезни системы кровообращения.

Более интересен 3-ий вариант, в котором относительно 2-го варианта добавлено небольшое снижение повозрастной смертности от ЗН. Это снижение также проявилось в конкуренции рисков: показатели риска от БСК несколько возросли по сравнению с вариантом 2. Однако интересно сравнить также первый и третий варианты. Приняты серьезные меры по снижению риска от БСК и некоторые меры по снижению риска от ЗН. Но при этом при снижении повозрастной смертности от ЗН пожизненный риск смерти от ЗН вырос как результат серьезного снижения конкуренции со стороны смертности от БСК. На простом языке это можно объяснить тем, что из-за значительного роста продолжительности жизни за счет снижения смертности от БСК люди стали доживать до более поздних ЗН. При этом этот эффект пересиливает некоторое уменьшение повозрастной смертности от ЗН.

Это несколько парадоксальное поведение показателей риска R_i и G_i из-за конкуренции рисков свидетельствует о том, что нужно осторожно относиться к использованию этих величин в практических решениях по мерам снижения риска. Нормальное поведение демонстрирует среди рассмотренных здесь величин только ожидаемая продолжительность жизни L: она растет при снижении любого фактора риска, хотя конкуренция рисков количественно сказывается и на этой величине.

При принятии решений по мероприятиям Минздрава РФ, включая распределение финансовых средств, всегда стоит задача составить оптимальный план таких мероприятий. Критерием оптимальности должно быть улучшение показателей медико-демографических данных. Как математически поставить задачу на оптимальное решение по социо-здравоохраненческим мерам, не споткнувшись на эффектах конкуренции рисков? Входными данными в этой задаче является полная сумма затрат на здравоохранение, эффективность здравоохраненческих мероприятий по всем значимым факторам риска и действующие медико-демографические данные. Необходимо найти такое оптимальное решение поставленной задачи, чтобы получить наибольший эффект в увеличении ожидаемой продолжительности жизни. Таким образом, критерием оптимальности должен быть достижение максимума величины L.

Такие показатели риска как R_i и G_i мало пригодны в этой оптимизационной задаче. Решением оптимизационной задачи должно быть распределение средств по разным направлениям здравоохранения, обеспечивающее максимум величины L. Нетрудно видеть, что в математическом плане это *сложная нелинейная оптимизационная задача.* Конкуренция рисков и есть одна из главных причин нелинейности.

4.3 Конкуренция риска в эпидемиологических исследованиях

Одно из основных назначений эпидемиологических исследований – получение зависимостей «доза» - эффект (ЗДЭ) в форме повозрастных коэффициентов смертности (заболеваемости), которые становятся необходимыми входными

данными для собственно оценки риска (см. рисунок 1.2 главы 1). Эффекты конкуренции рисков исчезают, если ЗДЭ получаются именно в такой форме. Это значит, что при получении и анализе эпидемиологических данных необходимо дробить возрастную шкалу на возможно малые интервалы. Обычно для табличного представления данных о ЗДЭ выбирают 5-ти летние интервалы. Это вполне удовлетворительно по разным причинам, в том числе для недопущения эффектов конкуренции рисков. Если из-за малой статистической мощности эпидемиологических данных приходится выбирать относительно большие возрастные интервалы, эффект конкуренции рисков начинает проявляться и тем больше, чем больше выбранные возрастные интервалы. Никакой математической обработкой таких эпидемиологических данных не избавиться от эффекта конкуренции рисков.

Отсюда следует, что если данные о ЗДЭ получены на больших возрастных интервалах на некоторой конкретной популяции людей со своими, возможно, специфическими медико-демографическими данными, то следует с осторожностью относиться к использованию таких ЗДЭ для оценки риска на других популяциях. Некоторые данные о ЗДЭ для химических загрязнителей, например, взвешенных частицах – загрязнителях атмосферы, полученные в США и ЕС, представлены в виде средних по возрасту коэффициентов (см., например, некоторые данные из публикаций [58,59,64]). Конкуренция рисков и значительное различие в медико-демографических данных населения США и РФ делает применение подобных данных для оценок риска на территории РФ, как это иногда имеет место, недостаточно обоснованным.

4.4 Заключение к главе 4

Неучет конкуренции рисков может привести к неправильным результатам оценки и анализа риска и эпидемиологических исследований. Необходимо осторожно относиться к использованию такого показателя риска как пожизненный риск

смерти R: конкуренция рисков может в значительной степени исказить результат оценки риска от некоторого конкретного источника опасности в этом показателе.

Для устранения искажающего эффекта конкуренции рисков результаты эпидемиологических исследований должны быть представлены в виде повозрастных коэффициентов смертности (заболеваемости).

Обязательный учет конкуренции рисков в решении задачи оптимизации расходов на здравоохранение приводит к решению принципиально нелинейной оптимизационной задачи при требовании достижения максимума продолжительности здоровой жизни человека.

ГЛАВА 5 МЕТОД СТАНДАРТИЗАЦИИ ВОЗРАСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ К ОЦЕНКЕ РИСКА

5.1 Введение

Эффективность защитных и профилактических мероприятий в нештатных ситуациях (ядерная авария, экологические неблагоприятные условия и др.) зависит от адекватной оценки риска воздействия источников вредного воздействия, от анализа важнейших закономерностей и тенденций в развитии медико-демографических процессов, их непосредственной взаимосвязи с социально-экономическими, гигиеническими и медицинскими факторами [31-33,67,68].

Оценка риска, анализ и оценка медико-демографических исследований невозможны без получения достоверных медико-статистических данных и применения методик их математической обработки, позволяющих изучать сравнительную характеристику демографических процессов различных групп стран или регионов одной страны, учитывая неоднородность в структуре населения (пол, возраст, географические условия и др.). С этой целью применяются различные методы стандартизации результатов оценки риска и демографических данных, сущностью которых является попытка устранить влияние указанных различий в структуре населения [66-68]. Тем не менее, получаемые в составе медико-демографических данных (МДД) стандартизованные показатели являются условными величинами и не отражают в полной мере истинных характеристик изучаемых явлений.

Цель исследовательской работы соискателя – качественно изменить метод стандартизации показателей риска в сторону более оптимального описания показателей риска и возможности более обоснованно проводить сравнительный анализ показателей риска в различных по структуре группах населения. Для достижения этой цели предложен концептуально новый подход к выбору стандарта возрастного распределения населения на национальном и международном уровнях.

Предметом исследования является метод прямой стандартизации данных о смертности населения, в том числе от конкретных видов воздействия на здоровье

населения, современные стандарты и результаты стандартизации данных о смертности, используемые в настоящей практике и регулярно представляемые в публикациях национальных и международных организаций (Росстат, ВОЗ и др.)

Был проведен критический анализ современных стандартов и получаемых на их основе стандартизованных показателей смертности от разных ее причин. Выявлены их серьезные недостатки, которые, с одной стороны, ставят задачу о необходимости изменения стандартов, а, с другой стороны, дают некоторые указания на пути совершенствования стандартизации.

5.2 Анализ действующих методов стандартизации

Под стандартизацией понимается выбор возрастного распределения населения для обоснованного с тех или иных позиций получения интегрированных и (или) усредненных по возрасту показателей риска или МДД.

При постановке задач обобщенного анализа и сравнения состояния здоровья населения разных стран или разных регионов одной страны, а также при оценке последствий чрезвычайных ситуаций часть данных о состоянии здоровья необходимо представлять в виде агрегированных статистических данных: проинтегрированных (просуммированных) по возрасту и, если нужно, и по полу.

Агрегированные данные о реальной годовой смертности какого-либо населения от тех или иных причин в абсолютных числах случаев смерти M получаются простым суммированием количеств смертных случаев в данном году по всем возрастным группам этого населения.

Давно уже стало правилом нормировать показатели смертности на 100000 человек (реже нормируют на 1000 или 10000 человек). Обозначим такую нормированную величину для смерти от суммы всех ее причин как m:

$$m = (M/N)\cdot 10^5, \qquad (5.1)$$

где N - полное среднегодовое число живущих в данном году людей рассматриваемого населения. Величину m принято называть общим показателем смертности. Например, согласно данным Росстата значение этого показателя

смертности для населения России составляло 1606 и 1465 соответственно в 2005 и 2007 г.г. [30,31].

Через m_i обозначим показатель смертности (также нормированный на 100000 человек) от некоторой конкретной i-той причины смерти (фактора риска). Его принято называть специальным показателем смертности [30,31]. В этом случае для расчета значения этого показателя в формулу (5.1) вместо M следует поставить полное количество смертных случаев M_i от этой причины смерти.

Показатель смертности m или m_i привлекателен в силу простоты вычисления и его очевидной пригодности для оценки уровня смертности конкретного населения. Однако при сравнительном анализе смертности в разных популяциях, имеющих различную возрастно-половую структуру населения и возможные другие различия в демографических характеристиках, этот показатель может привести к неправильным выводам.

Еще в первой половине XIX-го столетия английским специалистам по анализу здоровья населения стало ясно, что общие показатели смертности m и m_i мало подходят для анализа и сравнения состояния здоровья в разных географических районах, в разные календарные годы и т.п. Причина этого - возможная разница в возрастном составе разных групп населения и сильной зависимости смертности от возраста.

В той же первой половине XIX века было предложено использовать метод стандартизации (Нейсон, Англия, см. в [66]). Согласно этому методу интегрирование (суммирование) смертности по возрасту предлагается проводить с использованием стандартного возрастного распределения $n^s(x)$ населения (далее просто стандарт):

$$m^s = \int_0^\infty n^s(x)\cdot\mu(x)dx \approx \sum_k \Delta n^s(k)\cdot\mu(k), \qquad (5.2)$$

где m^s - стандартизованный показатель смертности (СПС); в зарубежной литературе, в том числе в публикациях ВОЗ, этот показатель обозначается как sdr (standardized death rate) [32,33,66,68]; $n^s(x)$ – плотность стандартного возрастного распределения населения) как функция возраста x (число людей на единице

возраста (1 год)), нормированная на 100000 человек; $\mu(x)$ - повозрастной коэффициент смертности как функция возраста x, (размерность величин $n^s(x)$ и $\mu(x)$ - соответственно [число людей/год] и [год$^{-1}$]), $\sum_k$ - суммирование по возрастным интервалам, $\Delta n^s(k)$ – интервальное представление функции $n^s(x)$ - число людей в k-ом возрастном интервале, $\mu(k)$ – среднее значение функции $\mu(x)$ на k-ом возрастном интервале. Значения используемых выше величин отнесены к конкретному рассматриваемому году. Первая часть формулы (5.2) – это строгое математическое определение величины m^s в непрерывных моделях (непрерывном описании используемых функций). *В* медицинской статистике и медико-демографическом анализе чаще используются интервальные значения величин, и количественное определение величины m^s задается второй частью формулы (5.2). В публикациях ВОЗ интервальные значения функции $\mu(x)$ обозначают как *nMx* [68].

С самого начала разработки стандартов было ясно, что результат расчета величины СПС и качество сравнения смертности разных популяций зависит от выбранного стандарта. Задача разработки стандарта сводилась к выбору наиболее подходящего, оптимального стандарта для подобных оценок и сравнений.

На международном уровне разработка подхода к стандартизации и самого стандарта осуществляется в рамках ВОЗ. На национальном уровне могут быть свои особенности в рекомендациях по стандартизации показателей смертности и других данных.

В настоящее время ВОЗ предлагает два стандарта: мировой и Европейский. Мировой стандарт, в котором превалируют младшие возраста, разработан в 2001 г. после нескольких обновлений и предназначен для развивающихся стран. Европейский стандарт был разработан в 1967 г. на основе данных по населению Скандинавских стран [66]. Этот стандарт рассматривается как наиболее подходящий для развитых стран Европы. Он широко применяется в медико-демографических исследованиях международных (ВОЗ и др.) и национальных организаций [32-33]. Росстат в своих демографических ежегодниках и других публикациях использует действующий Европейский стандарт [30,31]. В оценках риска также иногда использовался этот стандарт [10,14].

Формально мировой стандарт может быть применен для сравнения смертности населения самых разных стран, в том числе и на разных континентах. На самом деле в силу своих свойств он мало подходит для развитых стран Европы. В свою очередь, Европейский стандарт не пригоден для развивающихся стран, в которых превалирует население младших возрастов.

Таким образом, действующие стандарты ВОЗ не позволяют проводить обоснованное сравнение смертности населений разных стран с существенно различающимися МДД. В частности, например, это невозможно сделать для многих азиатских и африканских стран с одной стороны, и развитых европейских стран с другой.

По своим МДД Россия и отдельные ее регионы существенно отличаются от развитых стран Европы, для которых и был разработан Европейский стандарт. Считаем полезным и даже необходимым разработать Российский стандарт возрастного распределения населения.

Для представления данных о состоянии здоровья населения России в целом и разных ее регионов, в усредненных оценках риска от разных факторов вредного воздействия было бы уместно использовать свой собственный стандарт.

Кроме того, как показывает проведенный автором анализ, сами действующие международные стандарты обладают серьезными недостатками, которые было бы желательно устранить путем модификации этих стандартов.

Один из недостатков был уже отмечен выше: невозможность сравнивать смертность населения стран с сильно различающимися МДД. Другие выявленные недостатки действующего Европейского стандарта [69]:

- будучи одинаковым для женщин и мужчин, он необоснованно приводит к завышению значения СПС для мужчин и занижению его для женщин; тем самым искусственно увеличивается и без того большая разница в смертности мужчин и женщин РФ или отдельных ее регионов;
- расчет на его основе СПС для отдельных причин смерти приводит к ошибочному результату из-за неучета конкуренции рисков;

- разработанный в 1967 г. европейский стандарт явно устарел и не отражает современные медико-демографические характеристики стран Европы;
- вызывает серьезное сомнение сам метод разработки действующих стандартов путем общего усреднения реальных возрастных распределений населения группы стран.

Ниже представлено предложение по концепции разработки и обоснования национальных и международных стандартов и их количественное описание.

5.3 Концепция нового стандарта возрастного распределения населения

5.3.1 Основные определения

Предлагается новая концепция разработки стандартов, основанная на использовании понятия стабильного возрастного распределения населения и функции дожития $S(x)$ (вероятности дожития до возраста x от рождения) [69]. Такое распределение наступает при сохранении неизменными в течение длительного времени рождаемости и повозрастной смертности. Исходя из известного определения функции дожития, нетрудно получить, что в таком стабильном равновесном состоянии стандарт в виде плотности распределения $n^s(x)$ или в виде интервального распределения людей $\Delta n^s(k)$ пропорционален функции дожития $S(x)$:

$$n^s(x) = (10^5/L)\cdot S(x), \qquad \Delta n^s(k) = (10^5/L)\cdot S(k)\cdot \Delta x_k;\ k = 1,2,3\ldots . \tag{5.3}$$

$$S(x) = exp[\int_0^x -\mu(x')dx'];\quad L = \int_0^\infty S(x)dx; \tag{5.4}$$

$S(k)$- среднее значение функции на k-ом возрастном интервале; Δx_k – k-ый возрастной интервал в годах; L - ожидаемая продолжительность жизни от рождения. Множитель $(10^5/L)$ обеспечивает нормировку стандарта на 10^5 человек.

Отметим, что в материалах ВОЗ и ряде медико-демографических публикациях эти величины $S(x)$ и L обозначаются соответственно как $l(x)$ и e_0 . Здесь приняты буквенные обозначения $S(x)$ и L, которые используются в методиках оценки риска.

В отличие от действующих стандартов предлагается вводить отдельные стандарты для мужчин, женщин и всего населения.

Согласно определению (5.2) значение СПС (или СПС$_i$ от некоторой i-той причины смерти) с новым стандартом (5.3) вычисляется по формуле (5.2). При вычислении показателя СПС$_i$ $\equiv m_i^c$ в формулу (5.2) вместо $\mu(x)$ подставляется повозрастной коэффициент смертности $\mu_i(x)$ от i-ой причины смерти (i-го фактора риска).

Для разного рода оценок риска или состояния здоровья населения предлагаются два вида стандарта, основанные на применении новой концепции:

- ***общий стандарт*** (национальный стандарт для РФ или какой-либо другой страны, региональный стандарт, например, для стран ЕС),
- ***собственный*** (внутренне присущий) стандарт.

5.3.2 Общий стандарт

Для того чтобы получить численные значения национального российского стандарта на основе предложенной выше концепции, необходимо выбрать наиболее подходящий календарный год и по его МДД рассчитать значения функции $S(x)$ и другие величины, входящие в формальные определения стандартов, см. формулы (5.2) и (5.3). Выбор этого года, вообще говоря, должен быть сделан группой компетентных экспертов. По мнению авторов, наиболее подходящими могут быть МДД 1989 г. В конце 80-х годов прошлого века социальные условия и соответственно МДД имели тенденцию к стабилизации. Она была прервана негативными последствиями социально-экономической и политической перестройки начала 90-х годов. После 2006 г. началось заметное улучшение МДД и с каждым следующим годом наблюдается тенденция возврата к характеристикам 1989 г.

Для регионального стандарта ЕС предлагается выбрать 2000 г., относящийся к периоду стабильного развития стран ЕС.

Далее общие стандарты могут быть рассчитаны по формуле (5.2) отдельно для мужчин, женщин и единый для всего населения.

На рисунках 5.1 и 5.2 показан предлагаемый общий российский стандарт в сравнении с действующими Европейским и мировым стандартами. В отличие от последних российский стандарт разработан в 3-х видах: отдельно для мужчин, женщин и для всего населения.

Анализ предлагаемых общих стандартов и результатов тестовых расчетов показал, что общий стандарт устраняет только часть недостатков действующих стандартов. Эти новые стандарты построены на более современных МДД.

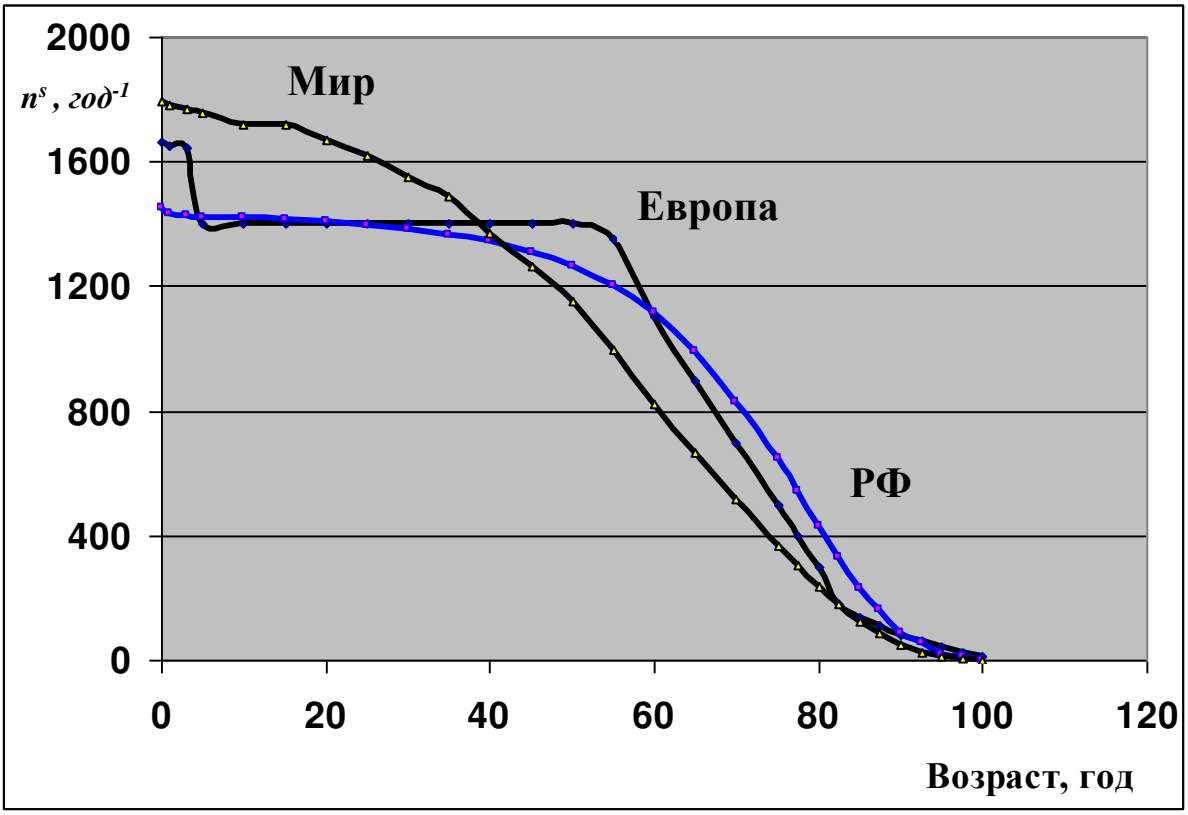


Рисунок 5.1 - Действующие мировой, Европейский [68] и предлагаемый новый общий российский стандарты возрастного распределения в виде плотности распределения n^s (число людей в данном возрасте, возрастной интервал равен 1 году); единые для всего населения; нормированы на 100000 человек.

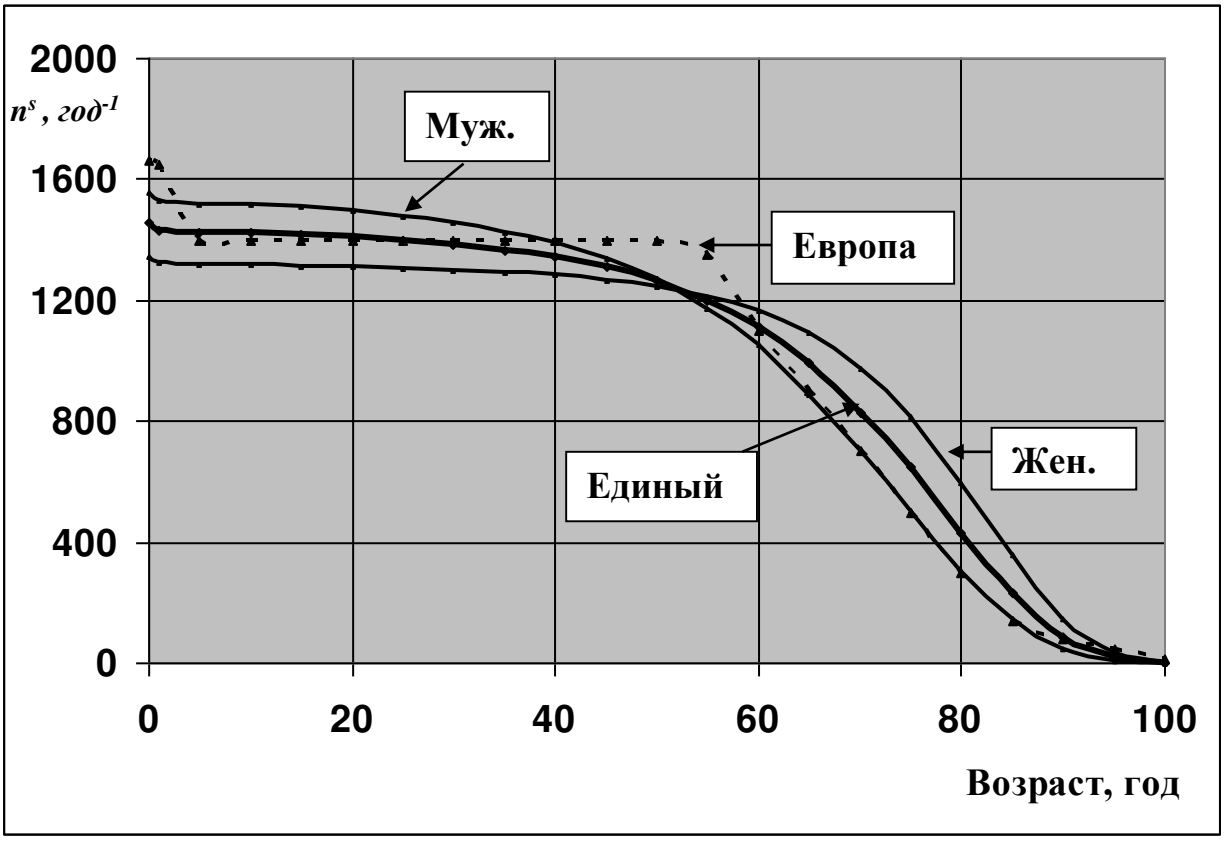


Рисунок 5.2 - Действующий Европейский [68] и предлагаемый общий российский стандарты возрастного распределения в виде плотности распределения $\boldsymbol{n^s}$ (число людей в данном возрасте, возрастной интервал равен 1 году); нормировано на 100000 человек; для РФ отдельные стандарты для женщин и мужчин и единый для всего населения.

Однако они могут применяться только в национальном масштабе, например, соответственно только на территории РФ, или только в странах ЕС. Кроме того, расчет СПС по общим стандартам не позволяет учитывать конкуренцию рисков, что может привести, как показано ниже, к ошибочным результатам.

Устранения всех этих недостатков можно добиться только при использовании предлагаемого ниже собственного стандарта.

5.3.3 Собственный стандарт

Он строится по собственному стабильному возрастному распределению населения, определяемому повозрастными коэффициентами смертности конкретного населения, для которого и рассчитывается значение СПС.

Собственный стандарт определен, прежде всего, идеей его формирования. Количественно он свой для каждого рассматриваемого конкретного населения и для конкретного календарного года. Его повозрастное распределение порождается своей собственной повозрастной смертностью и в силу своей стационарности не содержит мешающих (искажающих) воздействий прошлых лет, присутствующих в любом реальном возрастном распределении.

Для большей ясности относительно концептуального определения собственного стандарта можно добавить следующее пояснение: пусть в какой-то год рождается $10^5/L$ человек (это порядка 1200 – 1500 человек) и пусть далее они проживают в условиях, задаваемыми стабильными повозрастными коэффициентами смертности. Тогда состав этой группы людей будет уменьшаться с ростом возраста x и времени $t \equiv x$ пропорционально функции дожития, как это задано формулой (5.3). Если рождаемость стабилизируется с интенсивностью рождения $10^5/L$ человек в год, то со временем установится стабильное возрастное распределение населения, задаваемое этой формулой. Это означает, что возрастное распределение населения при стабилизации подстраивается под собственные стабильные повозрастные коэффициенты смертности и поэтому это распределение уместно назвать собственным стандартом.

Для расчета СПС в собственном стандарте получаем, согласно формулам (5.2) – (5.4), следующие простые выражения:

$$\text{СПС}_i = (10^5/L)\cdot R_i\ ,\ \ \text{СПС} = \sum_i \text{СПС}_i = (10^5/L), \qquad (5.5)$$

соответственно для i-той причины смерти (i-го фактора риска) и для полной смертности (суммы по всем причинам смерти), $\sum_i$ – сумма по всем причинам смерти. Здесь R_i - один из показателей риска - пожизненный риск (вероятность)

смерти от рождения от i-ой причины смерти. Он рассчитывается по формуле, хорошо известной в методике оценки риска, см. главу 2:

$$R_i = \int_0^{\infty} S(x) \cdot \mu_i(x) dx, \qquad (5.6)$$

$\mu_i(x)$ - повозрастной коэффициент смертности от i-ой причины смерти как функция возраста x .

В выражении (5.5) учтен тот факт, что полная вероятность смерти от всех ее причин в течение всей предстоящей жизни равна единице.

Отметим, что величина R_i присутствует в публикациях Росстата: она представлена умноженной на 10^5 новорожденных, и называется ожидаемой вероятностью смерти [30,31].

На рисунке 5.3 приведен рассчитанный собственный стандарт мужского населения РФ 1989 г. в сравнении с реальным возрастным распределением этого же года и действующим Европейским стандартом.

На рисунках 5.4, 5.5 и в таблице 5.1 представлены результаты расчета СПС для РФ и ЕС15 (15 стран Европейского Союза до 2004 г.) по действующему Европейскому и предлагаемым собственным стандартам.

Таблица 5.1 - Расчетные значения стандартизованного показателя смертности СПС на 100000 человек по действующему европейскому и новому собственному стандартам для трех стран (для Кении и по мировому стандарту). Входные данные Росстата [30,31] и Евростата [33] (ЕС15 - 15 стран ЕС до 2004 г.).

Год	Стандарт	Россия		ЕС15		Кения *)	
		муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.
1990	Европейский	1690	890	1030	600	2210/1740	1780/1400
	Собственный	1560	1340	1380	1250	1700	1590
2000	Европейский	2080	1030	850	510	2640/2170	2070/1720
	Собственный	1680	1340	1320	1220	1920	1780
2009	Европейский	1780	870	-	-	2300/1830	1780/1420
	Собственный	1590	1340	-	-	1740	1610

*) В знаменателе расчет по мировому стандарту.

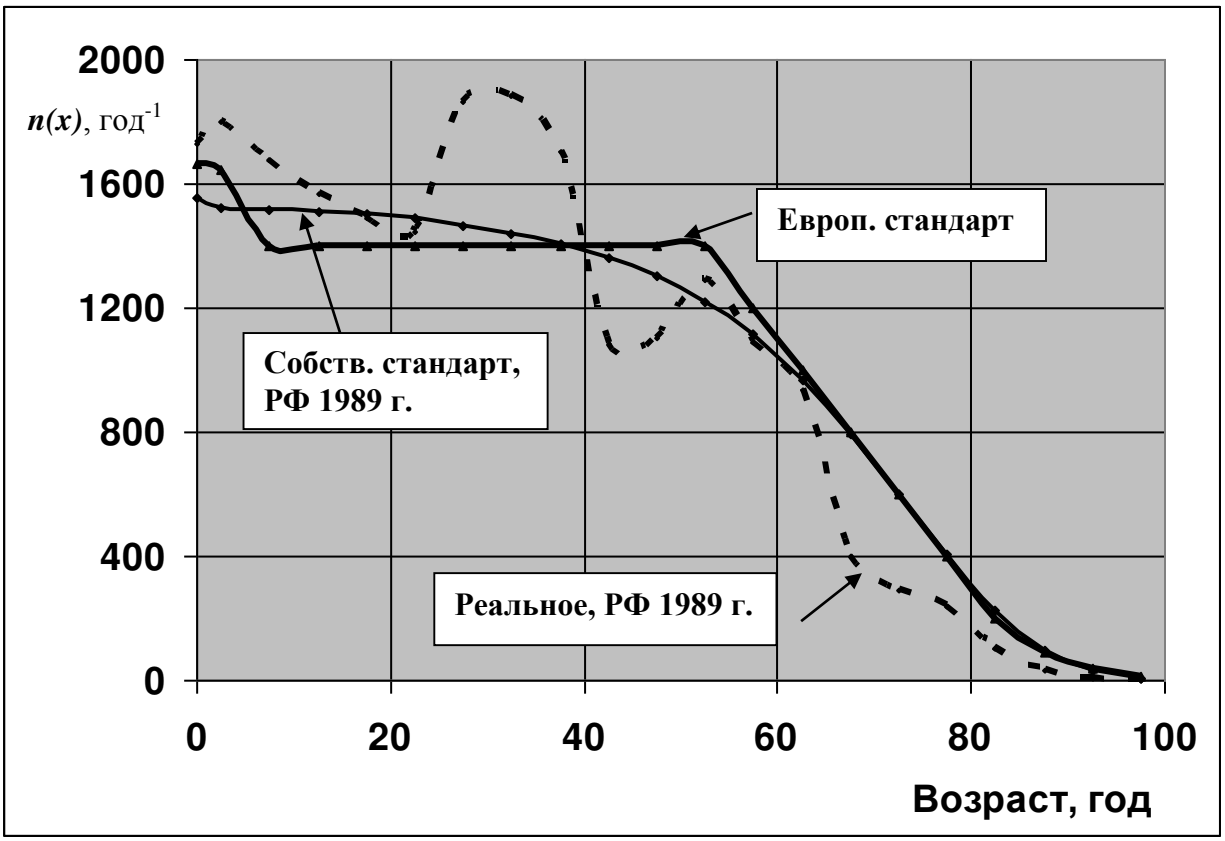


Рисунок 5.3 - Сравнение реального возрастного распределения мужского населения РФ в 1989 г. с действующим Европейским стандартом и предлагаемым собственным стандартом для мужчин в 1989 г. (число людей в данном возрасте, возрастной интервал равен 1 году); нормировано на 100000 чел. Входные данные Росстата [30,31] и Евростата [33].

Из этих рисунков и таблицы нетрудно видеть, прежде всего, значительную зависимость величины СПС от выбранного стандарта. Это ожидаемый результат. Однако важно обратить внимание на следующие детали. Значения СПС для ЕС15, рассчитанные с его собственным стандартом, значительно выше, чем рассчитанные с действующим европейским стандартом. Для РФ имеет место иная картина: для женщин СПС с собственным стандартом выше, чем СПС с европейским стандартом, но для мужчин это соотношение обратное. Значения СПС, рассчитанные для РФ и ЕС15 с собственным стандартом, значительно ближе друг к другу, чем эти же СПС, но рассчитанные с действующим европейским стандартом.

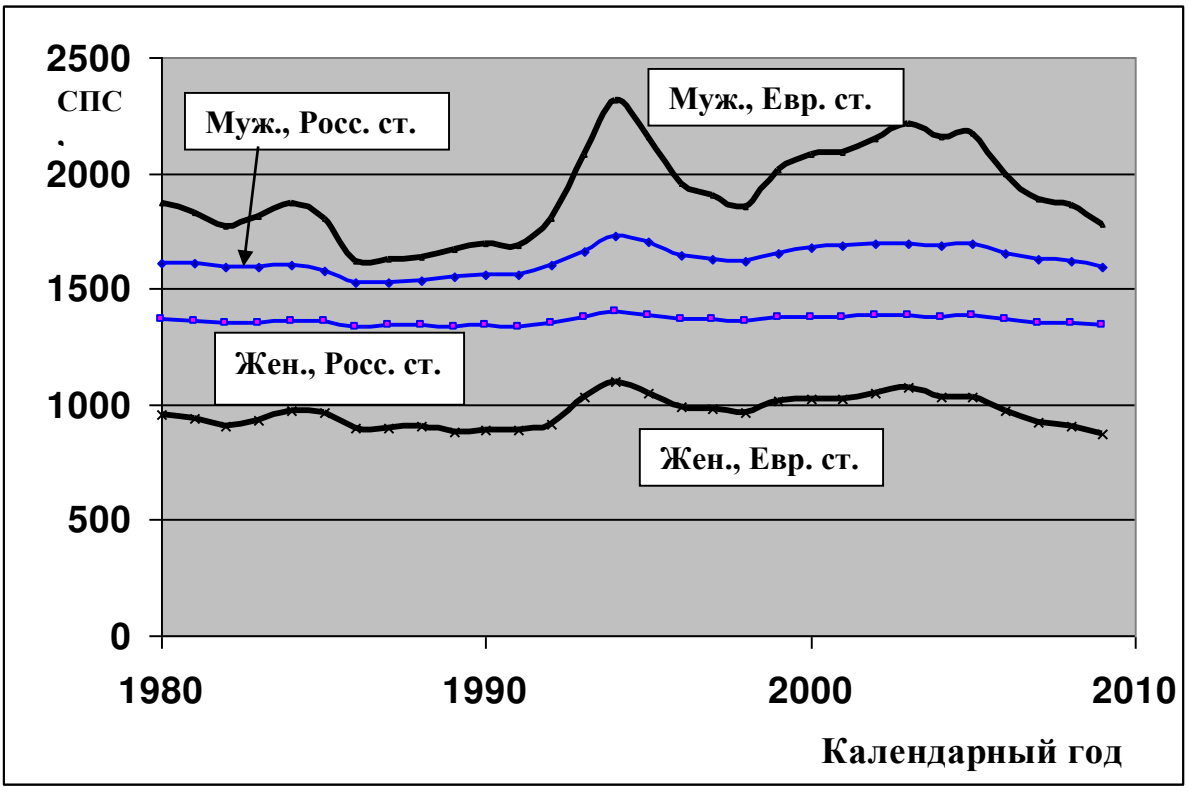


Рисунок 5.4 - Стандартизованный показатель смертности СПС на 100000 чел. в РФ в разные годы. Рассчитан по действующему Европейскому стандарту и предлагаемому Российскому собственному стандарту, разному для женщин и мужчин; входные данные Росстата [30,31].

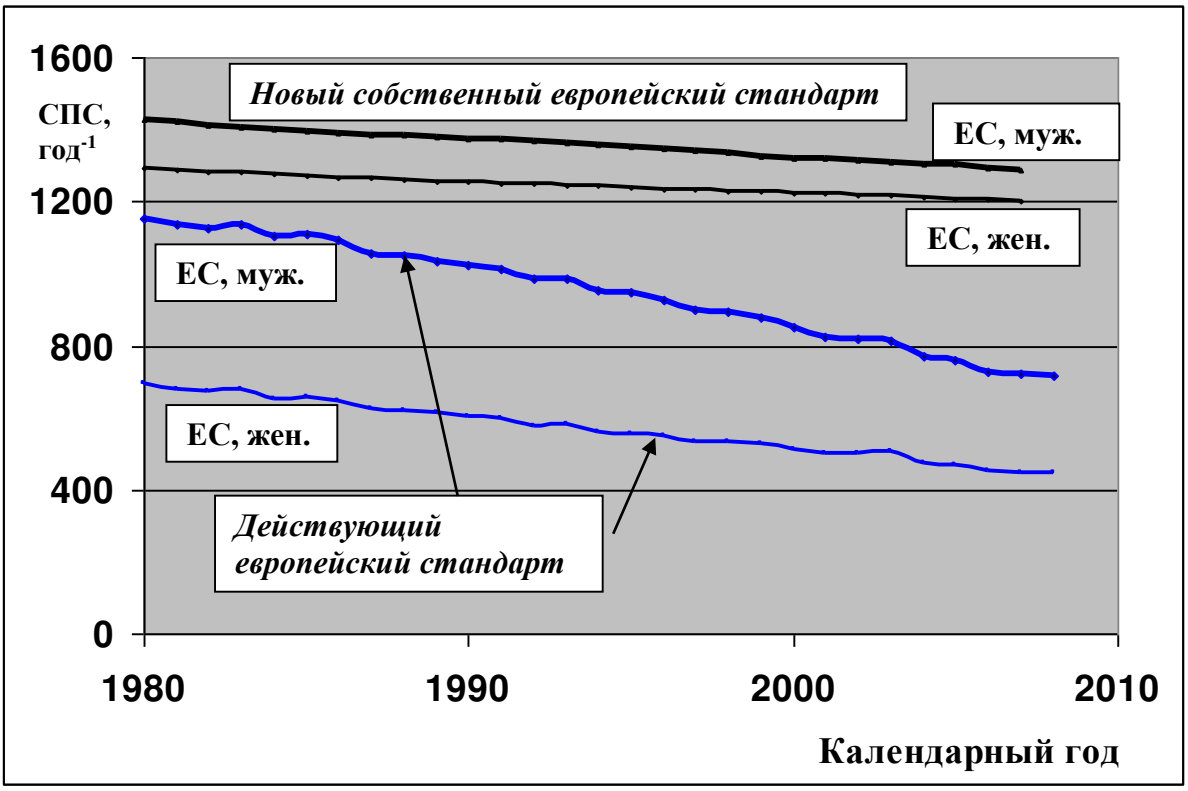


Рисунок 5.5 - Стандартизованный показатель смертности СПС на 100000 чел. в ЕС15 (15 стран Европейского Союза до 2004 г.) в разные годы. Расчет по действующему Европейскому и предлагаемому собственному европейскому стандарту, разному для женщин и мужчин; входные данные Евростата [33].

Эти различия значений СПС для РФ, рассчитанные по действующему Европейскому и новым российским стандартам, нетрудно объяснить. Реальное, как и стандартное возрастное распределение населения в старших возрастах в РФ, как практически и в любой другой стране, для мужчин ниже, чем для женщин. При усреднении по полу общее по полу распределение в старших возрастах становится выше реального распределения для мужчин и ниже для женщин. Но именно в этих возрастах реализуется бóльшая часть смертности. Отсюда видно, что использование единого по полу европейского стандарта необоснованно завышает значение СПС для мужчин, и занижает для женщин. Тем самым и без того значительная разница в показателях смертности между женщинами и мужчинами в РФ еще больше искусственно увеличивается.

Этот эффект – искусственное увеличение разности в значении СПС для женщин и мужчин – имеет место для любого единого для женщин и мужчин стандарта.

Для ЕС15 значения СПС для женского и мужского населения в новом стандарте (разном для женского и мужского населения) выше, чем рассчитанные в действующем едином стандарте. И это также легко объяснить: в области старших возрастов значения n^s нового стандарта как для мужчин, так и для женщин выше, чем эти значения действующего стандарта. Частично это можно объяснить тем, что, по-видимому, действующий европейский стандарт, созданный в 1967 г., устарел и не соответствует современным МДД. Как и для РФ при переходе к новому европейскому стандарту, разность между значениями СПС для женщин и мужчин уменьшается. Таким образом, при использовании единого стандарта при расчете СПС для женщин и мужчин в любом случае искусственно увеличивается разница в значениях СПС между мужчинами и женщинами.

Все сказанное относительно свойств СПС относится к интегрированным по возрасту показателям риска от любого источника вредного воздействия.

5.4 Роль конкуренции рисков

Полная вероятность смерти от всех ее причин, или пожизненный риск смерти равен единице: $R = 1$. При росте повозрастной смертности от какой-либо отдельной причины (или некоторой суммы причин) увеличивается пожизненный риск смерти от этой причины. При этом пожизненный риск от суммы всех остальных причин, повозрастные коэффициенты смертности которых остались без изменения, уменьшается на эту величину, чтобы полный пожизненный риск смерти сохранялся равным единице. Эта расчетная взаимозависимость рисков от отдельных причин смерти называется конкуренцией рисков, см. главу 4.

Если при расчете СПС$_i$ для отдельных i-х причин смерти применять действующий Европейский стандарт, то получим заведомо неверный результат из-за неучета конкуренции рисков.

Таблица 5.2 - Значения для мужчин пожизненного риска R_i, стандартизованного СПС$_i$ и специального m_i показателей смертности, рассчитанные в вычислительном эксперименте для двух календарных лет по действующему Европейскому и новому собственному стандартам для 3-х основных классов причин смерти и по входным данным Росстата [30,31] и Евростата [33].

Страна причина смерти	**Показатели смертности**							
	R_i	СПС$_i$		m_i	R_i	СПС$_i$		m_i
		Европ. стандарт	Новый стандарт			Европ. стандарт	Новый стандарт	
	1989 г.				2009 г.			
РФ								
злокачеств. новообразов.	***0,20***	320	***310***	220	***0,15***	270	***240***	240
болезни сист. кровообр.	0,52	871	810	490	0,51	930	830	780
внешние причины*)	0,14	216	220	210	0,15	250	240	260
Франция								
злокачеств. новообразов.	***0,32***	310	***430***	370	***0,30***	230	***390***	300
болезни сист. кровообр.	0,34	280	460	410	0,27	160	350	220
внешние причины*)	0,05	55	70	70	0,07	65	90	80

*) аварии, несчастные случаи, пожары, убийства и т.п.

Для демонстрации справедливости этого утверждения проведем вычислительный эксперимент: рассчитаем значения пожизненного риска смерти R_i и значения СПС$_i$ для 3-х основных классов причин смерти (рак, болезни системы кровообращения и внешние причины смерти) для мужского населения РФ и, например, Франции в разные годы. Результаты представлены в таблице 5.2. Там же для полноты картины приведены значения грубого общего m_i показателя смертности.

По данным Росстата и Евростата повозрастные коэффициенты смертности от рака в РФ и Франции в конце 80-х годов прошлого века были примерно одинаковы, через 20 лет разница увеличилась, но не более чем примерно на 15 % . Поэтому расчет величины СПС$_i$ для РФ и Франции по действующему Европейскому стандарту дает примерно одинаковый или близкий результат (в таблице 5.2 эти значения выделены подчеркиванием).

Однако в действительности смертность от злокачественных новообразований (представленная здесь в показателях пожизненного риска R_i и СПС$_i$ по новому,

собственному стандарту) в РФ примерно в полтора раза ниже, чем во Франции. В таблице 5.2 сравниваемые между РФ и Францией значения R_i и значения СПС$_i$ по новому предлагаемому стандарту выделены наклонным жирным шрифтом. Это реальное различие в смертности от рака в РФ и Франции, выраженное в показателях R_i и СПС$_i$, объясняется очень просто:

- в терминах анализа риска –

  конкуренция со стороны относительно высокого риска смерти в РФ от болезней системы кровообращения и внешних причин смерти (аварии, несчастные случаи, пожары, убийства и др.) значительно снижает риск смерти от злокачественных новообразований;
- на «бытовом» языке –

  из-за меньшей продолжительности жизни в РФ, чем во Франции, часть людей не доживает до своего возможного рака в старших возрастах.

Отметим, что эти показатели смертности относятся к стабильному населению с фиксированными МДД на десятки лет. Значения специального показателя смертности от злокачественных новообразований m_i для населения РФ также значительно меньше, чем для населения Франции. Этот показатель смертности мало пригоден для сравнения, тем не менее, можно думать, что и в его значениях проявила себя конкуренция рисков.

Аналогичные результаты могут быть получены и для женского населения. Сходные проблемы со сравнением СПС$_i$ для отдельных причин смерти присутствуют, вообще говоря, и при расчете СПС по предлагаемым общим стандартам.

Приведенный выше пример показывает, что при использовании собственного стандарта в расчете СПС$_i$ от отдельных причин смерти учитывается конкуренция рисков и получаются более обоснованные значения СПС$_i$. Они рассчитываются по формулам (5.5) и зависят только от величин L и R_i. В свою очередь, эти величины, согласно их определениям и хорошо известным расчетным формулам оценки риска, зависят только от собственных стационарных повозрастных коэффициентов смертности.

Это утверждение справедливо и в случае расчета СПС$_i$ по собственному стандарту для любой другой страны или региона.

5.5 Мировой стандарт

Он используется в публикациях ВОЗ для сравнения смертности разных стран мира. В таблице 5.1 представлен пример расчета СПС по мировому стандарту для африканской страны Кения. Уже отмечалось, этот стандарт, как и Европейский стандарт, мало пригоден для сравнения смертности развитых и развивающихся стран. Существующий мировой стандарт (показан на рисунке 5.1) обладает такими же недостатками, как и Европейский стандарт.

Никакими совершенствованиями нельзя сделать общий мировой стандарт более пригодным для международных сравнений.

В принципе можно было бы разработать общий стандарт для отдельных стран мира или региональных образований, как это сделано выше для РФ и ЕС, и использовать их на национальном или региональном уровнях. Однако такие стандарты обладали бы такими же недостатками, как и предложенные выше новые варианты общих стандартов для РФ и ЕС.

Решить проблему обоснованного международного сравнения смертности можно на базе предложенного и описанного выше собственного стандарта. СПС от всех причин смерти или от отдельных ее причин, рассчитываемые с использованием собственного стандарта, зависят, как и сам этот стандарт, только от собственной стационарной повозрастной смертности. И их можно использовать для сравнения смертности любых стран мира и регионов на том же основании, на каком сравниваются в медико-демографических публикациях, в том числе в докладах ВОЗ (см., например, [32]), такие величины как ожидаемая продолжительность жизни разных возрастов, средний возраст смерти от разных ее причин, ожидаемая вероятность смерти и др.

5.6 Заключение к главе 5

Критический анализ действующего Европейского и мирового стандартов ВОЗ и рассчитываемых на их основе СПС (СПС$_i$) позволили выявить серьезные недостатки этих стандартов [69]. Эти недостатки коротко описаны выше во вводном разделе 5.1.

Отметим также следующую особенность Европейского стандарта: данные о смертности в терминах СПС, рассчитываемых по этому стандарту, представляют РФ в худшем, а страны ЕС в лучшем виде, чем это есть на самом деле.

В связи с необходимостью совершенствования стандарта предлагается новая концепция стандартов, основанная на использовании понятия стабильного возрастного распределения населения и функции дожития. Приводятся их численные значения.

Для разного рода оценок состояния здоровья населения предлагаются два вида стандарта, основанные на применении новой концепции: общий стандарт (национальный стандарт для РФ, региональный стандарт для Европы) и собственный (внутренне присущий) стандарт. Общий стандарт имеет ряд ограничений относительно его применения для оценки и сравнения смертности. Собственный стандарт позволяет устранить все отмеченные выше недостатки действующих стандартов

Важнейшее свойство собственного стандарта: рассчитанные значения СПС (СПС$_i$) по этому стандарту могут быть обоснованно сравнены в любых вариантах: между разными странами, регионами, в том числе и на разных континентах; между разными календарными годами и разными полами.

Значения СПС (СПС$_i$), рассчитанные по собственному стандарту, характеризуют в интегрированном виде смертность данного населения при условии стабилизации его МДД, включая возрастной состав населения. В последнем отсутствуют горбы и провалы, привнесенные в реальное возрастное распределение из прошлого. При такой стабилизации и использовании собственного стандарта значение стандартизованного показателя смертности СПС (СПС$_i$) совпадает со значением общего (специального) показателя смертности.

Стандартизованные показатели смертности СПС ($СПС_i$), рассчитанные с собственным стандартом, имеют исключительно простые аналитические выражения, задаваемые формулами (5.5). В этих выражениях присутствуют только две величины: ожидаемая продолжительность жизни от рождения L и пожизненный риск смерти R_i . Эти величины хорошо известны в медико-демографическом анализе и оценке риска. Их количественные значения практически в обязательном порядке присутствуют в публикациях ВОЗ и Росстата по демографии. В самих этих формулах отсутствует стандарт, и величины СПС ($СПС_i$) могут использоваться для разного рода оценок и сравнений уже без необходимости рассчитывать и использовать сам стандарт. Собственный стандарт необходим только на стадии доказательства формул (5.5).

Предлагаемый стандарт разный для разных популяций. Обычно стандартом называют один, общий вариант стандарта. По этой причине можно не употреблять термин «собственный стандарт», тем более, что он отсутствует в формулах расчета СПС, а использовать только термин «концепция стандартизации».

Отметим, что в 2013 г. разработано предложение по ревизии Европейского стандарта с учетом изменения возрастной структуры населения стран ЕС в сторону увеличения доли пожилых людей (см. Revision of the European Standard Population. Report of Eurostat's task force. Eurostat, 2013, 121 P.). Это никак не влияет на наши предложения по стандартизации рисковых и медико-демографических показателей.

ГЛАВА 6 ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ В НОРМАЛЬНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА РИСКА

6.1 Введение

На протяжении десятилетий в традиционных областях промышленной деятельности человека параллельно с развитием технологий развивались и совершенствовались отраслевые системы обеспечения безопасности персонала и населения. В ядерной отрасли первые нормы радиационной безопасности были установлены в 20-х годах прошлого века и их совершенствование продолжается до наших времен. Современные нормы радиационной безопасности были установлены в последние годы: на международном уровне - МКРЗ, 2007 г. [6], МАГАТЭ, 2011 г. [70], на национальном уровне - НРБ 1999/2009 [57].

Одна из причин «долгостроя» системы радиационной безопасности – наличие сложных, трудно решаемых проблем в количественном описании стохастических эффектов воздействия ионизирующего излучения (ИИ) на здоровье человека при малых дозах и малых уровнях воздействия (на уровне норм безопасности). Это связано главным образом с неспецифичностью этих эффектов, большими латентными периодами большинства раковых и наследственных заболеваний (десятки лет) и, как следствие, с их малой статистической мощностью в эпидемиологических исследованиях. Аналогичное положение дел с установлением норм безопасности при обращении с вредными химическими веществами.

Совершенствование системы безопасности в разных областях деятельности человека сохраняет свою высокую актуальность. Это обусловлено как тем, что уже было сформулировано выше, так и тем, что:

1. Вплоть до настоящего времени при установлении норм безопасности (НБ) и других уровней принятия решений по безопасности для разных источников вредного воздействия используются разные подходы и разные рисковые или «дозовые» показатели. Их трудно, если вообще возможно, сопоставить друг

с другом. По этой причине трудно или практически невозможно сравнить НБ и другие уровни принятия решений по безопасности в разных областях деятельности человека. В такой ситуации трудно рассчитывать на их оптимальность.

2. Для новейших областей деятельности человека (например, нанотехнологии и использование наночастиц/наноматериалов (НЧ/НМ)) решение проблем обеспечения безопасности находится в начальной стадии.

3. Одна из особенностей промышленного развития 20-го века и последующих лет – укрупнение единичных объектов промышленности с одновременным усилением технических и прочих мер безопасности. Это электростанции разного типа, предприятия нефтегазовой отрасли и др. Наиболее опасные возможные аварийные ситуации на таких объектах сдвинулись в сторону аварий с тяжелыми последствиями и очень малой их вероятностью.

Одна из основных рекомендаций национальных и международных организаций по защите окружающей среды и безопасности населения – это настоятельная рекомендация гармонизировать регулирующие документы в этой области их ответственности. Отсутствие этой гармонизации, которая имеет место вплоть до конца 2011 г., служит серьезным препятствием развитию международного сотрудничества и торговли. В 21-ом веке возросла вероятность катастрофических природных явлений. Катастрофические аварии или природные явления требуют особого подхода в оценке и анализе риска и принятии решений по безопасности на их основе [1,70,71].

В недавно вышедших отечественных документах [72,73] была поставлена задача осуществить гармонизацию норм безопасности и гигиенических нормативов в целом на основе методологии оценки риска.

В материалах международной конференции «Нанотех-Европа-2009», (состоявшейся 28–30 сентября 2009 г., в г. Берлин, Германия) констатировалось значительное расхождение между США и ЕС в органах контроля и документах по регулированию безопасности относительно воздействия химических веществ и

НЧ/НМ. Это расхождение относится и к другим странам, в том числе и к России [74].

Эта гармонизация, в основном, сводится к принятию рекомендаций авторитетных международных (МКРЗ, МАГАТЭ, ВОЗ), региональных (ЕС) или национальных организаций (типа ЕРА США).

Ниже предлагается два направления гармонизации.

На первом этапе необходимо подготовить научные основы гармонизации гигиенических нормативов между разными областями деятельности человека, преодолев существующие расхождения. После этого можно переходить к международной гармонизации - гармонизации НБ и других гигиенических нормативов между разными странами.

В этом двухуровневом подходе первая гармонизация может служить научным базисом для национальной и межгосударственной гармонизации.

6.2 Общие и концептуальные положения

При развитии системы принятия решений по контролю безопасности на базе оценки риска необходимо учитывать разные типы воздействия, описанные в разделе 1.3 главы 1. Необходимо также различать категории воздействия источников риска:

- профессиональное воздействие,
- воздействие на население.

6.2.1 Основные принципы принятия решений по безопасности

Эти принципы достаточно полно и обоснованно описаны в различных документах, см., например, [6,57,70,71].

1. **Принцип обоснования**

   Любое решение, изменяющее воздействие вредного фактора, должно приносить больше пользы, чем вреда.

2. **Принцип оптимизации защиты**

Индивидуальные риски воздействия вредного фактора, общее число лиц, подвергающихся этому воздействию, должны удерживаться на таком низком уровне, насколько это разумно достижимо с учетом социально-экономических факторов.

3. Принцип использования предела риска

Суммарный риск воздействия на человека регулируемых вредных факторов не должен превышать установленный предел риска (норму безопасности (НБ)). Последний принцип ориентирован на индивидуума и применяется в ситуации планируемого воздействия, в том числе и нескольких источников потенциальной опасности.

6.2.2 Основной принцип установления норм безопасности и основные положения

Основной принцип установления НБ в отношении любых регулируемых источников вредного воздействия формулируется следующим образом:
недопущение детерминированных эффектов и ограничение стохастических эффектов на достаточно низком, приемлемом уровне (приемлемый уровень риска).

НБ, устанавливаемые для недопущения детерминированных эффектов, разрабатываются на основе результатов токсикологических исследований. В этих исследованиях определяется порог воздействия вредных веществ (порог детерминированных эффектов) и значение НБ выбирается ниже этого порога.

В соответствии с «Концепцией токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов» (утверждена Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 31 октября 2007 года № 79) гармонизация установления НБ для детерминированных эффектов достигается разработкой и использованием стандартизованных методик проведения токсикологических исследований и методик измерения.

НБ, устанавливаемые на основе оценки риска, относятся к ограничению стохастических эффектов. При этом рассматривается так называемый

недобровольный риск, т.е., риск от источника воздействия, к которому защищаемые люди относятся как «третьи лица», не получающие от него какой-либо выгоды или пользы. Что касается персонала опасных производств, то профессиональный риск также не относится к добровольному риску. Для персонала пределы риска устанавливаются на более высоком уровне, и, как правило, в той или иной форме осуществляется компенсация за более высокий риск.

Добровольный риск типа риска использования автотранспорта не рассматривается. Не рассматриваются также возможные риски использования лекарств с их доставкой к органам (клеткам) тела человека с наноматериалами, рассчитанными на получение лечебного или восстановительного эффекта.

Отметим, что внедрение результатов оценки радиационного риска в нормирование радиационной безопасности привело к ужесточению норм радиационной безопасности в десятки-сотни раз, см. рисунок 6.1.

Для принятия решений по безопасности человека на основе анализа риска необходимо установить соответствующую систему уровней риска – уровней принятия решений. В эту систему, кроме основных и производных НБ, входят разного рода контрольные уровни, уровни пренебрежимого риска (уровни «de minimus»), уровни вмешательства после аварии и др.

Согласно сложившейся практике в различных областях деятельности человека НБ устанавливаются на основе средних по возрасту и полу показателей риска. Принятие разных НБ для разных групп населения привело бы к значительному усложнению всей системы обеспечения безопасности.

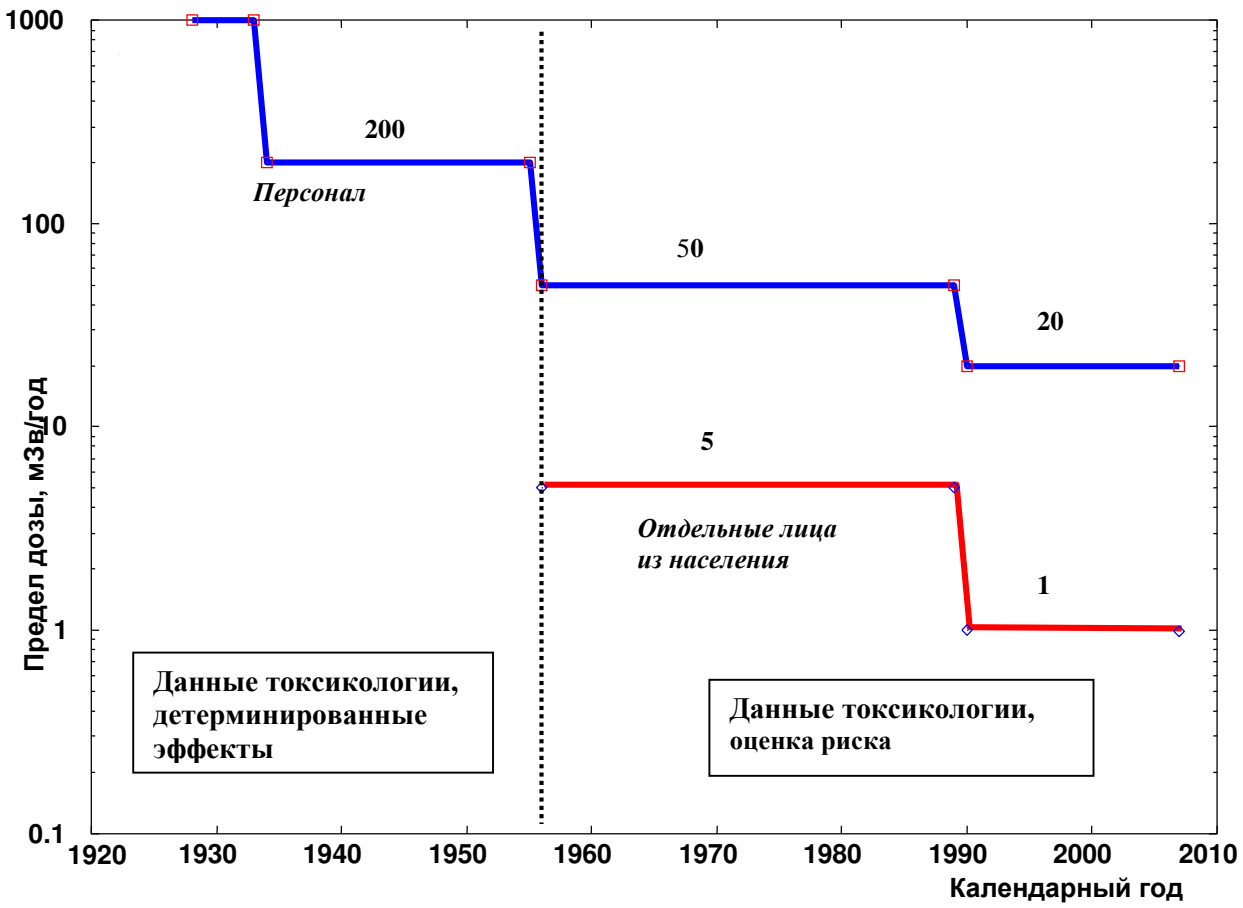


Рисунок 6.1 - Изменение со временем норм радиационной безопасности (дозовых пределов) и подходов к их установлению [6].

Для достижения гармонизации необходим единый подход к установлению НБ на основе оценки и анализа риска. Основные его концептуальные положения [75-82]:

1. Необходимо установить единые, универсальные НБ, в том числе и для нескольких источников вреда. На их основе разрабатываются конкретные основные НБ для отдельных изолированных источников вреда в тех показателях риска или воздействия, которые нашли применение на практике (как правило, для каждого источника воздействия используется свой набор показателей) или будут выбраны для практического применения в будущем, как для НЧ/НМ.

2. Для установления универсальных НБ необходимо выбрать наиболее подходящий для этой цели показатель риска.

3. В соответствии со сложившейся практикой обеспечения безопасности в различных областях деятельности человека устанавливаются НБ, усредненные по полу и возрасту.

4. Для реализации этого подхода необходимо развить общие методические основы оценки риска. Общая методика служит основой разработки и обоснования частных (для некоторого конкретного источника опасности) и (или) упрощенных методик оценки риска. Такая структура методических основ оценки риска в своем полном развитии делает более прозрачными и сравнимыми как частные методики, так и поддержку принятия решений по защитным и прочим мерам от разных источников вреда на основе анализа риска.

На опасных предприятиях для возможных критических групп людей (например, беременные женщины) вводятся дополнительные регламенты по режиму работы этих людей.

6.2.3 Структура установления норм безопасности на единой основе оценки риска

В едином подходе к установлению НБ в разных сферах деятельности человека на основе оценки риска их структура выглядит так, как показано на рисунке 6.2.

Центральное место в этой структуре занимает основные универсальные НБ для персонала опасных производств и для населения. Они едины для всех регулируемых источников опасности, включая случаи их совместного воздействия.

На их основе разрабатываются отраслевые основные НБ для отдельного изолированного источника вреда. Они выражаются в тех показателях (специфических показателях риска или показателях «дозы» воздействия в разных ее определениях), которые к настоящему времени широко применяются на практике или будут выбраны для практического применения в будущем, как для

НЧ/НМ или при пересмотре действующих показателей для других источников вреда. Например, для производственной безопасности это показатель риска: вероятность смерти (тяжелого увечья) в год в результате аварии или производственного травматизма.

На следующем уровне следуют производные НБ, предназначенные для осуществления контроля над уровнем воздействия или загрязнением объектов окружающей среды и потребительских товаров (атмосфера, вода, почва, производственные помещения, продукты питания и т.п.) санитарно-гигиеническими органами на местах или производственными отделами контроля за уровнем загрязнения вредными веществами окружающей среды и производственных помещений. Последние НБ выражаются в показателях, удобных для измерения и контроля доступными средствами. Как правило, это максимально разовые и среднесуточные концентрации контролируемого вредного вещества.

6.3 Нормы безопасности и другие уровни принятия решений

6.3.1 Выбор показателя риска

Современные нормы безопасности в разных сферах деятельности человека разработаны на основе разных подходов, с использованием разных показателей вредного воздействия или риска и трудно сопоставимы между собой. Например, нормы радиационной безопасности (НРБ) построены с использованием специфичных для оценки воздействия ионизирующей радиации показателей (эффективная доза и ее глобально усредненные показатели риска). Эти показатели специфичны для радиационного риска, а НРБ не могут быть напрямую сопоставлены с нормами безопасности в других областях.

Нормы химической безопасности, как правило, до сих пор устанавливаются в терминах предельно допустимой концентрации в воздухе и воде на основе токсикологического подхода и представления о пороговой зависимости доза-эффект.

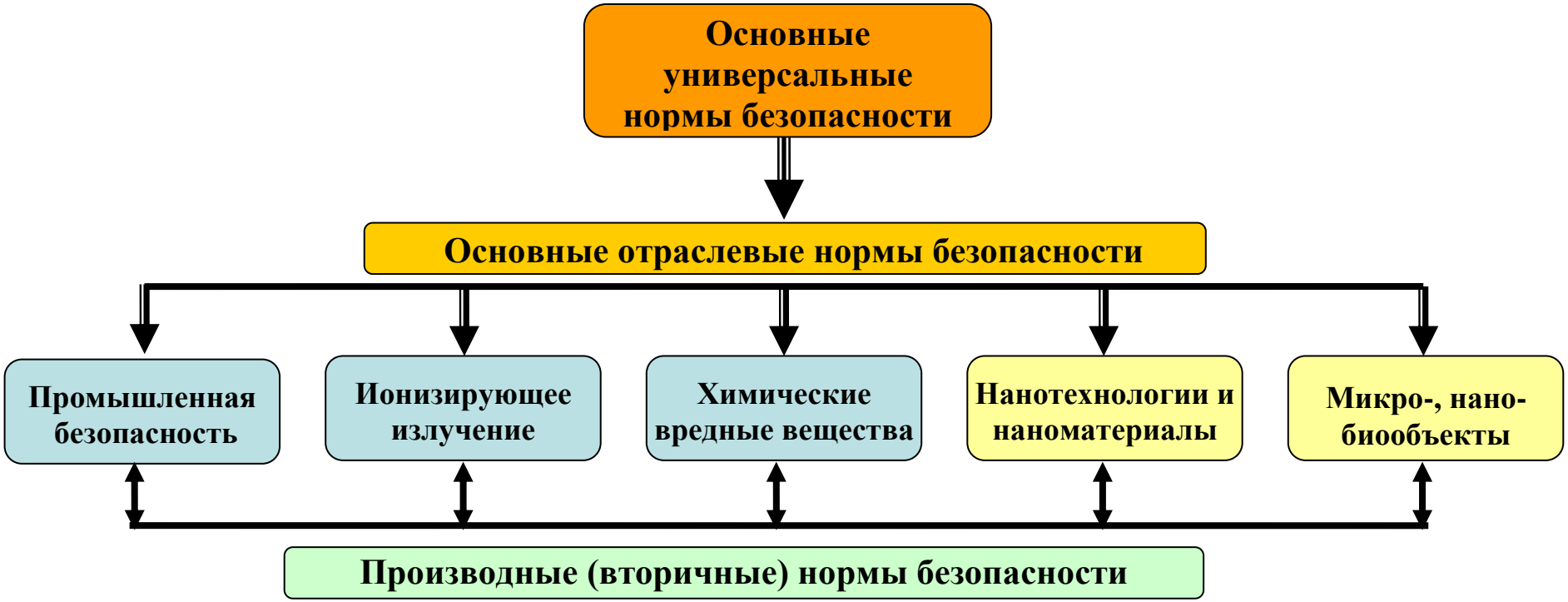


Рисунок 6.2 - Структура установления НБ на единой основе оценки риска в разных сферах человеческой деятельности.

Для защиты населения или персонала опасных производств некоторыми национальными организациями нормы безопасности (пределы риска) установлены в терминах индивидуальной интенсивности риска смерти (годовой вероятности смерти) *r*. Очевидно, что такие нормы и такой показатель риска не могут быть напрямую использованы для источников риска с отсроченными проявлениями вреда здоровью. Таковыми являются, например, ионизирующее излучение, химические загрязнители с канцерогенными и (или) генетическими эффектами и т.п. Для радиационного, а также и химического канцерогенеза характерно наличие относительно большого латентного периода (интервала времени между воздействием и возможным появлением рака): для большинства радиогенных раковых заболеваний («солидные» раки) минимальное его значение - 5 - 10 лет, среднее - 30 – 50 лет. По этой причине среднее значение потерянных лет жизни на один случай радиогенного летального рака $L_{ср.}^{л.р.}$ значительно меньше, чем средняя потеря лет жизни в случае немедленной смерти $L_{ср.}^{н.с.}$ в результате аварии или несчастного случая. Аналогичная картина для химического канцерогенеза.

Согласно оценкам Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [6] среднемировое значение величины $L_{ср.}^{л.р.}$ равно

$$L_{ср.}^{л.р.} = 15 \text{ лет.} \tag{6.1}$$

Для населения России (расчет по БАРД) получаем:

$$L_{ср.}^{л.р.} = 14 - 15 \text{ лет}, \quad L_{ср.}^{н.с.} = 35 – 40 \text{ лет.} \tag{6.2}$$

Потерянные годы жизни $L^{н.с.}$ для населения какой-либо конкретной страны легко можно получить расчетным путем, используя имеющиеся средства оценки риска.

Таким образом, случаи смерти, вызванной разными источниками риска, могут иметь разный ущерб, выраженный в годах потерянной жизни, т.е. они, вообще говоря, не эквивалентны. По этой причине установление норм безопасности для разных источников вреда в терминах риска смерти или их

сравнение в показателях вероятности смерти или числе случаев смерти, как это иногда делается, нельзя признать обоснованным. Такое сравнение риска использовали в научных работах 70 - 80-х годов в соответствии с уровнем развития методологии анализа риска в те годы.

Сравнение риска по показателю смертности или риска смерти можно встретить и в современных работах, но это не всегда обоснованно или его можно рассматривать как грубое приближение. Особенно мало подходит показатель риска - вероятность риска смерти в год - для оценки риска от проживания вблизи АЭС или другого источника ИИ. Текущий годовой риск определяется всеми предыдущими радиоактивными выбросами и растет со временем, текущие годовые выбросы и годовые дозы формируют риск в течение последующих десятков лет или даже нескольких поколений.

Для установления единых универсальных НБ и других уровней принятия решений по безопасности на общей основе оценки риска наиболее подходящим показателем риска является *специальный показатель риска* $\mathcal{R}$. Кратко этот показатель определен в главе 2. Концептуально он определяется как произведение интенсивности «дозы» d хронического (протяженного) воздействия (в ее общем определении), или другими словами, среднегодовой мощности «дозы» воздействия рассматриваемого источника вреда на ущерб g_D (потерянные годы здоровой жизни) от единицы дозы D.

Пусть имеет место протяженное (хроническое) воздействие источника вреда с мощностью «дозы» $d(e)$, e – текущий возраст. Тогда относительный годовой ущерб $\mathcal{R}(e)$ в возрасте e равен

$$\mathcal{R}(e) = d(e) \cdot g_D(e), \qquad 6.3)$$

где $g_D(e)$ - ущерб от единицы «дозы»; рассчитывается для единичной дозы, полученной в возрасте e. Более подробное математическое пояснение к формуле (6.3) дано в Приложении А.

Размерности величин d и g_D: соответственно [[доза]/год] и [год/[доза]], где размерность [доза] «дозы» воздействия определяется ниже для каждого конкретного источника воздействия.

Здесь используется обобщенное понятие «дозы» как меры воздействия рассматриваемого источника риска. Для каждого регулируемого источника риска используется свое конкретное определение «дозы» воздействия.

Показатель риска $\mathcal{R}$ имеет размерность [год/год] (потерянный год здоровой жизни, отнесенный к году пребывания под действием источника риска). В среднестатистическом смысле $\mathcal{R}$ - условно доля этого года, которая теряется в результате действия рассматриваемого источника риска в течение всего года, т.е. $\mathcal{R}$ можно назвать *относительным ущербом*. Реально же теряются годы здоровой жизни после этого воздействия. С учетом этого величину $\mathcal{R}$ можно условно считать безразмерной величиной (доля года).

В математическом теоретико-вероятностном определении величина $\mathcal{R}$ - это математическое ожидание ущерба, выраженного в потерянных годах здоровой жизни от годового воздействия источника риска.

Показатель риска $\mathcal{R}(e)$ является наиболее удобным показателем для сравнения и нормирования рисков. Он описывает полный ущерб в потерянных годах жизни от годового пребывания под действием источника риска. Никакой другой показатель не обладает этим свойством.

Кроме возраста e он может зависеть от пола и других факторов. При установлении норм безопасности и других уровней принятия решений значение показателя риска $\mathcal{R}(e)$ усредняется по полу и возрасту.

Ряд эффектов воздействия вредных факторов могут быть отсроченными: могут иметь значительный латентный период: годы - десятки лет, как это имеет место для злокачественных и наследственных заболеваний в результате воздействия ионизирующего излучения и некоторых вредных химических веществ. Подобные эффекты могут ожидаться и от некоторых НЧ/НМ.

6.3.2 Основные универсальные нормы безопасности

Предлагается установить следующие значения $\mathcal{R}_n$ в качестве основных универсальных НБ для ограничения хронического воздействия регулируемых вредных факторов с использованием этого показателя риска $\mathcal{R}$ [79-81]:

$$\mathcal{R}_n = \begin{cases} 0{,}0004 & \text{для населения,} \\ 0{,}006 & \text{для профессиональных работников.} \end{cases} \qquad (6.4)$$

Эти значения выбраны соискателем таким образом, чтобы соответствовать современным нормам радиационной безопасности в нормальном режиме работы предприятий или использования источников ионизирующего излучения. Опыт показывает, что эти нормы обеспечивают достаточно высокий уровень защиты здоровья человека в нормальном режиме работы с источниками ионизирующего излучения. Кроме того, использование оценки риска для установления и обоснования НБ наиболее глубоко проработаны именно в области радиационной безопасности.

6.3.3 Универсальный уровень пренебрежимо малого риска (уровень “de minimus”)

Этот уровень $\mathcal{R}_{d.m.}$ предлагается установить равным [80-82]

$$\mathcal{R}_{d.m.} = 10^{-5}. \qquad (6.5)$$

6.3.4 Уровни принятия решений по безопасности в аварийных (чрезвычайных) ситуациях

В национальных и международных регулирующих документах установлены несколько уровней принятия решений в терминах «доз» воздействия по ограничению последствий воздействия аварии на здоровье персонала и населения (в области обеспечения радиационной безопасности – см. регулирующие документы [57,70]).

Ниже приведены рекомендации по установлению уровней принятия решения по защитным мерам в чрезвычайной ситуации в терминах показателя риска $\mathcal{R}$.

Уровни вмешательства $\mathcal{R}_{вм}$ в показателях риска за первый год пребывания в чрезвычайной зоне. Для населения:

$$\mathcal{R}_{вм,н} = \begin{cases} 0{,}2 - \text{ уровень Б,} \\ 0{,}02 - \text{уровень А;} \end{cases} \qquad (6.6)$$

для профессиональных работников опасных объектов, ликвидаторов, спасателей –работников подразделений МЧС России:

$$\mathcal{R}_{вм,п} = 0{,}12. \qquad (6.7)$$

Превышение уровня Б требует обязательных жестких мер (эвакуации). Если прогнозируемое значение показателя $\mathcal{R}$ лежит между уровнями А и Б, решение принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий, как это рекомендуется в области радиационной безопасности [57,70]. При возможном превышении уровня $\mathcal{R}_{вм,п}$ необходимо прекратить работу сотрудника в чрезвычайной зоне или принять дополнительные меры жесткой защиты.

Предлагаемые уровни принятия решений предназначены для предотвращения неприемлемого высокого риска проявления стохастических эффектов, который может быть следствием пребывания человека в чрезвычайной зоне за короткий период времени – до года. При этом высокий уровень опасного воздействия, требующий немедленных защитных мер, может реализоваться и за менее короткое время.

При длительном (хроническом) воздействии на территории, пострадавшей от аварии, рекомендуется установить несколько уровней вмешательства, как это принято в обеспечении безопасности населения после радиационной аварии, см. таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Уровни принятия решений по безопасности населения на территории, пострадавшей от аварии, в терминах показателя риска $\mathcal{R}$.

Диапазон риска $\mathcal{R}$	Тип территории
$\mathcal{R} \leq \mathcal{R}_n = 0{,}0004$	Нормальные условия проживания и жизнедеятельности людей
$0{,}0004 \leq \mathcal{R} \leq 0{,}002$	Зона санитарно-экологического контроля
$0{,}002 \leq \mathcal{R} \leq 0{,}008$	Зона ограниченного проживания людей
$0{,}008 \leq \mathcal{R} \leq 0{,}02$	Зона отселения гражданского населения
$0{,}02 \leq \mathcal{R}$	Зона отчуждения (полный запрет на проживание, ограничения на хозяйственную и природопользовательскую деятельность)

Эти уровни принятия решений по безопасности сформулированы в рамках общей методики и в терминах универсального показателя риска $\mathcal{R}$. Эти уровни соответствуют рекомендациям по мерам радиационной защиты после ядерной аварии [57].

Уровни принятия решений по недопущению детерминированных эффектов здесь не рассматриваются. В любом случае они специфичны для источника опасности и эффектов его воздействия.

6.3.5 Основные отраслевые нормы безопасности

Переход от основных универсальных НБ к основным НБ для конкретных источников вреда (отраслевым НБ) осуществляется по следующей простой формуле:

$$d_n = \mathcal{R}_n \ / \ g_D \,, \qquad (6.8)$$

где d_n - общее обозначение основных отраслевых НБ, выраженных в соответствующих «дозовых» единицах и определяемых через $\mathcal{R}_n$, основные универсальные НБ. Ниже величины g_D и d_n конкретизированы для рассмотренных регулируемых источников вреда.

Здесь и далее термин «отраслевые» относится к отдельному фактору, в

том числе для химических вредных веществ к конкретному веществу, для которого вырабатываются свои нормативы.

При установлении НБ и других уровней принятия решений по защитным мерам обычно используют усредненные по возрасту и полу значения величин в определениях (6.3) – (6.6). Так это сделано, например, с коэффициентами радиационного риска при установлении норм радиационной безопасности, норм промышленной безопасности и безопасности при воздействии вредных химических веществ.

Основные нормы радиационной безопасности. Для ИИ в качестве меры воздействия на здоровье человека используется доза этого воздействия D_p (поглощенная, эквивалентная или эффективная – в зависимости от области применения). Для этого источника риска $\mathcal{R}$ вычисляется как

$$\mathcal{R} = d_p \cdot g_p \qquad (6.9)$$

В выражении (6.9) в соответствии с современной практикой нормирования радиационной безопасности следует использовать эффективную дозу и ее коэффициенты [6,57]:

$$d_p = d_E, \quad g_p = g_E, \qquad (6.10)$$

где d_E - мощность эффективной дозы (эффективная доза в год), g_E - хорошо известный усредненный коэффициент риска для ИИ, несколько измененный в последних рекомендациях МКРЗ [6]:

$$g_E = \begin{cases} 0{,}8 \text{ год/Зв для населения,} \\ 0{,}6 \text{ год/Зв для профессионального облучения.} \end{cases} \qquad (6.11)$$

В этом коэффициенте уже учтены все эффекты воздействия ИИ: смертельный и несмертельный рак, наследственные заболевания.

Используя выражения (6.10 и (6.11), а также тот факт, что нормы в показателях эффективной дозы несколько жестче ограничивают радиационный риск, чем риск, выраженный в коэффициентах риска эффективной дозы (с запасом, равным примерно 2) [6], получаем основные

действующие в настоящее время нормы радиационной безопасности в виде предела эффективной дозы $d_{E,n}$:

$$d_{E,n} \approx \begin{cases} 1 \text{ мЗв/год} & \text{для населения,} \\ 20 \text{ мЗв/год} & \text{для профессиональных работников.} \end{cases} \qquad (6.12)$$

Этот результат и следовало ожидать: значения основных универсальных НБ выбирались таким образом, чтобы они соответствовали современным нормам радиационной безопасности.

Промышленные основные нормы безопасности (ограничение риска при авариях и производственного травматизма). Для источника риска немедленного действия – аварии на предприятиях, могущих быть опасными для населения и персонала, в качестве мощности «дозы» воздействия принято использовать величину r - интенсивность риска (вероятность смерти (тяжелого увечья) в год). Для такого источника риска выражение для риска $\mathcal{R}$ имеет вид

$$\mathcal{R} = r \cdot g_r \ , \qquad (6.13)$$

где $g_D \equiv g_r$ - потерянные годы здоровой жизни в результате аварии. Среднее по возрасту значение $g_r^{cp.}$ равно 40 и 30 годам соответственно для населения и персонала производств. Из общего определения отраслевой НБ (6.8) получаем

$$d_n \equiv r_n = \begin{cases} 1{,}0 \cdot 10^{-5}/\text{год} & \text{для отдельных лиц из населения,} \\ 2{,}0 \cdot 10^{-4}/\text{год} & \text{для профессиональных работников.} \end{cases} \qquad (6.14)$$

Отметим среди многочисленной литературы по профессиональному риску книгу [83], содержащую детальное рассмотрение вопросов оценки, анализа и управления профессиональным риском.

Отраслевые нормы безопасности для вредных химических веществ. Как правило, ЗДЭ для химических загрязнителей атмосферы нормируется на так называемую экспозицию ε_x - временной интеграл (сумму) концентрации этого вещества C_x в атмосфере:

$$\varepsilon_x = \int C_x \, dt.$$

Ее размерность - [год*мкг/м^3)]. Годовая экспозиция (или интенсивность экспозиции) e_x вычисляется через экспозицию ε_x за некоторое время Δt по формуле $e_x = \varepsilon_x / \Delta t$ и имеет размерность [год*мкг/м^3)/год], т.е. ее размерность совпадает с размерностью среднегодовой концентрации вредного вещества в воздухе атмосферы. При таком выборе меры воздействия для химического загрязнения выражение для показателя риска $\mathcal{R}$ записывается следующим образом:

$$\mathcal{R} = e_x \cdot g_x , \qquad (6.15)$$

В настоящее время основные НБ для отдельных вредных химических веществ установлены главным образом на основе результатов токсикологических исследований. Работы по использованию анализа риска для совершенствования норм «химической» безопасности находятся в стадии развития и проводятся в рамках направления по гармонизации этих норм [72,73]. В литературе можно найти важные примеры рассчитанных значений ущерба L (потерянные годы жизни) для химических загрязнителей атмосферы. Здесь для демонстрации использования величины $\mathcal{R}$ в нормировании риска воздействия химических веществ рассмотрены только мелкодисперсные аэрозоли $PM_{2.5}$ (диаметр частиц меньше или равен 2,5 мкм), выбрасываемых энергетическими предприятиями или другими источниками загрязнения атмосферы. Основываясь на данных работы [64], можно получить, что для $PM_{2.5}$ среднее значение коэффициента $g_D \equiv g_x$ равно

$$g_x = \begin{cases} 0{,}0005 \text{ года /(год·мкг/м}^3\text{) для населения (PM}_{2.5}\text{)}, \\ 0{,}0004 \text{ года /(год·мкг/м}^3\text{) для профессиональных работников (PM}_{2.5}\text{)}. \end{cases} \qquad (6.16)$$

Согласно общему определению отраслевой НБ (6.8) и исходя из среднего значения (6.16), получаем НБ в терминах среднегодовой концентрации этого загрязнителя атмосферы:

$$d_n \equiv c_n(\mathrm{PM}_{2.5}) \approx \begin{cases} 1{,}0 \text{ мкг/м}^3 \text{ для населения,} \\ 15 \text{ мкг/м}^3 \text{ для профессиональных работников.} \end{cases} \qquad (6.17)$$

6.3.6 Отраслевые уровни пренебрежимого риска

Исходя из универсального определения этого уровня формулой (6.5), нетрудно получить отраслевые уровни пренебрежимого риска. Действуем по той же схеме, что и при получении отраслевых НБ, т.е. рассчитываем их по формуле

$d_{d.m.} = \mathfrak{R}_{d.m.} / g_D$.

В результате получаем:

$$d_{d.m.} \equiv \begin{cases} d_{E,d.m.} \approx 10 \text{ мкЗв/год} & \text{(ионизирующее излучение),} \\ r_{d.m.} = 3\cdot 10^{-7} / \text{год} & \text{(аварии),} \\ c_{d.m.}(\mathrm{PM}_{2.5}) = 0{,}02 \text{ мкг/м}^3 & \text{(загрязнение атмосферы).} \end{cases} \qquad (6.18)$$

Эти отраслевые уровни пренебрежимого риска находятся на одинаковом уровне риска в терминах показателя риска $\mathfrak{R}$.

6.4 Комплексное регулирование безопасности

На практике возможны ситуации, когда персонал предприятия или некоторые группы населения подвергаются воздействию двух или более регулируемых источников вреда. Например, это может быть ИИ и некоторые вредные химические вещества, в том числе в наноразмерном состоянии. В таких ситуациях, особенно когда каждое воздействие удовлетворяет отраслевым НБ, а суммарное их воздействие может быть достаточно высоким и превышать установленные критерии для НБ, необходимо вводить дополнительные ограничения на воздействие этих источников.

Принятие решений по обеспечению безопасности в условиях действия двух или более регулируемых вредных факторов может быть реализовано на тех же основных принципах принятия решений по безопасности, сформулированных в разделе 6.2 [81,82].

Однако для обоснования практической реализации этих принципов необходим единый подход как к оценке риска (т.е. единый методический подход, подробнее см. главу 2), так и единый подход к установлению НБ и оптимизации мер безопасности. Последний подход предложен выше в разделе 6.3.

Отметим, что нормы радиационной безопасности основаны на детальной оценке риска воздействия ИИ, но в конечном счете они установлены таким образом, что их трудно сравнивать с НБ в других отраслях независимо от степени обоснованности последних.

Наличие специального показателя риска $\mathcal{R}$, определенного выше, см. формулу (6.3), позволяет рассчитать суммарное значение годового риска $\mathcal{R}_{\Sigma}$ по всем действующим регулируемым источникам вреда:

$$\mathcal{R}_{\Sigma} = \sum_i \mathcal{R}_i, \qquad (6.19)$$

$\mathcal{R}_i$ –значение специального показателя риска от i-го источника вредного воздействия. Третий принцип принятия решений по безопасности реализуется требованием выполнения простого соотношения

$$\mathcal{R}_{\Sigma} = \sum_i \mathcal{R}_i \leq \mathcal{R}_n , \qquad (6.20)$$

Реализация 2-го принципа осуществляется комплексной оптимизацией воздействия всех рассматриваемых источников вредного воздействия при выполнении условия (6.20). Критерием оптимальности служит минимум обобщенного ущерба, представляющего собой сумму затрат на снижение риска и остаточного ущерба здоровью, выраженного в экономических показателях. Суммирование осуществляется по всем рассматриваемым регулируемым источникам вредного воздействия.

Для практической реализации как 2-го, так и третьего принципа необходимо иметь методики оценки риска для каждого рассматриваемого источника вредного воздействия, позволяющие рассчитывать необходимые показатели риска в их зависимости от возраста и пола, а затем получать усредненные значения. Кроме того, необходимо иметь методику расчета ущерба

в экономических показателях от потери здоровья (жизни) в результате действия вредных факторов. Такой методики, утвержденной компетентными федеральными органами, в настоящее время нет. Есть только научные публикации на эту тему отдельных авторов, см., например, [28,29].

6.5 Заключение к главе 6

Предлагается единый подход к установлению НБ и других уровней принятия решений по безопасности с использованием анализа риска в разных сферах деятельности человека. На основе этого подхода предложены общие универсальные НБ для профессиональных работников и населения. Исходя из этих универсальных НБ, предложены основные НБ и другие уровни принятия решений по безопасности человека для воздействия ряда современных регулируемых источников вредного воздействия.

Для новой области, каковой является нанотехнологии и использование наноматериалов, полезно использовать накопленный опыт оценки риска и управления безопасностью в традиционных областях деятельности человека.

В последнее время в России и за рубежом одна из основных задач совершенствования безопасности человека сводится к гармонизации регулирования безопасности между разными странами на основе оценки и анализа риска.

В диссертационной работе гармонизация регулирования принятия решений по безопасности осуществлена на основе единого подхода в рамках современной методологии оценки риска. Важнейшим шагом в этом едином подходе является разработка предложений по универсальным НБ и другим уровням принятия решений по безопасности.

Разработанный подход может служить основанием для разработки предложений по международной гармонизации нормативно-регулирующих и методических документов в области обеспечения безопасности нанотехнологий и других отраслей промышленной и хозяйственной деятельности человека.

ГЛАВА 7 ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ, СРАВНЕНИЯ И АНАЛИЗА РИСКА ОТ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

7.1 Оценка риска для населения территорий, пострадавших от ядерных испытаний и Чернобыльской аварии

С использованием разработанных научно-методических основ оценки риска, а также и программного комплекса БАРД по оценке риска в рамках программ НИР МЧС РФ и некоторых международных проектов выполнялись оценки риска для здоровья населения России тех территорий, на которых уровень воздействия ИИ относится к категории чрезвычайных ситуаций. Конкретно была проведена оценка последствий ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне и Чернобыльской аварии для здоровья населения пострадавших регионов. Оценивался также риск здоровью ликвидаторов последствий Чернобыльской аварии. Кроме того, проводился анализ состояния здоровья населения в показателях риска.

Все расчеты риска выполнены с использованием программного комплекса БАРД (банка данных по оценке риска), см. раздел 3.7.

Результаты этих оценок опубликованы в журналах и материалах научных конференций, см., например, 10,60,84,85]. Ниже приведен ряд примеров таких оценок и дан их анализ.

В таблице 7.1 указаны области применения результатов оценки риска.

Прежде чем представить результаты оценок и анализа риска, в следующем разделе изложены концептуальные положения и уровни принятия решений по медицинской и социальной защите населения пострадавших территорий на основе оценки и анализа риска. Это дает возможность анализировать результаты оценок риска с точки зрения этих положений.

Таблица 7.1 - Оценка риска как основа принятия решений по защитным мерам

Вид оценки	Назначение результатов
Ретроспективная оценка риска	Общая оценка масштаба последствий
Оценка риска постфактум	Социальная защита (компенсация за ущерб)
Прогнозная оценка риска	*1) Оценка последствий и управление риском (радиационная, медицинская и социальная защита)*
	2) Нормирование риска

7.1.1 Концептуальные положения и уровни приятия решений по медицинской и социальной защите населения в чрезвычайных ситуациях

В разделе 6.3.4 были предложены уровни принятия решений по безопасности населения в аварийных (чрезвычайных) ситуациях в показателях риска. Для территорий, пострадавших от ядерной аварии, они предназначены для обеспечения радиационной безопасности населения – предотвращения недопустимо высоких доз воздействия ионизирующего излучения.

В реальной ситуации возникновения чрезвычайной ситуации часть людей может получить значимые дозы воздействия с точки зрения риска для их здоровья. Это происходило или может произойти по разным причинам, например, из-за несвоевременных или неполных мер радиационной защиты.

Для территорий Алтайского края, пострадавших от ядерных испытаний, в силу известных причин не было принято никаких мер радиационной защиты.

Часть населения на территориях, пострадавших от Чернобыльской аварии, могла получить значимые дозы из-за несвоевременных мер радиационной защиты в первые дни-недели после начала аварии (эвакуация, пребывание в закрытых помещениях, запрет потребления местных продуктов).

Ниже изложены концептуальные положения и уровни принятия решений в показателях риска по медицинской и социальной защите для той части населения, которые получили значимые дозы на территориях, пострадавших от ядерных испытаний или Чернобыльской аварии. Эти положения относятся также и к возможным другим чрезвычайным ситуациям [10,84].

Оценка риска стохастических последствий и принятие решений по медицинской и социальной защите людей на территории, оказавшейся в чрезвычайной ситуации, производится для отдельных когорт населения.

Принадлежность любого человека к той или иной когорте определяется:

- полом;
- возрастом в момент воздействия источника опасности;
- местом жительства в момент возникновения чрезвычайной ситуации;
- принадлежностью к городскому или сельскому населению;
- дозой воздействия в создавшейся чрезвычайной ситуации.

Для принятия решения по медицинским и (или) социальным мерам в терминах риска воздействия полученных доз предлагается установить два уровня:

1. ***Уровень значимого риска*** - минимально значимое значение риска в когорте.
2. ***Уровень высокого риска*** - уровень относительно большой вероятности реализации риска в когорте.

Если в рассматриваемой когорте людей в результате воздействия чрезвычайной ситуации значение обусловленного им риска здоровью больше установленного уровня значимого риска, то это воздействие признается значимым и для этих людей применяется комплекс медицинских профилактических, диагностических и лечебных мероприятий, т.е., уровень значимого риска - это уровень риска, начиная с которого ситуация на территории берется под контроль.

Если значение ожидаемого риска превышает уровень высокого риска, то медицинские и социальные меры защиты должны быть расширены и направлены индивидуально – на каждого носителя повышенного риска.

Эти уровни должны быть установлены специалистами в области социально-гигиенической защиты.

По аналогии с имеющимися научными предложениями по таким уровням относительно радиационных стохастических эффектов [10,84] можно предложить следующие уровни риска:

- значение ***уровня значимого риска*** устанавливается равным 5 % от значения риска в рассматриваемый период времени спонтанного (фонового) заболевания того же вида (за исключением рака щитовидной железы) в рассматриваемой когорте; для редких видов заболевания, типа, например, рак щитовидной железы, этот относительный уровень разумно установить на порядок более высоким;
- значение уровня высокого риска устанавливается равным 25 % от значения риска, обусловленного спонтанными (фоновыми) заболеваниями рассматриваемого конкретного вида.

Осуществление защитных и оздоровительных медицинских мероприятий должно основываться на следующем принципиальном положении: *медицинские мероприятия должны быть направлены на снижение риска в целом, а не только искомого или спонтанного риска (риска смерти и заболевания одного и того же вида; пример: спонтанный и радиогенный рак). При таком подходе возрастает эффективность этих мероприятий и снижается абсолютный риск. При этом предотвращенный ущерб здоровью может превысить риск, обусловленный воздействием чрезвычайной ситуации.*

Данное положение вытекает из необходимости и полезности учитывать неспецифичность стохастических эффектов воздействия ИИ, модифицирующее действие других факторов риска и возможность компенсации искомого риска за счет снижения других рисков.

Последовательная реализация этого положения в случае воздействия чрезвычайной ситуации может в принципе изменить стратегию защиты здоровья населения в сторону повышения ее результативности и эффективности.

Весьма важной и эффективной мерой медицинской и социальной защиты персонала и (или) населения в чрезвычайных ситуациях может быть *обязательное страхование* части медицинских мер, возможного ущерба здоровью (жизни) и других ущербов в случае их реализации [84-87]. Это может быть особенно эффективным, когда имеют место отсроченные на десятки лет возможные стохастические эффекты воздействия факторов чрезвычайной ситуации. Таковы, например, злокачественные новообразования, порождаемые воздействием ИИ или вредных химических веществ.

В подходе к принятию решений по защите населения на основе анализа риска появляются два принципиально важных положения:

- облученный еще не есть пострадавший (от стохастических эффектов),
- оценка риска позволяет учитывать тот факт, что большинство случаев радиогенного рака реализуются через десятки лет после облучения (см. ниже рисунок 7.1); с одной стороны, это предоставляет возможность вместо экономической компенсации рассмотреть меры медицинской защиты и реабилитации, которые могут оказаться более эффективными как с экономической точки зрения, так и с точки зрения охраны здоровья; с другой стороны, это намного уменьшает экономическую ответственность за компенсации, отнесенную к году возникновения чрезвычайной ситуации.

В реальной чрезвычайной ситуации разные группы лиц могут получать разные дозы, при этом облучение может быть кратковременным (острым), длительным или смешанным. Детальный анализ дозовых нагрузок в терминах эквивалентных или поглощенных доз, а не эффективной дозы, дает еще один параметр для выделения специфических групп риска и тем самым более обоснованным принятие решений по мерам защиты или компенсации.

Из приведенных ниже показательных расчетов (расчетных экспериментов) вытекает очевидная рекомендация по использованию оценки риска (ущерба) от чрезвычайной ситуации с радиоактивным загрязнением для принятия решения по страхованию, мерам защиты и компенсации. Необходимо различать, по крайней мере, две группы радиогенных раков: радиогенные лейкозы и «солидные» раки (см. ниже рисунок 7.1). Если относительно первых принимаемые меры, включая решение по компенсации, необходимо принимать в ближайшие один-два десятилетия, то для другой группы вопрос о таких мерах в основном возникает за пределами этого интервала времени.

Вопрос о временно̀м экономическом факторе (дисконтировании) уже нельзя игнорировать [36,37]. Более того, правильный его учет приводит к очень существенному снижению затрат на компенсацию или защитные меры в пересчете на момент чрезвычайной ситуации. Все необходимые выплаты по страховому договору могут быть сделаны в специальный социальный или медицинский фонд, из которого будут браться деньги на реальные расходы спустя много лет [86].

По-видимому, полезно выделить в отдельную группу рак щитовидной железы из-за его специфических характеристик. Ущерб, обусловленный выделенными специфическими раками, необходимо рассчитывать на основе индивидуальных и коллективных органных эквивалентных или поглощенных доз. При этом детальная оценка риска позволяет предсказать определенные временные зависимости появления заболевания.

Имеет смысл обратить внимание на следующее обстоятельство. Как уже было отмечено в разделе 3.4, благодаря успехам медицины летальность раковых заболеваний за последние 15 лет снизилась примерно на 20 % [34,35]. Это серьезное, значимое достижение медицины, что еще раз подчеркивает эффективность медицинских мер защиты в отношении стохастических эффектов облучения при их правильной организации на основе оценки и анализа риска. Нужно при этом иметь в виду, что при особом внимательном отношении со

стороны медицинских работников к людям из группы риска летальность раковых заболевания для них будет ниже, чем в среднем для населения России.

Решение о принимаемых мерах безопасности, медицинской и социальной защиты принимается на основе результатов оценки риска воздействия чрезвычайной ситуации с учетом установленных рисковых уровней принятия решений и концептуальных положений. Оценка риска во всех необходимых деталях должна осуществляться с использованием научно-методического комплекса, описанного в методической части диссертационной работы, и расчетного комплекса типа БАРД. Для обеспечения такого подхода к принятию решений по мерам безопасности и защиты научные методические разработки и расчетные комплексы должны быть должны быть представлены в виде методических рекомендаций и программных компьютерных комплексов, одобренных правомочными органами (ФМБА России или Роспотребнадзором).

Для практической реализации этого варианта необходимы кроме описанных выше средств оценки риска, нормативно-регламентные документы, регулирующие применение анализа риска в обеспечении радиационной, медицинской и социальной защиты населения, пострадавшего от чрезвычайной ситуации.

Приведенные ниже примеры оценки риска здоровью населения и персонала в чрезвычайных ситуациях (ядерные испытания и Чернобыльская авария) служат цели обоснования предлагаемых концептуальных положений о медицинской и социальной защите людей в чрезвычайных ситуациях, основанных на применении результатов оценки и анализа риска.

7.1.2 Последствия ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне для населения Алтайского края

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) расположен на территории Казахстана в юго-западном направлении от Алтайского края. Минимальное расстояние от границы края до СИП составляет 150 км. В течение 1949 - 1962 гг. на полигоне были проведены десятки наземных и воздушных испытаний

ядерного оружия [10,84]. Согласно имеющимся данным некоторые из них оказали значительное радиационное воздействие на населения края.

Изучение этого воздействия началось в 1990 г. - сорок лет спустя после первого испытания. С 1992 г. они продолжались в рамках федеральной исследовательской программы МЧС России "Семипалатинский полигон/Алтай" [10,84]. Эта программа включала несколько направлений, включая:

- оценку доз облучения населения от испытаний,
- прогнозную оценку риска (с 1994 г.)
- и др.

Основной целью научных исследований является получение результатов оценки доз и риск для разработки, обоснования и сопровождения практической программы дополнительных мер по социальной защите, охране здоровья населения и окружающей среды на пострадавших территориях.

После проведения исследований и выполнения ряда этапов федеральной исследовательской программы ее результаты можно охарактеризовать следующими общими данными:

- Преобладающая часть дозы от ядерного испытания формируется за первые несколько дней и облучение носит преимущественно острый характер.
- К началу научных исследований - сорок лет спустя после первого испытания - радиоактивное загрязнение природной среды от испытаний снизилось до пренебрежимо малого уровня и принятие какие-либо прямых мер радиационной защиты населения потеряло смысл.
- Среди всех ядерных испытаний из проведенных на СИП в 1949 - 1962 г., радиоактивный след от которых прошел по территории Алтайского края, наиболее значительное влияние на население оказали первое ядерное испытание (29 августа 1949 г.) и испытание 7 августа 1962 г. Возможные детерминированные эффекты, обусловленные испытаниями ядерного оружия, уже реализовались. Отдаленные последствия заключаются в повышении риска стохастических эффектов облучения.

- Согласно имеющимся расчетным данным к середине 90-х годов примерно половина ожидаемых случаев смерти от радиогенного рака (результат испытаний) уже реализовалась; другая половина реализуется в будущем - примерно в течение следующих 20-30 лет, если не принять никаких медицинских и других мер защиты и оздоровления (таблица 7.2).

Таблица 7.2 - Доля (в %) последствий 1-го испытания в виде дополнительной смертности от радиогенного рака, ожидаемая после 1994 г. для двух возрастных групп сельского населения 1949 г. на пострадавшей территории.

Вид (локализация) рака	Возраст до 25 лет		Все возраста	
	муж.	жен.	муж.	жен.
Все раки	61 (58)	70	47	54 (47)
Лейкоз	20	18	16	13
Органы дыхания	74	80	57	59
ЖКТ	60	63	46	45
Молочная железа	-	77	-	65
Щитов. железа	60	51	54	47

Примечание - В скобках результаты ранее выполненного расчета риска (в 1994 г.) по действовавшей на тот момент времени модели BEIR V. Отметим, что положение границы между двумя частями пожизненного риска менее чувствительно к вариации базовых параметров модели оценки риска, чем сама величина пожизненного риска.

В этих условиях все меры защиты населения разбиваются на два направления: социальная компенсация пострадавшим (или их семьям) и адекватные медицинские и другие меры по защите здоровья и жизни людей из групп повышенного риска.

Оценка доз. После испытания специалистами лабораторий СИП проводились измерения экспозиционной дозы γ-излучения и радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды. К сожалению, этих данных прямых измерений недостаточно для оценки доз, полученных населением от испытаний. Было необходимо разработать методику ретроспективной оценки доз. Первый вариант методики оценки доз (эффективных доз) был утвержден в 1993 г. Эта

работа, включающая стадии экспертизы, доработки и утверждения, продолжалась и в последующие годы.

Следует отметить, что для реализация принятой программы практических мер социальной защиты населения пострадавших территорий требуется только оценка эффективной дозы. Для прогнозной оценки риска и эпидемиологического исследования необходимы поглощенные или эквивалентные дозы на отдельные органы. Согласно имеющимся оценкам, эффективную дозу более 5 сЗв получили чуть более 40000 человек [10].

Оценка риска и обсуждение. В таблице 7.2 и на рисунках 7.1, 7.2 приведены некоторые результаты расчетных оценок радиологических последствий первого ядерного испытания для той части территории, на которых население получило дозы 0,2 Зв (все тело) и 1 Гр (щитовидная железа). Другие входные данные:

- медико-демографические данные по Алтайскому краю;
- модель радиационного риска BEIR V и VII.

На основе анализа представленных здесь результатов можно сделать следующие выводы.

Детальные оценки риска позволяют получить временные особенности реализации радиогенных раковых заболеваний разных нозологий, что имеет принципиальное значение для принятия решений по мерам социальной и медицинской защиты населения пострадавших территорий. Очень важен, например, для такого решения тот факт, что для возрастной группы 0 - 25 лет на момент испытания (основного носителя риска) большая часть радиогенных раковых заболеваний ожидалась в будущем, а не произошла в прошлом (по отношению к 1994 г. – моменту начала исследований по риску).

Выбором критической группы и соответствующими профилактическими и лечебными мерами имеется реальная возможность значительно снизить число раковых заболеваний. Отметим, что расчет риска на основе эффективной дозы свел бы необходимую временную картину в одно число (!), что сделало бы эти результаты практически бесполезными.

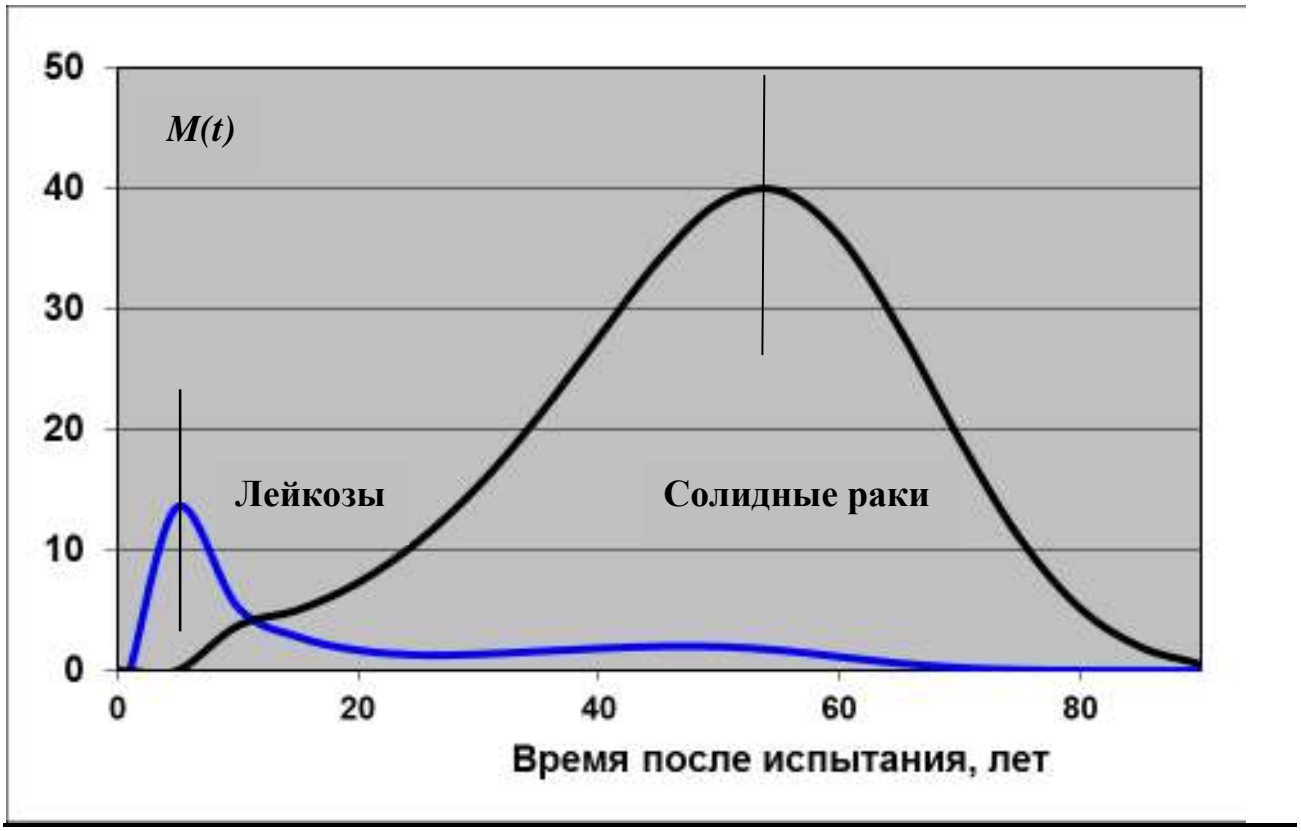


Рисунок 7.1 - Рассчитанная смертность *M(t)* как функция времени *t* после испытания от радиогенных солидных раков и лейкозов для населения Алтайского края как следствие воздействия первого испытательного взрыва атомной бомбы на Семипалатинском полигоне в августе 1949 г. Расчет выполнен для мужского населения в 100000 человек в возрасте до 25 лет в момент испытания и для той части территории, на которых население получило дозы 0,2 Зв (все тело) и 1 Гр (щитовидная железа).

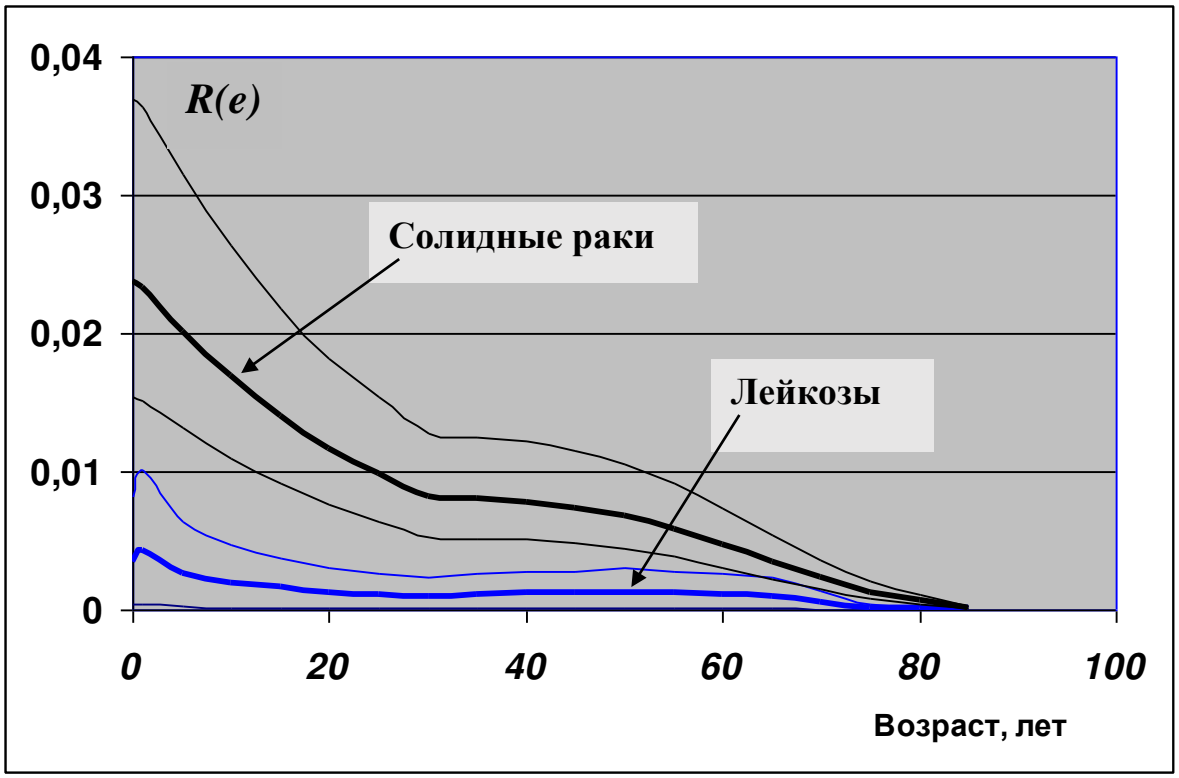


Рисунок 7.2 - Рассчитанный пожизненный риск смерти *R(e)* для мужчин от радиогенных солидных раков и лейкозов как функция возраста *e* на момент испытания для населения Алтайского края как следствие радиационного воздействия первого испытательного взрыва атомной бомбы на Семипалатинском полигоне в августе 1949 г. Расчет выполнен для той части территории, на которых население получило дозы 0,2 Зв (все тело) и 1 Гр (щитовидная железа). Тонкие линии обозначают границы 95-процентного доверительного интервала.

Пожизненный риск смерти от спонтанного и радиогенного рака для родившихся в 1949 г. мужчин равнялся соответственно 18 и 2,7 (ДИ:1,5;3,9) %, согласно расчетам с указанными выше дозами (2,3 % солидные раки). Относительный вклад радиогенных лейкозов по отношению к спонтанным значительно выше: пожизненный риск смерти от спонтанного и радиогенного лейкоза для родившихся в 1949 г. равнялся соответственно 0,54 и 0,35 (ДИ:0,035; 0,7) %.

Подавляющее большинство случаев радиогенных лейкозов уже реализовались (в течение примерно 30 лет после испытания). В те времена не только не принималось никаких медицинских мер по поводу этих заболеваний,

но и в силу тогдашнего состояния практической медицины они даже не регистрировались. Главное не было никакой информации о возможном влиянии испытаний на население Алтайского края из-за режима секретности [10].

7.1.3 Оценка риска для здоровья участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии

В ликвидации последствий Чернобыльской аварии участвовало более 250000 человек. Наиболее подробные данные о ликвидаторах РФ, включая полученные дозы, содержатся в Российском государственном медико-дозиметрическом регистре при Медицинском радиологическом научном центре РАН, г. Обнинск. По состоянию на 1 января 1999 г. Регистр содержал данные на 174916 человек [88].

Полученные дозы зависели от многих факторов, включая характер выполняемой работы, ее длительность, календарное время, возраст ликвидатора.

Диапазон доз простирается от долей сГр до десятков сГр.

Особую группу составляют работники атомной станции и пожарные, которые включились в работу по предотвращению развития аварийной ситуации с первых часов после ее начала. Они получили высокие дозы – до нескольких Грей - с проявлением ОЛБ разной степени тяжести. Эта группа здесь не рассматривается.

Для каждой возрастной и дозовой группы необходимо выполнить отдельную оценку радиационного риска. Ниже в качестве примера оценки риска для здоровья ликвидаторов выполнен вычислительный эксперимент для трех групп ликвидаторов мужского пола: возраста 25 – 30, 45 - 50 и 55 – 60 лет со средней дозой облучения всего тела 14 сГр (по данным Регистра [88]).

Как отмечено в работе [89], часть ликвидаторов могли получить значимые дозы в результате своей профессиональной деятельности на предприятиях Минатома СССР. При проведении эпидемиологических исследований необходимо учитывать полученные дозы от всех источников, включая

естественную радиоактивность окружающей среды и медицинские диагностические обследования [89]. Прогнозная оценка риска может быть произведена как для отдельных компонент доз, так и для их суммы. Здесь сделана прогнозная оценка риска только от участия в ликвидации последствий аварии, см. таблицу 7.3.

Отметим, что в организации работы ликвидаторов в 1986 г. было задействовано правило: не допускать, чтобы полученная доза превысила 25 сГр.

При получении такой или близкой дозы ликвидатор должен был прекратить работу в опасной зоне. Дополнительно к указанным выше расчетам риска был проведен также его расчет для ликвидаторов, получивших дозу 25 сГр.

Оценка риска была выполнена для мужчин (трудового возраста 25 – 60 лет), поскольку именно мужчины составляли подавляющую часть ликвидаторов.

Таблица 7.3 - Результаты оценки риска (вычислительного эксперимента) для участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии (мужчин) в показателе пожизненного риска смерти *R* от радиогенного рака*)

Возраст, лет	*R*, %			
	D = 14 сГр		*D* = 25 сГр	
25 - 30	**0,7**	(0,52 ; 1,1)	**1,4**	(1,0 ; 2,0)
45 - 50	**0,6**	(0,39 ; 0,8)	**1,1**	(0,8 ; 1,5)
55 - 60	**0,4**	(0,28 ; 0,56)	**0,8**	(0,6 ; 1,2)

*) В скобках 95 % ДИ.

Для сравнения: пожизненный риск смерти от спонтанного рака для мужчин возраста 25 лет в 1989 г. составлял примерно 20 % (в среднем по России).

Как и следовало ожидать, полученные значения риска (таблица 7.3) уменьшаются с ростом возраста ликвидаторов. В тех диапазонах доз и возрастов ликвидаторов, для которых был выполнен показательный расчет риска (вычислительный эксперимент), значения пожизненного риска *R* находятся вблизи или могут превысить уровень значимого риска. Этот уровень был предложен в разделе 7.1.1 для поддержки решений по медицинской и

социальной защите лиц, получивших значимые дозы ионизирующего излучения в чрезвычайной ситуации. Из этих оценок видно, что часть ликвидаторов могла бы попасть в группу значимого или даже высокого риска для принятия соответствующих решений по их защите. Однако для принятия таких решений необходимы регулирующие документы по использованию оценки и анализа риска в принятии решений по медицинской и социальной защите людей, оказавшихся в чрезвычайной ситуации.

7.1.4 Последствия Чернобыльской аварии для населения пострадавших территорий

Большие усилия были сделаны в рамках национальных и международных научно-исследовательских программ, чтобы получить полную информацию о радиоактивных выбросах, загрязнение объектов окружающей среды и радиационной обстановке, возникшей в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Начиная с первой публикации (заседание рабочей группы МАГАТЭ, август 1986 г.) эти данные были значительно улучшены и дополнены.

Эти изменения относились ко всем аспектам оценки и анализа последствий аварии, начиная от уточнения данных о радиоактивных выбросах и кончая оценкой полученных и прогнозных доз, получаемых ликвидаторами и населением пострадавших территорий, а также анализом эффективности принимаемых контрмер.

Национальные и международные нормативные документы в момент аварии не было ни полны, ни совершенны в некоторых аспектах, необходимых особенно в отношении контрмер на промежуточных и долгосрочных этапах.

Эти документы в основном установили уровни вмешательства в терминах предотвращенных доз и были предназначены для регулирования только радиационной защиты. Они не содержали какие-либо уровни вмешательства в

терминах остаточных доз и риска, которые необходимы для регулирования социальной и медицинской защиты населения пострадавших территорий.

Новые документы разрабатывались в ходе выполнения контрмер по смягчению последствий аварии для окружающей среды и населения.

Программа неотложных мер (1989 г., см. в [90]) и Чернобыльский закон (1991 г.) в ряде основных положений были приняты вопреки рекомендациям отечественных и международных специалистов. В разработке положений Закона большую роль сыграли непрофессионалы (первые отряды активных «перестройщиков»), ставшие в глазах общественности «признанными экспертами». Границы пострадавших территорий были установлены Чернобыльским законом по уровням радиоактивного загрязнения, а не по возможным дозовым нагрузкам.

Переход к принятию решений только по дозовым уровням, как это рекомендовалось международными и национальными специалистами в области радиационной безопасности [90,91], и тем более по результатам оценки риска привел бы к резкому уменьшению признанных пострадавшими территорий и соответственно количества населения. По объективным и субъективным причинам учет результатов оценки риска стал практически невозможным: это вступило бы в грубое противоречие с уже принятыми решениями по радиационной и социальной защите. Кроме того, резкая смена регулирующих документов вызвала бы очередную волну недоверия к политике защитных мер, проводимой местными и федеральными органами.

В рамках отечественных программ НИР и ряда международных проектов соискателем в 1989 – 1995 гг. были проведены ряд прогнозных оценок риска для здоровья населения на пострадавших от Чернобыльской аварии территориях. К сожалению, результаты этих оценок практически не использовались в принятии решений по радиационной и социальной защите населения, в отличие от ФЦП «Семипалатинский полигон/Алтай».

Население, подвергшееся воздействию ионизирующего излучения после Чернобыльской аварии, можно разбить на две большие категории:

(1) жители, которые были эвакуированы из 30-километровой зоны во время первых двух недель во время аварии (примерно 120 тысяч человек);

(2) жители территорий, подвергшихся относительно умеренному радиоактивному загрязнению, с которых не было осуществлена эвакуация (или более позднее переселение).

В обеих этих группах в отдельную, третью категорию выделены дети (с возрастом до 7 лет), получившие значительные дозы на щитовидную железу из-за неполных (несвоевременных) мер защиты от радиоактивного йода.

Для всех трех групп характерен очень большой разброс доз облучения от аварийных радиоактивных выбросов в зависимости от места проживания (местных условий), образа жизни и от эффективности (своевременности) принятых защитных мер. Особенно высокие поглощенные дозы (порядка и выше 1 Гр) были установлены у части детей из-за запоздалого решения о принятии йодных таблеток и (или) запрета на потребление молока (трава – корова – молоко - основной путь дозового воздействия на щитовидную железу человека.). Через несколько лет после аварии медицинские службы стали отмечать учащение частоты заболеваний щитовидной железы у этой группы детей [92-94].

Заболевания щитовидной железы у детей – одно из наиболее серьезных последствий Чернобыльской аварии и неэффективности защитных мер. Работам по оценке и ликвидации этих последствий уделялось особое внимание в национальных и международных организациях. Имеются многочисленные публикации по этой проблеме (см, например, публикации [92-94] и имеющиеся там ссылки).

В этом разделе оценка риска выполнена для двух групп населения из перечисленных выше: для эвакуированных из 30-км зоны и для населения, проживающего на территории Брянской области с относительно высоким

уровнем радиоактивного загрязнения в результате Чернобыльской аварии (плотность радиоактивных выпадений больше 555 кБк (^{137}Cs) /*м*^{2}).

При этом оценка сделана в форме вычислительного эксперимента: в каждом случае выбран некоторый конкретный показательный вариант дозовой нагрузки из огромного их возможного набора.

Эвакуированные люди. Для них радиационное облучение было относительно кратковременным: от нескольких часов до нескольких дней. Для показательного расчета (вычислительного эксперимента) была взята кратковременная средняя доза облучения всего тела, равная 31 сГр, из публикации НКДАР ООН [92].

Результаты вычислительного эксперимента представлены на рисунках 7.3 и 7.4.

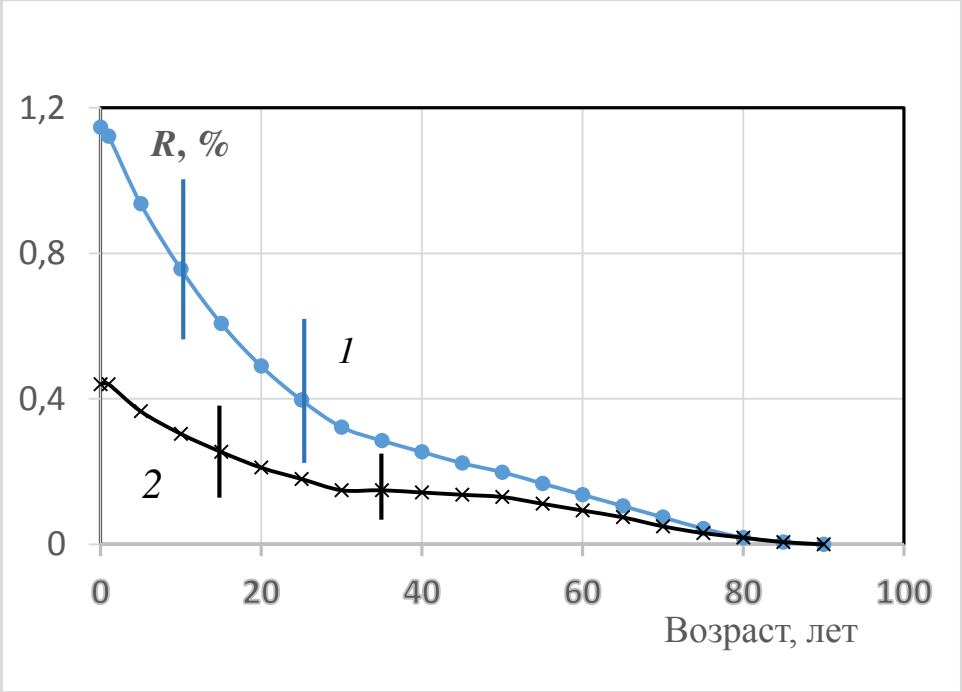


Рисунок 7.3 – Рассчитанный прогнозный пожизненный риск смерти *R* от радиогенного рака для лиц, эвакуированных из 30-км зоны, вследствие полученных доз от аварийных радиоактивных выбросов; *1* – женщины, *2* - мужчины (расчет по БАРД, средняя доза облучения всего тела – 31 мГр [92]).

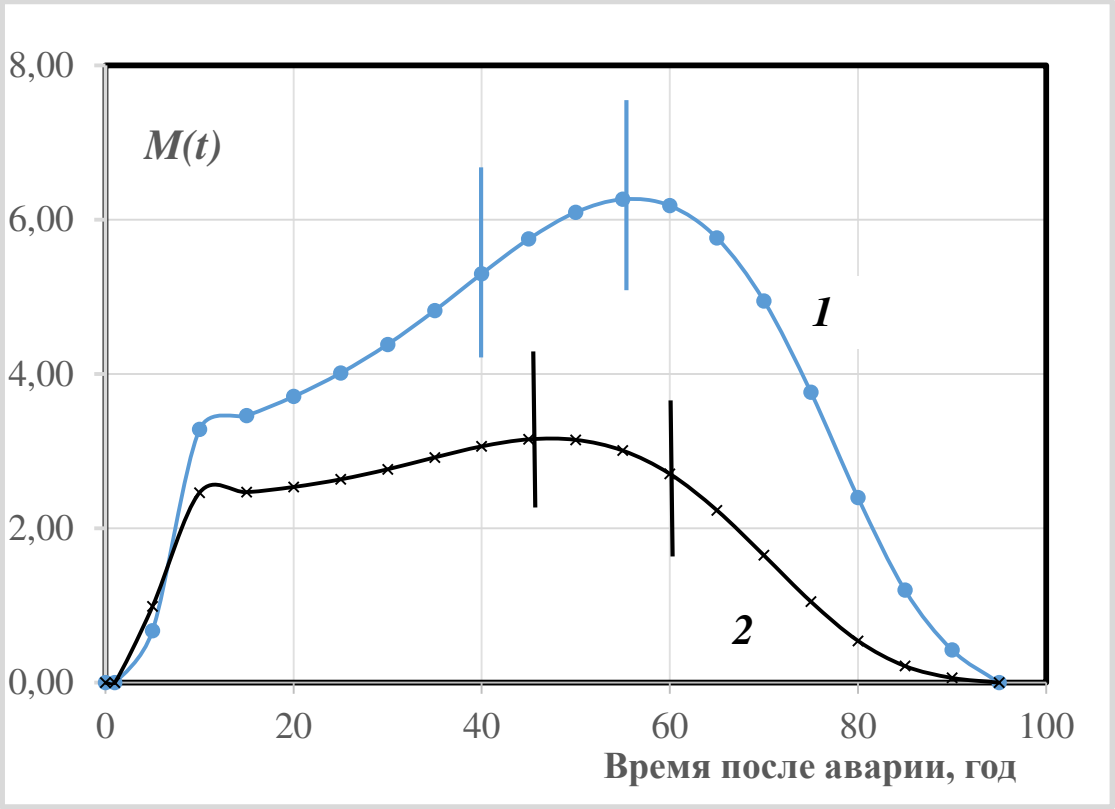


Рисунок 7.4 – Расчетная рогнозная ежегодная смертность ***M(t)*** от радиогенного рака на 100000 человек (все возраста), эвакуированных из 30-км зоны, вследствие полученных доз от аварийных радиоактивных выбросов, *1* – женщины, *2* - мужчины (расчет по БАРД, средняя доза облучения 31 мГр [92]).

Население на радиоактивно загрязненных территориях. В этом разделе приведен пример прогнозной оценки радиационного и нерадиационного риска для населения территории Брянской области с относительно высоким уровнем радиоактивного загрязнения в результате Чернобыльской аварии (плотность радиоактивных выпадений порядка или больше 555 кБк (^{137}Cs)/$м^2$). Этот пример взят из работы соискателя [85].

Исходные данные. Следующие исходные данные были использованы в оценках риска:

- МДД для сельского населения Брянской области, 1989 г.;

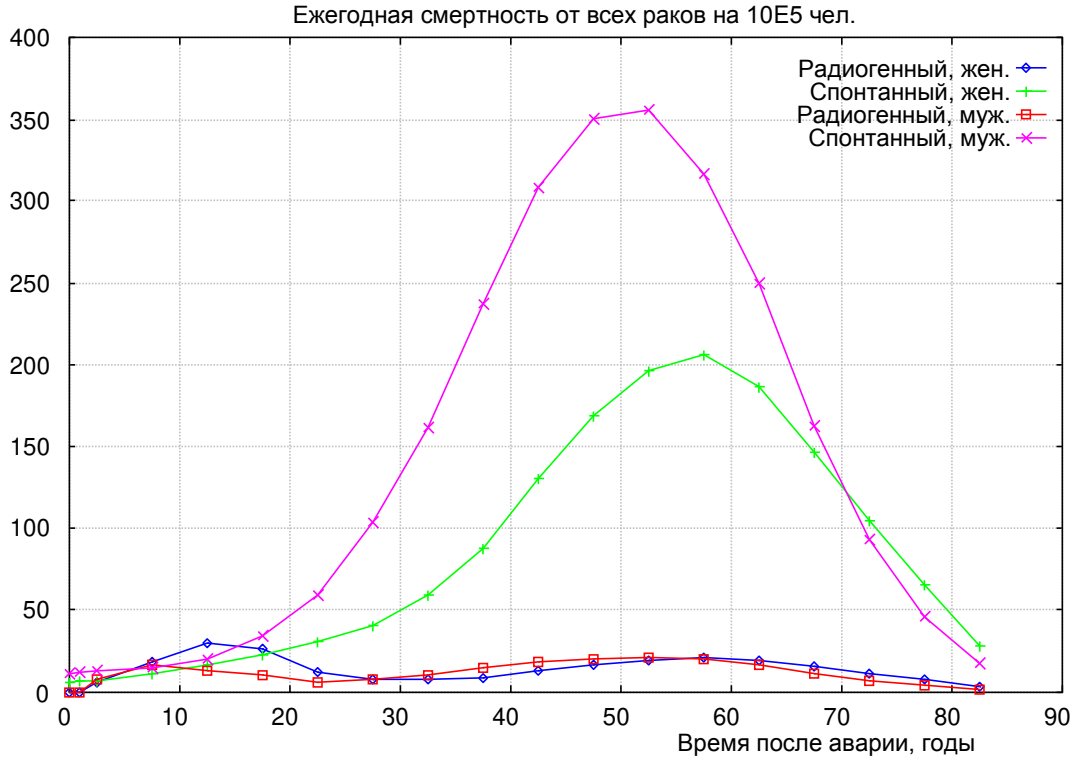
- результаты оценок доз для выбранной территории из отчетов программы НИР МЧС РФ, отчетов международного Чернобыльского проекта JSP2 за 1993 – 1998 гг.

В расчете учитывались следующие дозовые составляющие:

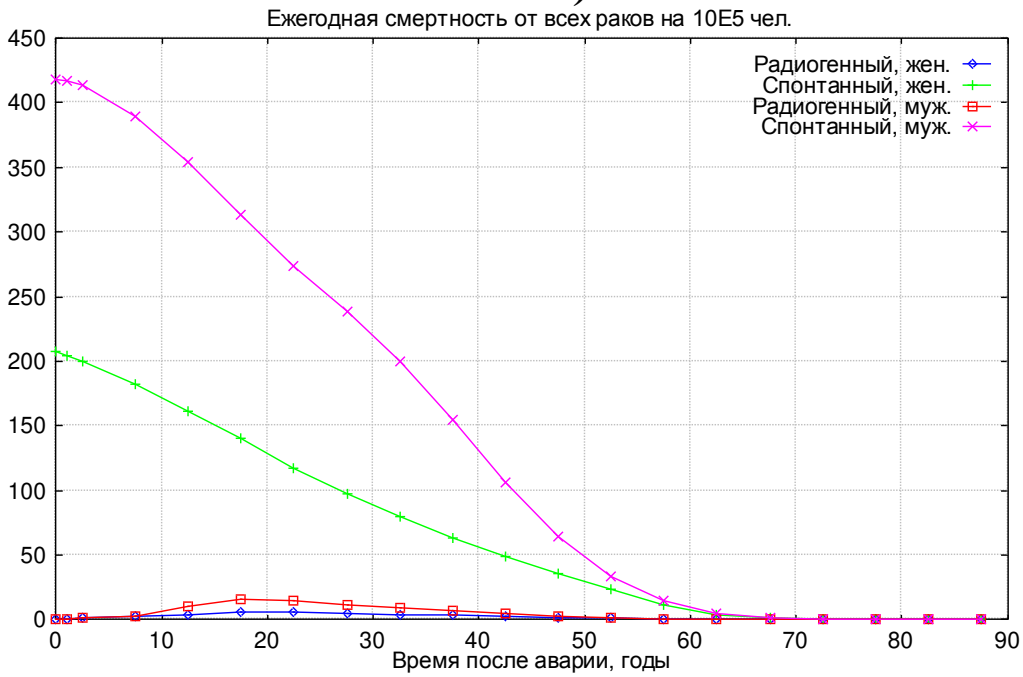
- кратковременное облучение всего тела в первые недели после аварии (эквивалентная доза D_0; согласно имеющимся данным D_0 = 3 – 5 сЗв, для расчета взята величина 3 сЗв),
- доза облучения щитовидной железы (поглощенная доза D_{th}), D_{th} = 0,3 – 0,5 Гр для взрослого населения с ростом в сторону младших возрастов, как это описано в публикации [92], для расчета взято значение 0,5 Гр.
- протяженное (хроническое) облучение всего тела, описываемое мощностью дозы *d(t)* с ее частями внутреннего и внешнего облучения и своими соответствующими временными зависимостями (*t* – время в годах после аварии, начиная с 1986 г.).

Отметим, что принятые контрмеры в основном были направлены на уменьшение доз внутреннего облучения и мало затрагивали дозы внешнего облучения. При принятии эффективных контрмер дозы внутреннего облучения всего тела становились намного меньше доз внешнего облучения. К сожалению, из-за запаздывания с принятием защитных мер в ряде мест часть населения, особенно дети, получили относительно высокие поглощенные дозы на щитовидную железу.

Согласно результатам исследований, выполненных после 1986 г., было установлено, что дозы внешнего облучения снижались со временем в результате процесса «самоочищения» значительно быстрее, чем это было бы за счет радиоактивного распада ^{137}Cs, основного дозообразующего элемента в средне- и долгосрочном периоде времени. Это более быстрое снижение величины *d(t)* учитывалось в расчете риска. Процесс «самоочищения» происходил в основном за счет более быстрого распада радиоактивного ^{134}Cs и постепенного перехода радиоактивного цезия в более глубокие слои почвы.

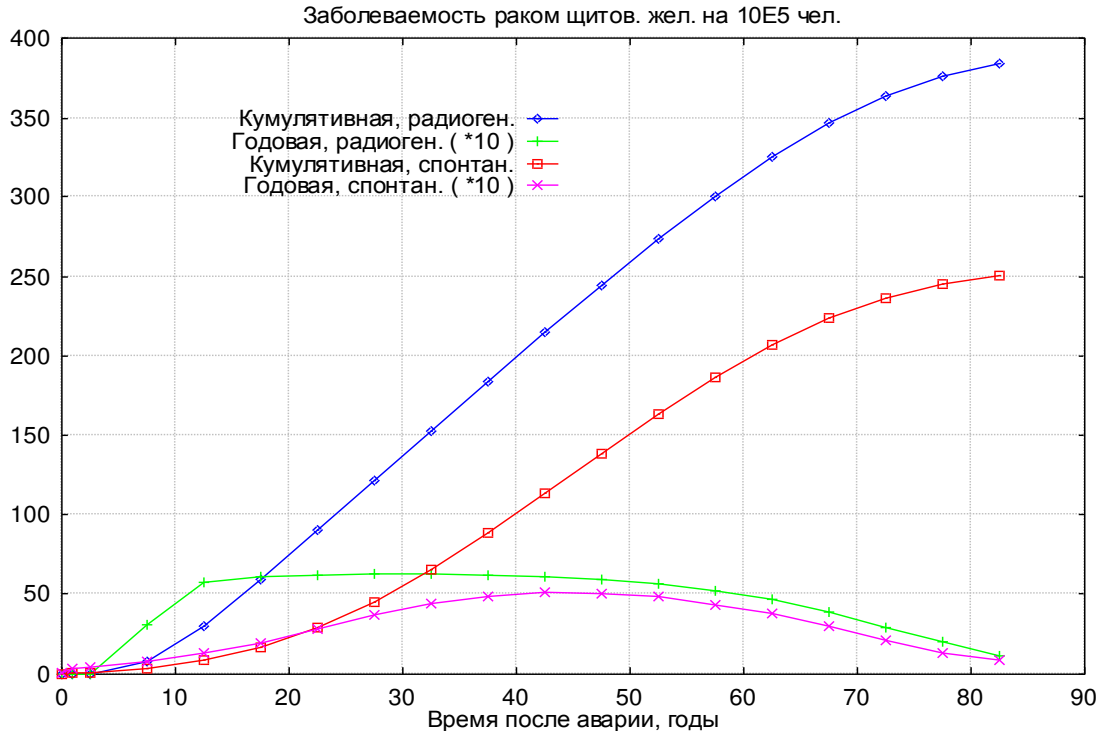


а)

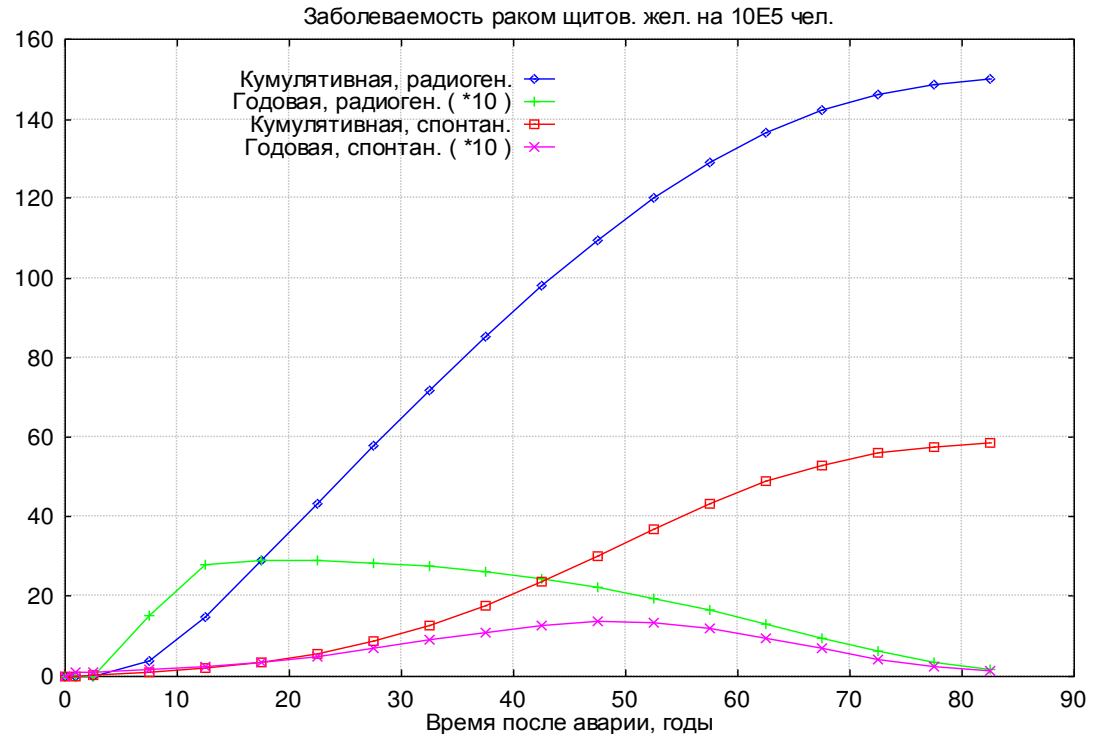


б)

Рисунок 7.5 - Ежегодная смертность (на 100000 человек в момент аварии) от радиогенных вследствие Чернобыльской аварии и для сравнения спонтанных раков как функция времени после аварии (расчет по БАРД, ***а)*** - для возраста 0 - 25 лет и ***б)*** - больше 25 лет на момент аварии и по описанным в тексте дозовым нагрузкам). Среднеквадратичное отклонение для спонтанных раков не превышает 1 %, для радиогенных равно примерно 20 %.



а)



б)

Рисунок 7.6 - Ежегодная (∗10) и кумулятивная заболеваемость (на 100000 человек в момент аварии) спонтанным и радиогенным раком щитовидной железы вследствие Чернобыльской аварии как функция времени после аварии (расчет по БАРД для сельского населения Брянской области на территории с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, возраст 0 - 25 лет на момент аварии; *а*) – женщины, *б*) - мужчины). Среднеквадратичное отклонение для спонтанных раков не превышает 1 %, для радиогенных равно примерно 25 %.

Все расчеты в работе [85] сделаны с использованием модели радиационного риска BEIR V для сельского населения Брянской области.

Результаты. Расчеты риска в работе [85] выполнены как с учетом, так и без учета контрмер. Некоторые результаты расчетов риска представлены на рисунках 7.5 и 7.6. Для сравнения приведены значения показателей риска спонтанных злокачественных новообразований, также рассчитанные с помощью БАРД.

Обсуждение результатов оценки риска для населения пострадавших территорий. Как хорошо известно, имеется довольно сильная зависимость индивидуального радиогенного риска (пожизненного риска *R*) от возраста облучения: он относительно велик для детского и юношеского возрастов (0 - 25 лет) и быстро уменьшается в сторону старших возрастов. В связи с этим для большинства видов рака имеет смысл говорить о критической возрастной группе 0-25 лет. Большинство расчетов делается именно для этой группы.

Разные виды радиогенного рака имеют существенно различный временно̇й спектр реализации: максимумы ежегодной дополнительной смертности от радиогенного рака - расположены при значениях времени после аварии от 10 - 15 лет для лейкозов и до 50 - 60 лет для со̇лидных раков. Бо̇льшая часть радиогенных раков, обусловленных аварийными радиоактивными выбросами, реализуется в очень отдаленном будущем - десятки лет спустя. Прогнозируемая смертность от радиогенного рака почти для всех его видов относительно мала в сравнении со смертностью от спонтанного рака в любое время после аварии даже без учета контрмер.

Из рисунка 7.5, б видно, что радиогенный риск для взрослого населения незначителен по сравнению с риском смерти от спонтанных раков даже в случае высоких уровней загрязнения и отсутствия контрмер.

Такое соотношение между радиогенным и спонтанным раком сохраняется для большинства солидных раков. Другая ситуация для лейкозов и рака щитовидной железы. Для них характерен относительно низкий спонтанный уровень и большие коэффициенты относительного риска. С начала 90-х годов проводились серия национальных и международных исследований по проблеме рака щитовидной железы, обусловленного Чернобыльской аварией. Много десятков случаев этого рака у детей и юношей (возраст на момент аварии) уже обнаружено к концу 1998 г. в Брянской области и на прилегающих территориях, пострадавших от Чернобыльской аварии [92-96]. Это намного больше числа случаев спонтанного рака щитовидной железы, которые могли бы быть обнаружены у той же когорты и в тот же период времени.

Пример вычислительного эксперимента - оценки риска заболевания радиогенным раком щитовидной железы приведен на рисунке 7.6.

Что же касается лейкозов, то не было обнаружено статистически достоверных дополнительных случаев радиогенных лейкозов [95,97].

По результатам оценки риска можно сделать заключение, что, за исключением заболеваний щитовидной железы, радиоактивное загрязнение навряд ли приведет к распознаваемым стохастическим последствиям радиоактивного загрязнения среди обычного населения. Аналогичный вывод можно найти в докладе [97], см. также и имеющиеся там ссылки.

Следует отметить, что помимо рассмотренных выше радиологических последствий аварии серьезного внимания заслуживают социально-психологические последствия, проявляющиеся в конечном счете в разного рода соматических заболеваниях населения на пострадавших территориях. Они не рассматриваются в диссертации, об этих эффектах см., например, в публикации [98].

7.2 Оценка и сравнение риска от разных источников опасности

7.2.1 Демонстрационные примеры расчета показателей риска для его «фоновых» источников

Результаты некоторых демонстрационных расчетов приведены выше, см. гл. 2, таблицы 2.1, 2.2. Ниже в таблицах 7.4, 7.5 и на рисунке 7.7 приведены дополнительные демонстрационные примеры расчета показателей риска для фоновых причин смерти (факторов риска). В этих дополнительных расчетах в качестве исходных величин взяты МДД для мужского населения России в 2001 г. (данные Росстата [33]). Оценка неопределенности проведена согласно формулам раздела 2.7 главы 2.

Таблица 7.4 - Пожизненный риск смерти R (от рождения) от основных классов причин смерти и его среднеквадратичное отклонение σ. Расчет по БАРД, мужское население РФ 2001 г., входные данные Росстата [33].

№ п/п	Основные классы причин смерти	Коды классификации ВОЗ	R	σ
1	Инфекционные и паразитарные болезни	A00-B99	0,02	0,0003
2	Злокачественные новообразования	C00-D48	0,13	0,0007
3	Болезни системы кровообращения	I00-I99	0,48	0,0014
4	Болезни органов дыхания	J00-J99	0,06	0,0005
5	Болезни органов пищеварения	K00-K93	0,03	0,0003
6	Внешние причины смерти	V01-Y98	0,21	0,0008
7	Другие заболевания		0,08	0,0006
8	Все причины смерти		1,0	

Таблица 7.5 - Ущерб в потерянных годах жизни *G* и *g* от действия основных классов причин смерти на протяжении всей жизни, а также средний возраст смерти $a_{см.}$ от указанной ее причины. Расчет по БАРД, мужское население РФ 2001 г., входные данные Росстата [33].

№ п/п	Основные классы причин смерти	Коды классификации ВОЗ	*G*, год	*g*, год	$a_{см.}$, год
1	Инфекционные и паразитарные болезни	A00-B99	0,56	24,0	44,2
2	Злокачественные новообразования	C00-D48	1,80	13,6	64,0
3	Болезни системы кровообращения	I00-I99	9,64	19,9	68,0
4	Болезни органов дыхания	J00-J99	0,89	15,7	59,9
5	Болезни органов пищеварения	K00-K93	0,55	16,8	56,3
6	Внешние причины смерти	V01-Y98	5,57	27,0	43,0
7	Другие заболевания		1,95	25,5	46,9

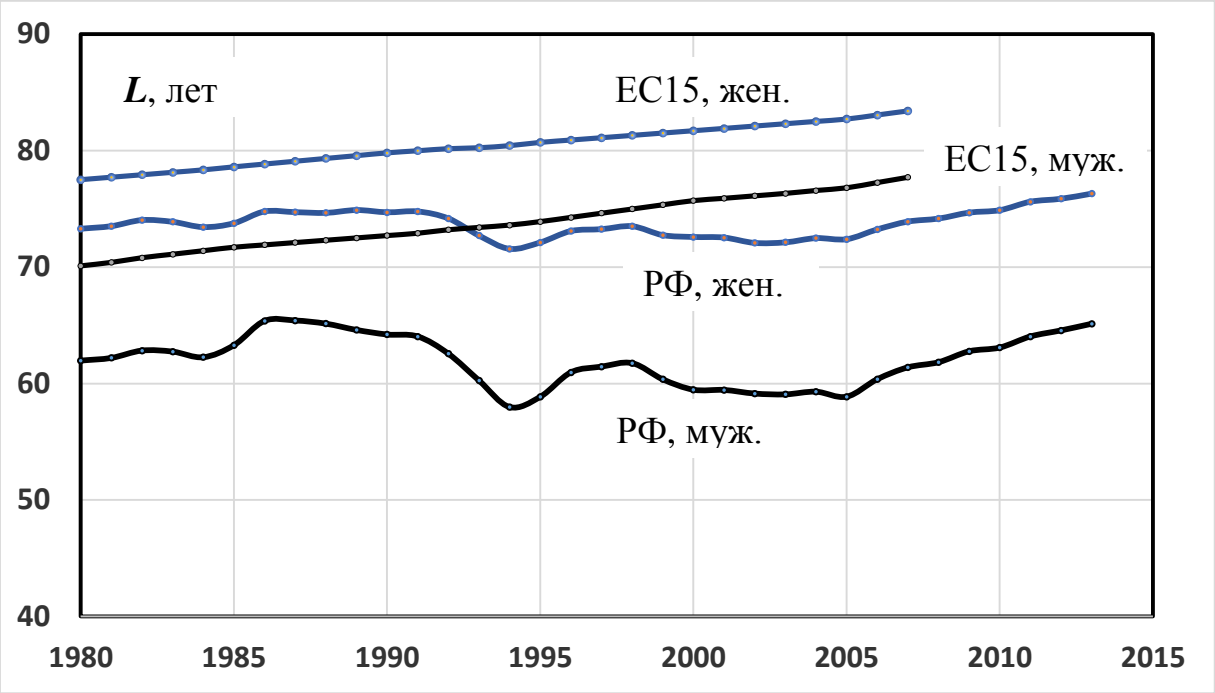


Рисунок 7.7 - Ожидаемая продолжительность жизни от рождения стран ЕС15 (ЕС до 2004 г.) и РФ в разные календарные годы. Расчет по БАРД, входные данные Росстата [33].

7.2.2 Сравнение рисков

Из определения показателя риска $\mathcal{R}$ (приведенного годового ущерба) нетрудно видеть, что именно этот показатель наиболее пригоден для сравнения индивидуальных рисков от разных источников вреда. Поясним это на конкретном примере.

Известно, что риск смерти от удара молнии и транспортных аварий на дорогах в России равен в среднем соответственно 10^{-7}/год и $2\cdot10^{-4}$/год. Годовая эффективная доза за границей санитарно-защитной зоны (СЗЗ) не превышает 0,01 мЗв/год (она намного меньше установленного основного дозового предела 1 мЗв/год). Тогда риск от этих источников вреда в терминах показателя риска $\mathcal{R}$ будет равен

$$\mathcal{R} = \begin{cases} 3.5\cdot10^{-6} \text{ - удар молнии,} & (7.1) \\ 7\cdot10^{-3} \text{ - транспортные аварии на дорогах,} & (7.2) \\ \leq 10^{-5} \text{ - проживание на границе СЗЗ АЭС.} & (7.3) \end{cases}$$

В этой сравнительной оценке использованы следующие средние значения удельного ущерба: g_r = 35 потерянных лет жизни на один случай немедленной смерти, коэффициент риска эффективной дозы g_E = 1 – 1,3 год (потерянный год жизни)/ Зв .

Для первых двух источников опасности для оценки риска от данного годового воздействия можно использовать годовой риск смерти и сравнивать их между собой. Однако для воздействия радиоактивных выбросов АЭС в данном году бессмысленно использовать показатель риска смерти в этом году: этот риск (риск смерти от радиогенного канцерогенеза) растягивается на десятки лет после данного года. То же самое имеет место и для химического канцерогенеза.

Таким образом, как определение показателя риска $\mathcal{R}$, так и приведенный выше пример сравнения рисков показывает, что обоснованное сравнение риска от его источников разной природы может быть осуществлено только с помощью показателя риска $\mathcal{R}$ - приведенного годового ущерба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты:

1. Разработана общая универсальная методика оценки риска как база развития частных и упрощенных методик оценки риска (от воздействия ионизирующего излучения, химических вредных веществ, социальных факторов и др.); в ней помимо известных показателей риска предложен новый, дополнительный набор показателей риска: специальный показатель риска для нормирования и сравнения риска и стандартизованные показатели риска.
2. На основе общей методики разработана специальная, частная и упрощенная версия методики - методика оценки радиационного риска от любого вида и сценария облучения (разового, хронического или растянутого во времени, смешанного и т.п.).
3. Показаны недостатки современных стандартов возрастного распределения населения в их применении к оценке и сравнения риска, разработана новая концепция стандартизации рисковых показателей.
4. Выполнены оценка и анализ эффектов конкуренции рисков, продемонстрировано их влияние на принятие решений по безопасности населения и необходимость учета этого влияния в оценке, анализе и управлении риском.
5. Разработаны концептуальные основы принятия решений по безопасности человека на основе оценки и анализа риска. На этих основах предложена структура установления норм безопасности для персонала и населения. В рамках этой структуры предложены единые универсальные и на их базе основные отраслевые НБ и другие уровни принятия решений по безопасности для регулируемых источников опасности в нормальных и нештатных условиях.

6. Разработаны концептуальные основы принятия решений по медицинской и социальной защите населения на основе оценки и анализа риска на территориях, пострадавших от радиоактивного загрязнения в чрезвычайной ситуации.
7. Впервые в необходимых деталях и показателях получены оценки риска здоровью населения на территориях России, пострадавших от ядерных испытаний и Чернобыльской аварии для поддержки принятия решений по защитным и восстановительным мерам. Результаты оценки риска от ядерных испытаний нашли практическое применение при разработке планов практических действий по социальной и медицинской защите населения на пострадавших территориях.
8. Обоснован и продемонстрирован способ сравнения рисков разной природы с использованием предложенного соискателем специального показателя риска.
9. Разработан комплексный подход к регулированию безопасности в случае действия двух или более источников риска на основе оценки и анализа риска.

Разработанная общая методика оценки и способ формирования частных методик могут быть применены и рекомендованы

- к оценке и анализу риска от таких источников риска как
  - ✓ внешние причины опасности (аварии и несчастные случаи в разных областях деятельности человека, пожары, убийства/самоубийства и др.),
  - ✓ воздействие вредных химических веществ, микро- и нано-биообъектов в нормальных и нештатных условиях;
- к формированию групп повышенного риска с оценкой и анализом риска и принятию решений по страхованию жизни и здоровья профессиональных работников и населения, оказавшегося в нештатных ситуациях.

Разработанные концептуальные основы принятия решений по безопасности человека на основе оценки и анализа риска, структура

установления НБ для персонала и населения с единими универсальными и основными отраслевыми НБ и другими уровнями принятия решений по безопасности для регулируемых источников риска в нормальных и нештатных условиях могут быть использованы при совершенствовании регулирующих документов по обеспечению безопасности персонала опасных производств, опасных видов деятельности и населения в зонах действия источников опасности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение	Определение
БСК	Болезни системы кровообращения
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ВПО	Вероятность причинной обусловленности
ВПС	Внешние причины смерти
ВХВ	Вредные химические вещества
ДИ	Доверительный интервал
ЗДЭ	Зависимость доза-эффект
ЗН	Злокачественные новообразования
EPA	Environment protection agency (Агентство по защите окружающей среды)
ИИ	Ионизирующее излучение
ИП	Интегрированный показатель
МДД	Медико-демографические данные
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
НКДАР	Научный комитет по действию атомной радиации
НКРЗ	Национальная комиссия по радиационной защите
СЗЗ	Санитарно-защитная зона
СИП	Семипалатинский испытательный полигон
СПС	Стандартизованный показатель смертности
УМ	Упрощенная методика
ФЦП	Федеральная целевая программа
ЭИ	Эпидемиологическое исследование

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность и предупреждение чрезвычайных ситуаций. Каталог-справочник. Институт риска и безопасности. - М. - 1998. - 286 с.
2. Рахманин, Ю.А. Общий подход к оценке, сравнению и нормированию риска здоровью человека от разных источников вреда / Рахманин Ю.А., Демин В.Ф., Иванов С.И. // Вестник РАМН. - 2006. - № 4. - С. 5 - 8.
3. EPA Risk Assessment. Basic Information [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://epa.gov/riskassessment/basicinformation.htm#risk.
4. ГОСТ Р 51898-2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты. - М.: ИПК Издательство стандартов. - 2002. - 8 с.
5. Орлов, А. И. Подходы к общей теории риска / Орлов А. И., Пугач О. В. // В кн.: Управление большими системами. М. - ИПУ РАН. – 2012. - Вып. 40. - С. 49 - 82.
6. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) от 2007 года. Публикация 103 МКРЗ. Пер. с англ. под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К.Шандалы. - М.: Изд. ООО ПКФ «Алана». - 2009. - 344 с.
7. Постановление «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации», № 25, 10.11.97, Минздрав РФ. - 1997.
8. Демин, В.Ф. Методика оценки риска от воздействия радона на здоровье человека / Демин В.Ф., Жуковский М.В., Киселев С.М. // Гигиена и санитария. - 2014. - № 5. - С. 64 - 69.
9. Lung cancer risks from plutonium: an updated analysis of data from the Mayak worker cohort / Gilbert, E.S., M.E. Sokolnikov, D.L. Preston, S.J. Schonfeld, A.E.Shadilov, E.K.Vasilenko and N.A.Kashurnikova // Radiat Res. - 2013. - **179**. - No. 3. - P. 332 - 342.

10. Ядерное испытание 29 августа 1949 г. Радиационное воздействие на население Алтайского края: монография / Шойхет Я.Н., Киселев В.И., Лоборев В.М., Судаков В.В., Алгазин А.И., Демин В.Ф., Лагутин А.А. - НИИРМЭП, Барнаул. - 1997. - 250 с.
11. Демин, В.Ф. Научно-методические аспекты оценки риска / Демин В.Ф. // Атомная энергия. - 1999. - т. 86. - вып. 1. - С. 46 - 63.
12. Демин, В.Ф. Развитие общих методических основ оценки риска воздействия разных вредных факторов на здоровье населения / Демин В.Ф., Иванов С.И. - В сб. «Материалы Пленума Научного Совета по экологии человека и гигиене окружающей среды РАМН и Минсоцразвития РФ «Современные проблемы гигиены города, методология и пути решения»», 21-22 декабря 2006 г. - С. 92 - 93.
13. Demin, V.F. Common approach to comparison and standardization of health risk from different sources of harm / V.F.Demin // Int. J. Low Radiation. - 2006. - V. 2, # ¾. - P. 172 - 178.
14. Demin, V.F. Complex health risk assessment and analysis from exposure to ionizing radiation, chemical contaminants and other sources of harm / V.F.Demin - In book “Environmental Security in Harbors and Coastal Areas”, Eds Linkov, I. - 2007. - Springer. - P. 317 - 327.
15. Демин, В.Ф. Общая методика оценки риска воздействия на здоровье населения разных источников опасности / Демин В.Ф., Иванов С.И., Новиков С.М. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2009.- т. 54. - № 1. - С. 5 - 15.
16. Демин, В.Ф. Научно-методические аспекты оценки риска воздействия наноматериалов/наночастиц на окружающую среду и здоровье человека / Демин В.Ф., Кашкаров П.К. - В трудах Международной конференции «Токсикологические и нормативные аспекты производства и применения наноматериалов в России», 15, 16 сентября 2009 г., Москва, Россия. - НИИ гигиены, токсикологии и профпаталогии ФМБА. - 2009. - С. 53,54.

17. Демин, В.Ф. Риск воздействия ионизирующего излучения и других вредных факторов на здоровье человека: методы оценки и практическое применение / Демин В.Ф., Захарченко И.Е. // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2012. - т. 52. - № 1. - С. 77 - 89.
18. Демин, В.Ф. О линейной зависимости доза - эффект для радиационного и химического канцерогенеза /Демин В.Ф. // Гигиена и Санитария. - 2003. - № 6. - С. 37 - 39.
19. Губин, А.Т. К вопросу об обоснованности общепринятой методологии оценки радиационного риска / Губин А.Т. // Атомная энергия. - 1993. - т. 74. - вып. 1. - С. 63 - 70.
20. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Шашина Т.А. - Монография, под. ред. Рахманина Ю.А., Онищенко Г.Г. - М.: НИИ ЭЧ и ГОС. - 2002. - 408 с.
21. Демин, В.Ф. Анализ риска в решении вопросов радиационной, медицинской, социальной защиты персонала опасных производств и населения, проживающего в зоне их влияния / Демин В.Ф., Семенов В.Г. - В сб. Радиационная медицина, т. 1. Теоретические основы радиационной медицины. - М.: - ГНЦ «Институт биофизики». - 2004. - С. 952 - 989.
22. Vasil'ev, A.P. Health, environmental risks and externalities of nuclear and other energy systems of Russia/ Vasil'ev A.P., Demin V.F. - In the proceed. of intern. conference «PSAM 5 – Probabilistic Safety Assessment and Management", 27.11 - 1.12.00, Osaka, Japan, ed. by S.Kondo and K.Funita, Universal Academy Press, Tokyo, Japan. - 2000. - V. 1. - P. 281 - 287.
23. Demin, V.F. Health risk assessment and management: some directions of R & D and practical use in Russia - in [22]. - V. 1.- P. 189 - 194.
24. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Федеральная

служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека. - Р 2.1.10.1920-04. - Москва. - 2004. - 216 с.

25. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2006 Report. - Volume I, Annex A, – NY: United Nations. - 2008. - 322 p.
26. Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985 NIH Radioepidemiological Tables. US department of health and human services. - 2003. - 118 p.
27. Демин, В.Ф. Банк данных по анализу риска (БАРД) / Демин В.Ф. // Вестник научной программы «Семипалатинский полигон/ Алтай», Барнаул, НИИРМЭП.- 1997.- С. 101 – 108. - // Радиация и риск, Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра. – 1996. - выпуск 8. - Москва-Обнинск. - С. 85 - 92.
28. Быков, А.А. К проблеме оценки социально-экономического ущерба с использованием показателя цены риска / Быков А.А., Фалеев М.И. // Проблемы анализа риска. - 2005. - т. 2. - № 2. - С. 114 - 131.
29. Экономические параметры оценки риска для расчета ущерба, обусловленного воздействием на здоровье населения разных факторов вреда / Абалкина И.Л., Демин В.Ф., Иванов С.И., Новиков С.М., Порфирьев Б.Н. // Проблемы анализа риска. - 2005. - Т. 2. - № 2. - С. 132 - 138.
30. Демографический ежегодник России. Госкомстат России / М. - 2014. - 557 С.
31. Статистические данные Росстата [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.gks.ru/.
32. Статистические данные ВОЗ [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/en/index.html.
33. Статистические данные ЕС [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://ec.europa.eu.eurostat/.
34. Злокачественные новообразования в России. Обзор статистической информации за 1993-2013 гг. / Г.В. Петрова, А.Д. Каприн, О.П. Грецова,

Старинский, В.В. Под общей редакцией чл.-корр. РАН, проф.А.Д. Каприна, проф. В.В. Старинского. - М.: МНИОИ им. П.А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2015. - 511 с. ISBN 978-5-85502-215-5.

35. Состояние онкологической помощи населению России в 2014 году. Под редакцией А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. - М.: МНИОИ им. П.А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2015. - 236 с., ISBN 978-5-85502-210-0.
36. Легасов, В.А. Безопасность как экономический фактор. Цена риска / Легасов В.А., Демин В.Ф., Шевелев Я.В. // Проблемы анализа риска. - 2005. - Т. 2. - № 2. - С. 185 - 189.
37. Легасов, В.А. Дисконтирование и компромисс между поколениями / Легасов В.А., Демин В.Ф., Шевелев Я.В. // Проблемы анализа риска. - 2005. - т. 2. - № 2. - С. 141 - 146.
38. Murray, C.J.L. Weighted estimation of morbidity: a conceptual basis for the method of assessment of DALY (disability-adjusted life years). - Harvard Center for Population and Development Studies, Cambridge, USA. - 1995.
39. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2012 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Scientific Annex B. Uncertainties in risk estimates for radiation-induced cancer.- NY: United Nations.- 2014.- 212 P.
40. Uncertainties in fatal cancer risk estimates used in radiation protection. NCRP report # 126. - Bathesda. - 1997.
41. Workshop proceedings // Risk Analysis. - 1994. - V. 14. - # 5.
42. Health effects of exposure to low levels of ionising radiation (BEIR V) - National Academy Press. - Washington, D.C. - 1990. - 305 p.
43. Health effects of Exposure to Radon (BEIR VI) - National Academy Press. - Washington DC. - 1999. - 116 p.
44. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes - June 2003. - EPA, Washington DC, 20460. - 88 p.

45. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIRVII) - National Academy Press. - Washington DC. - 2005. - 710 p.
46. EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population. April 2011, U.S. EPA, Washington DC. - 2011. - 164 p.
47. Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985 NIH Radioepidemiological Tables - US department of health and human services. - 2003. - 118 p.
48. Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946–1998 / B Grosche, M Kreuzer, M Kreisheimer, M Schnelzer, A Tschense // British Journal of Cancer.- 2006. - V. 95. - P. 1280 - 1287.
49. WHO handbook on indoor radon.- WHO. - 2009. - 94 p.
50. Демин, В.Ф. Риск от воздействия радона на здоровье человека: методы оценки и практическое применение / Демин В.Ф., Жуковский М.В., Киселев С.М. // Атомная энергия. – 2015. - Т. 118. - вып.1. - С. 42 - 46.
51. Котеров, А.Н. Биологические и медицинские эффекты излучения с низкой ЛПЭ для различных диапазонов доз / А.Н.Котеров, А.А.Вайнсон // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2015. - Т. 60. - № 3. - С. 5 - 31.
52. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly. - UN, New York. - 1988. - 49 p.
53. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 report to the General Assembly. V. 1, 2. - UN, New York. - 2000. - 1212 p.
54. Биологические и эпидемиологические эффекты облучения в малых дозах и с низкой мощностью дозы. Сборник рефератов. - М. - 2003. - 458 с.
55. Демин, В.Ф. Линейная зависимость доза - эффект для радиационного и химического канцерогенного риска / Демин В.Ф. // Атомная энергия. - 2002. - Т. 93. - Вып. 4. - С. 309 - 315.

56. Демин В.Ф. О минимальном латентном периоде индукции радиогенных раков / Демин В.Ф. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2010. - Т. 55. - № 1. - С. 63 - 65.
57. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009). - СанПиН 2.6.1.2523 – 09. - 2009. - 225 с.
58. Рембовский, В.Р. Анализ риска в системе мониторинга воздействия химического фактора / В.Р.Рембовский, Л.А.Могиленкова, Е.В.Олейникова // ЭЛБИ-СПб. - 2014. - 303 с.
59. Externalities of Fuel Cycles: "ExternE Project". - V. 2. Methodology.-European Commission, DG XII. - 1998. - 399 p.
60. EU-CIS Joint Study Project 2, Report “Intervention Criteria in CIS, Risk Assessments and Non-Radiological Factors in Decision-Making” / Per Hedemann-Jensen, Vladimir F.Demin, Yuri O.Konstantinov, Ilja A. Likhtariov, Igor V.Rolevich, Thierry Schneider - Ris Ø-R-831(EN). - May 1996. - RISØ, Roskilde, Denmark. - 72 p.
61. Демин, В.Ф. Эффекты и парадоксы конкуренции рисков / В.Ф.Демин, И.Е.Захарченко // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2011. - Т. 56. - № 6. - С. 5 - 14.
62. Nanomaterials – Toxicity, Health and Environmental Issues. Book, ed. by C.S.S.R.Kumar. - WILEY-VCH. - 2006. - 333 p.
63. Handbook of Safety Assessment of Nanomaterials. Ed. By Bengt Fadeel. 2014. - Pan Standford Publishing. - 532 p.
64. C. Arden Pope III. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution / C. Arden Pope III, Richard T. Burnett, Michael J. Thun // JAMA.- March 6, 2002. - V. 287, i9. - P. 1132(10).
65. Методы и технологии анализа риска здоровью в системе государственного управления при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения / Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Май И.В., Шур П.З. // Гигиена и санитария. - 2015. - № 2. - С. 93 - 98.

66. Age standardization of rates: a new WHO standard / Omar B. Ahmad, Cynthia Boschi-Pinto, Alan D. Lopez, Christipher JL Murray, Rafael Losano, Mie Inoue - GPE Discussion Paper Series: No. 31. - WHO. - 2001. - 14 p.
67. Борисов, В.А. Демография. - М.: Издательский дом NOTABENE. - 1999. - 2001. - 272 с.
68. Статистические данные ВОЗ [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.who.int/whosis.
69. Демин, В.Ф. Разработка национальных и международных стандартов возрастного распределения населения для медицинской статистики, медико-демографического анализа и оценки риска / Демин В.Ф., Пальцев М.А., Чабан Е.А. // Гигиена и санитария. - 2013. - № 6. - С. 14 - 21.
70. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. - МАГАТЭ. - 2011. - 308 с.
71. Трбоевич, В.М. Критерии риска в странах ЕС / Трбоевич В.М. // Проблемы анализа риска. 2004. - Т. 1. - № 2. - С. 106 - 115.
72. Решение коллегии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 5 февраля 2010 года «О внедрении методологии оценки риска для здоровья населения и задачи по её совершенствованию».
73. Роспотребнадзор. О создании межведомственной рабочей группы по гармонизации гигиенических нормативов. - Приказ № 86 от 10.03.2010.
74. Securing the Promise of Nanotechnologies Towards Transatlantic Regulatory Cooperation/ L. Breggin, R. Falkner, N. Jaspers, J. Pendergrass, R.Porter - Report on the international conference “Nanotech Europe 2009”, 28-30 September 2009, Berlin, Germany. - 101 p.
75. Нормирование и сравнение риска здоровью человека от разных источников вреда / Демин В.Ф., Голиков В.Я., Иванов Е.В., Иванов С.И., Ильин Л.А., Новиков С.М. // Атомная энергия. - 2001. - Т. 90. - вып. 5. - С. 385 - 397.

76. Показатель ущерба для нормирования и сравнения риска / Демин В.Ф., Голиков В.Я., Иванов Е.В., Иванов С.И., Ильин Л.А., Новиков С.М. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2001. - т. 46. - № 5. - С. 5 - 15.
77. Демин, В.Ф. Нормирование и сравнение риска разной природы (ионизирующая радиация, химическое загрязнение, аварии, несчастные случаи и др. / Демин В.Ф., Новиков С.М. - В сб. «Оценка риска влияния факторов окружающей среды на здоровье: проблемы и пути их решения», материалы Пленума Межведомственного Научного Совета РФ по экологии человека и гигиене окружающей среды, 20 – 21 декабря 2001 г., Москва. - РАМН, МЗ РФ. - С. 51.
78. Нормирование различных видов риска / Демин В.Ф., Голиков В.Я., Иванов Е.В., Иванов С.И., Ильин Л.А., Новиков С.М. // Гигиена и Санитария. - 2002. - № 6. - С. 30 - 35.
79. Демин, В.Ф. Гармонизированный подход к регулированию безопасности в нанотехнологии и других областях деятельности человека / В.Ф. Демин, И.Е. Захарченко. - В трудах международной научно-технической конференции «Нанотехнологии функциональных материалов», 27-29 июня 2012 г. С.-Петербург. С.-П. - Изд-во Политехнического университета. - 2012. - С. 693 - 698.
80. Демин, В.Ф. Риск воздействия нано-, нанобио-материалов на здоровье человека: методы оценки и практическое применение / В.Ф.Демин, Н.Н.Белушкина, М.А.Пальцев // Молекулярная медицина. – 2012. - № 4. - С. 7 - 17.
81. Демин, В.Ф. Гармонизированный подход к регулированию безопасности в разных областях деятельности человека / Демин В.Ф., Романов В.В., Соловьев В.Ю. // Мед. радиол. и радиац. безопасность. – 2012. - Т. 57. - № 5. - С. 20 - 30.

82. Демин, В.Ф. Концепция гармонизации норм безопасности в разных областях деятельности человека / Демин В.Ф., Кураченко И.А., Соловьев В.Ю. // Анализ риска здоровью. - 2013. - № 3. - С. 18 - 26.
83. Хрупачев, А.Г. Профессиональный риск. Теория и практика расчета / А.Г.Хрупачев, А.А.Хадарцев – Тула:. - Изд-во ТулГУ. - 2011. - 329 с.
84. Radiation impact of nuclear weapon tests at the Semipalatinsk test on the population of the Altai region / Algasin A.I., Demin V.F., Gordeev K.I., Loborev V.M., Kiselev V.I., Shoikhet Ya.N. // In the proceed. of the IAEA symposium on environmental impact of radioactive releases, Vienna, Austria, 8-12 May 1995. - IAEA-SM-339/82. - P. 435 - 447.
85. Demin, V.F. Assessment of health risk from Chernobyl accident for population of Briansk region / Demin V.F. // Radiation protection & Dosimetry. -1996. - V. 64. - № 1/2. - P. 109 - 112.
86. Демин, В.Ф. Об использовании анализа риска для оценки вреда здоровью персонала и населения и принятия решения по страхованию и компенсации ущерба / Демин В.Ф. - В сб. «Семинар по практике страхования ядерного и радиационного рисков». - 2001. - М. - Госатомнадзор РФ. - С. 11 - 19.
87. Аспекты страхования гражданской ответственности за ядерные риски от атомных станций малой мощности / Кузнецов В.П., Демин В.Ф., Макаров В.И., Молчанов А.С., Созонюк В.А., Шмелев В.М. // Известия Академии Наук. Энергетика. – 2014. - № 2. - С. 88 - 95.
88. Иванов, В.К. Ликвидаторы Чернобыльской катастрофы: радиационно-эпидемиологический анализ медицинских последствий / В.К.Иванов, А.Ф.Цыб, С.И.Иванов. - М.: Галанис. - 1999. - 312 с.
89. Сравнительный анализ риска при радиационно-эпидемиологическом исследовании лиц, пострадавших при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС с использованием различных видов облучения / А.Р.Туков, А.П.Бирюков, И.Л.Шафранский, А.А.Фомин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2015. - т. 60. - № 6. - С. 27 - 33.

90. Беляев, С.Т. Чернобыльская авария: критический анализ последствий и проведенных защитных мероприятий / Беляев С.Т., Демин В.Ф., Осмачкин В.С. // Атомная энергия. - 1997. - Т. 83. - вып. 6. - С. 393 - 401.
91. Международный Чернобыльский проект. Оценка радиологических последствий и защитных мер. - ИЗДАТ. - М. - 1991. - 95 с.
92. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2008 Report, Volume II, Annex D. – NY: United Nations. - 2011. - 176 p.
93. Дозы облучения щитовидной железы населения России в результате аварии на ЧАЭС (ретроспективный анализ) / В.Ф.Степаненко, А.Ф.Цыб, Ю.И.Гаврилин, В.Т.Хрущ, С.М.Шинкарев // Радиация и риск. - 1996. - Вып. 7. - С. 225 - 245.
94. Иванов, В.К. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: оценка радиационных рисков / В.К.Иванов, А.Ф.Цыб. - М.: Медицина. - 2000. - 392 с.
95. Characteristics of the Development of the Radiological Situation Resulting from the Accident, Intervention Levels and Countermeasures / S.T.Belyaev, V.F.Demin, V.A.Kutkov, V.G.Bariakhtar, P.Petriaev - In procced. of the First International Conference of the EC, Belarus, Russia and Ukraine on the Radiological consequences of the Chernobyl accident (EC Publ. n. EUR 16544EN: Proc. Int. Conf., Minsk, 1996, Eds. A. Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly, H.G. Menzel). - EC, Brussels – Luxembourg. - 1996. - P. 19 - 28.
96. Бюллетень национального эпидемиологического регистра // "Радиация и риск". - 1996. - вып. 7. - С. 39 - 245.
97. ЧЕРНОБЫЛЬ. Десять лет спустя. Радиоактивное воздействие и последствия для здоровья населения. Оценочный доклад Комитета по радиационной защите и здравоохранению Агентства по ядерной энергии. Ноябрь 1995. - Агентство по ядерной энергии организация экономического сотрудничества

и развития, ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА И РАЗВИТИЯ. - I8BN 5-7602-0018-6 OECD.- 1996. - 207 с.

98. Румянцева, Г.М. Радиационные инциденты и психическое здоровье населения / Румянцева Г.М., Чинкина О.В., Бежина Л.Н. - М.: ФГУ «ГНЦССП». - 2009. - 288 с.
99. Демографические данные [Электронный ресурс] - режим доступа: http://demoscope.ru.

Приложение А

Вывод ряда математических формул главы 2

Доказательство равенства двух выражений в формуле (2.5) главы 2

Перепишем первое выражение, используя формулу (2.3):

$$\int_0^\infty a\cdot r(a)da \quad = \quad \int_0^\infty a\cdot S(a)\cdot\mu(a)da. \tag{A1}$$

Возьмем последний интеграл по частям:

$$\int_0^\infty UdV \quad = (U\cdot V)\Big|_0^\infty - \int_0^\infty VdU, \tag{A2}$$

где

$$U = a,\ dV \ = S(a)\cdot\mu(a)da = \ exp[-\int_0^a \ \mu(a')da']\cdot\mu(a)da = \tag{A3}$$

$$= \ exp(-M)dM,\ M(a)= \ [-\int_0^a \ \mu(a')da'].$$

Отсюда

$$dU = da;\ V \ = \ - exp(-M) = - exp[-\int_0^a \ \mu(a')da'] = - S(a). \tag{A4}$$

Легко видеть, что первое выражение справа от знака равенства в формуле (А2) равно нулю. Подставляя в (А2) выражения для dU и V из формул (А4), получаем второе выражение в формуле (2.5).

Вывод формулы (2.17) главы 2

Исходим из формулы (2.16)

$$G_i(e) = \int_e^\infty (S^{(i)}(e,a) - S(e,a))da. \tag{A5}$$

Перепишем ее следующим образом:

$$G_i(e) = \int_e^\infty S^{(i)}(e,a)\cdot[1 - exp(-\int_e^a \ \mu_i(a')da')]da. \tag{A6}$$

Проинтегрируем выражение (А6) по частям, согласно формуле (А2), в которой U и V определены как

$$U=U(a) = 1 - exp(-\int_e^a \ \mu_i(a')da');\qquad dV = dV(a) = S^{(i)}(e,a)da. \tag{A7}$$

$$dU=dU(a) = exp[-\int_e^a \ \mu_i(a')da']\cdot\mu_i(a)da\ ;\ V = V(a) = -\int_a^\infty \ S^{(i)}(e,a')da'. \tag{A8}$$

Первый член справа в формуле (А2) равен нулю: при $a = e$ равен нулю множитель U, а при $a = \infty$ равен нулю множитель V. Подставляя выражения (А8) в формулу (А2) и используя равенства

$$S^{(i)}(e,a') = S^{(i)}(e,a)\cdot S^{(i)}(a,a'), \quad S(e,a) = S^{(i)}(e,a)\cdot exp[-\int_e^a \mu_i(a')da'],$$

получаем другое выражение для $G_i(e)$:

$$G_i(e) = \int_e^\infty L^{(i)}(a)\cdot S(e,a)\cdot\mu_i(a)da = \int_e^\infty L^{(i)}(a)\cdot r_i(a)da, \qquad (A9)$$

где $L^{(i)}(a)$ – ожидаемая продолжительность жизни человека, достигшего возраста a, *в* отсутствие фактора риска i :

$$L^{(i)}(a) = \int_a^\infty S^{(i)}(a,a')da'. \qquad (A10)$$

Вывод формулы (2.19) главы 2

Пусть имеет место протяженное (хроническое) воздействие некоторого i-го источника риска с мощностью «дозы» $d(e)$. Ущерб в потерянных годах жизни $G_i(e)$ вычисляется согласно формуле (2.17) как

$$G_i(e) = \int_e^\infty r_i(e,a,\{d\})L^{(i)}(a)da\ . \qquad (A11)$$

Здесь добавленный в $r_i(\ldots)$ аргумент $\{d\}$ обозначает зависимость риска от «доз» хронического воздействия источника риска i. Интенсивность риска смерти $r_i(\ldots)$ рассчитывается согласно формуле (2.10):

$$r_i\,(e,a,\{d\}) = S(e,a)\cdot\mu_i(e,a,\{d\})\ . \qquad (A12)$$

Здесь в функции $\mu_i(\ldots)$ конкретизируется ее зависимость от начального возраста e и от «доз» хронического воздействия. Пусть для этой функции используется модель аддитивного риска, см. формулу (2.38):

$$\mu_i(e,a,\{d\}) = \int_e^a \beta_i(e',a)d(e')\partial e'. \qquad (A13)$$

Здесь не уточняется источник риска, поэтому для простоты оставлен один индекс i .

Выделим в интеграле по e' некоторый текущий возраст e_m и короткий (годовой) интервал интегрирования $[e_m,\ e_m + \Delta e]$, $\Delta e = 1$ год . Тогда добавка $\Delta\mu_i(e_m,a,\{d\})$ к функции $\mu_i(e,a,\{d\})$ от действия источника риска в выделенном интервале будет равна

$$\Delta\mu_i(e,a,\{d\})=\int_{e1}^{e2} \beta_i(e',a)d(e')\partial e' \cong \beta_i(e_m,a)D(e_m), \qquad (A14)$$

где $e1 \equiv e_m$, $e2 \equiv e_m + \Delta e$,

$$D(e_m) = \int_{e1}^{e2} d(e')\partial e' = d_{cp}(e_m)\cdot\Delta e . \qquad (A15)$$

Добавка $\Delta G_i(e_m)$ к ущербу $G_i(e)$ от действия источника в интервале $[e_m, e_m + \Delta e]$ равна

$$\Delta G_i(e_m) = d_{i,cp}(e_m)\cdot g_{i,D}(e_m)\cdot\Delta e , \qquad (A16)$$

где $g_{i,D}(e_m)$ – ущерб в потерянных годах жизни от единичной дозы, полученной в возрасте e_m :

$$g_{i,D}(e_m) = \int_{e1}^{\infty} S(e_m,a)\cdot\beta_i(e_m,a)\cdot L^{(i)}(a)da , \; e1 \equiv e_m . \qquad (A17)$$

Отметим, что в этой формуле стоит полная функция дожития $S(e_m,a)$. В ней, вообще говоря, учитываются дозы облучения и за пределами указанного годового интервала. Рассматривая в основном относительно малые источники риска, действующие ниже или в районе норм безопасности, можно эту функцию заменить на «фоновую» функцию выживаемости $S_0(e_m,a)$, в которой не учитывается рассматриваемый источник хронического воздействия. Это незначительно изменит результат. В любом случае такая замена приводит к консервативной оценке риска от рассматриваемого его источника. Далее получаем выражение для величины $\mathfrak{R}(e)$, выписанное в главе 2 (формула (2.19))

$$\mathfrak{R}(e) \equiv \mathfrak{R}_i(e) = \Delta G_i(e_m) / \Delta e = d_{i,cp}(e_m)\cdot g_{i,D}(e_m). \qquad (A18)$$

В отличие от этого выражения, в формуле (2.19) опущены индексы i , cp и m.

Если для функции $\mu_i(e,a,\{d\})$ используется мультипликативная зависимость от спонтанной (фоновой) смертности, то получается такая же формула для $\mathfrak{R}(e)$, только в формуле (П17) вместо функции $\beta_i(e_m,a)$ должно стоять произведение (см. формулу (2.37) гл. 2) $\mu_{i,0}(a)\cdot\alpha_i(e_m,a)$, где $\mu_{i,0}(a)$ – повозрастные коэффициенты «фоновой» смертности того же вида, что и смертность от источника риска i. Заметим, что из-за отмеченной выше относительной малости рассматриваемых источников риска в формуле (2.37) экспоненту можно разложить до первых двух членов.

Вывод формулы (2.37) главы 2

Поясним вывод формулы (2.37). Обозначим большой буквой $\mu_{i,j}(e,a,\{d\})$ полное значение ЗДЭ, включающее риск от спонтанного и рассматриваемого источника риска. Рассмотрим некоторое текущее время t ($t = e' - e$) после начала «облучения» (экспозиции) и малый его интервал Δt получения «дозы» мощностью $d(t)$. Полученная малая «доза» за этот интервал времени равна $\Delta D \approx d(t)\cdot \Delta t$ (или $d(e')\cdot \Delta e'$, $\Delta t = \Delta e'$). Приращение риска $\Delta\mu_{i,j}(e,e',a,\{d\})$ за счет этой «дозы» в момент времени t (в возрасте e') будет равно в соответствии с мультипликативным характера зависимости (см. формулу (2.35) главы 2)

$$\Delta\mu_{i,j}(e, e',a,\{d\}) \approx \mu_{i,j}(e, e',a, \{d\})\cdot FR_{i,j}(e',a, \Delta D) \approx$$

$$\approx \mu_{i,j}(e, e',a, \{d\})\cdot \alpha_{i,j}(e',a)\cdot d(e')\cdot \Delta e'.$$

Перепишем эту формулу следующим образом, переходя к бесконечно малым величинам $\Delta \to \partial$, $\Delta e' \to \partial e'$:

$$\partial\mu_{i,j}(e, e',a, \{d\}) / \mu_{i,j}(e,e',a,\{d\}) = \partial \ln(\mu_{i,j}(e, e',a, \{d\}) = \qquad \text{(A19)}$$

$$= \alpha_{i,j}(e',a)\cdot d(e')\cdot \partial e'$$

Интегрируя обе части выражения (A19) по $\partial e'$ в интервале от e до a и избавляясь от логарифма, получим для $\mu_{i,j}(e,a,\{d\})$ формулу (2.37) главы 2, но без вычитания эффекта от спонтанного источника риска.

Приложение Б

Перечень территорий России в соответствии с ее административно-территориальным делением в начале 2012 года и их коды, используемые в описании медико-демографических данных [99]. Этот перечень и коды используются и в комплексе БАРД.

№	Название		Код
1	Российская Федерация	The Russian Federation	1100
2	Центральный федеральный округ	The Central Federal District	3000
3	Белгородская область	Belgorod oblast	1114
4	Брянская область	Bryansk oblast	1115
5	Владимирская область	Vladimir oblast	1117
6	Воронежская область	Voronezh oblast	1120
7	Ивановская область	Ivanovo oblast	1124
8	Калужская область	Kaluga oblast	1129
9	Костромская область	Kostroma oblast	1134
10	Курская область	Kursk oblast	1138
11	Липецкая область	Lipetzk oblast	1142
12	Московская область	Moscow oblast	1146
13	Орловская область	Oryol oblast	1154
14	Рязанская область	Ryazan oblast	1161
15	Смоленская область	Smolensk oblast	1166
16	Тамбовская область	Tambov oblast	1168
17	Тверская область	Tver oblast	1128
18	Тульская область	Tula oblast	1170
19	Ярославская область	Yaroslavl oblast	1178
20	Москва	Moscow	1145
21	Северо-Западный федеральный округ	The North West Federal District	3100
22	Республика Карелия	Republic of Karelia	1186
23	Республика Коми	Republic of Komi	1187
24	Архангельская область	Arkhangelsk oblast	1111
25	Ненецкий автономный округ	Nenets autonomous district	111
26	Вологодская область	Vologda oblast	1119
27	Калининградская область	Kaliningrad oblast	1127

28	Ленинградская область	Leningrad oblast	1141
29	Мурманская область	Murmansk oblast	1147
30	Новгородская область	Novgorod oblast	1149
31	Псковская область	Pskov oblast	1158
32	Санкт-Петербург	Sankt-Petersburg	1140
33	Южный федеральный округ	The South Federal District	3700
34	Республика Адыгея	Republic of Adygeya	1179
35	Республика Калмыкия-Хальмг Тангч	Republic of Kalmykia	1185
36	Краснодарский край	Krasnodar kray	1103
37	Астраханская область	Astrakhan oblast	1112
38	Волгоградская область	Volgograd oblast	1118
39	Ростовская область	Rostov oblast	1160
40	Северо-Кавказский федеральный округ	The North Caucasian Federal District	3800
41	Республика Дагестан	Republic of Dagestan	1182
42	Ингушская республика	Republic of Ingushetia	1126
43	Кабардино-Балкарская Республика	Kabardian-Balkar Republic	1183
44	Карачаево-Черкесская Республика	Karachaev-Chercassian Republic	1191
45	Республика Северная Осетия	Republic of North Ossetia - Alania	1190
46	Чеченская республика	Chechen Republic	1196
47	Ставропольский край	Stavropol kray	1107
48	Приволжский федеральный округ	The Volga Federal District	3300
49	Республика Башкортостан	Republic of Bashkortostan	1180
50	Республика Марий Эл	Republic of Mariy El	1188
51	Республика Мордовия	Republic of Mordovia	1189
52	Республика Татарстан	Republic of Tatarstan	1192
53	Удмуртская Республика	Udmurt Republic	1194
54	Чувашская Республика	Chuvash Republic	1197
55	Пермский край	Perm kray	1157
56	Кировская область	Kirov oblast	1133
57	Нижегородская область	Nizhny Novgorod oblast	1122
58	Оренбургская область	Orenburg oblast	1153
59	Пензенская область	Penza oblast	1156

60	Самарская область	Samara oblast	1136
61	Саратовская область	Saratov oblast	1163
62	Ульяновская область	Ulyanovsk oblast	1173
63	Уральский федеральный округ	The Urals Federal District	3400
64	Курганская область	Kurgan oblast	1137
65	Свердловская область	Sverdlovsk oblast	1165
66	Тюменская область	Tyumen oblast	1171
67	Ханты-Мансийский автономный округ	Khanty-Mansi autonomous area	171
68	Ямало-Ненецкий автономный округ	Yamalo-Nenets autonomous area	271
69	Челябинская область	Chelyabinsk oblast	1175
70	Сибирский федеральный округ	The Siberian Federal District	3500
71	Республика Алтай	Republic of Altai	1184
72	Республика Бурятия	Republic of Buryatia	1181
73	Республика Тыва	Republic of Tuva	1193
74	Республика Хакасия	Republic of Khakasia	1195
75	Алтайский край	Altai kray	1101
76	Забайкальский край	Zabaikalsk kray	1176
77	Красноярский край	Krasnoyarsk kray	1104
78	Иркутская область	Irkutsk oblast	1125
79	Кемеровская область	Kemerovo oblast	1132
80	Новосибирская область	Novosibirsk oblast	1150
81	Омская область	Omsk oblast	1152
82	Томская область	Tomsk oblast	1169
83	Дальневосточный федеральный округ	The Far East Federal District	3600
84	Республика Саха (Якутия)	Republic of Sakha (Yakutia)	1198
85	Камчатский край	Kamchatka kray	1130
86	Приморский край	Primorsky kray	1105
87	Хабаровский край	Khabarovsk kray	1108
88	Амурская область	Amur oblast	1110
89	Магаданская область	Magadan oblast	1144
90	Сахалинская область	Sakhalin oblast	1164
91	Еврейская автономная область	Jewish autonomous oblast	1199
92	Чукотский автономный округ	Chukchi autonomous area	1177

Приложение В

Краткая российская номенклатура причин смерти, основанная на международной классификации ICD10 [99]; используется в БАРДе. Для оценки радиационного риска и риска от внешних причин смерти (заболевания) принципиально важны соответственно позиции 56 – 88, 239 – 256.

Код	**Названиериложение**		**Входящие коды ICD10**
1	Холера	Cholera	A00
2	Брюшной тиф	Typhoid fever	A010
3	Паратифы	Paratyphoid fever	**A011, A012, A013, A014**
4	Другие сальмонеллезные инфекции	Other salmonella infections	A02
5	Шигеллез	Shigellosis	A03
6	Пищевые отравления (бактериальные) исключая сальмонеллез	Other bacterial foodborne intoxications	A05
7	Кишечные инфекции, вызванные другими возбудителями, включая амебиаз и другие протозойные кишечные болезни	Other bacterial intestinal infections including amoebiasis and other protozoal intestinal diseases	A04, A06-A08
8	Диарея и гастроэнтерит предположительно инфекционного происхождения	Diarrhoea and gastroenteritis of presumed infectious origin	A09
9	Туберкулез органов дыхания, подтвержденный бактериологически и гистологически	Respiratory tuberculosis, bacteriologically and histologically confirmed	A15
10	Туберкулез органов дыхания, не подтвержденный бактериологически – гистологически	Respiratory tuberculosis, not confirmed bacteriologically or histologically	A16
11	Туберкулез нервной системы и мозговых оболочек	Tuberculosis of nervous system	A17+
12	Туберкулез кишечника, брюшины и брыжеечных желез	Tuberculosis of intestines, peritoneum and mesenteric glands	A183
13	Туберкулез костей и суставов	Tuberculosis of bones and joints	A180+
14	Туберкулез мочеполовой системы	Tuberculosis of genitourinary system	A181+
15	Другие формы туберкулеза без отдаленных последствий	Other tuberculosis excluding late effects	A182-8, A19
16	Чума	Plague	A20
17	Сибирская язва	Anthrax	A22
18	Бруцеллез	Brucellosis	A23
19	Лепра	Leprosy [Hansen's disease]	A30
20	Столбняк новорожденного	Tetanus neonatorum	A33
21	Акушерский столбняк	Obstetrical tetanus	A34
22	Другой столбняк	Other tetanus	A35
23	Дифтерия	Diphtheria	A36

24	Коклюш	Whooping cough	A37
25	Скарлатина	Scarlet fever	A38
26	Менингококковая инфекция	Meningococcal infection	A39
27	Септицимия	Septicaemia	A40, A41
28	Рожа	Erysipelas	A46
29	Другие бактериальные инфекции	Other bacterial infections excluding foodborne intoxications	A21, A24-A28, A31, A32, A42, A43, A44, A48, A49
30	Сифилис (все формы)	Syphilis (all forms)	A50-A53
31	Другие инфекции, передающиеся преимущественно половым путем	Other predominantly sexually transmitted diseases	A54-A64
32	Возвратные лихорадки (возвратный тиф)	Relapsing fevers	A68
33	Сыпной тиф	Typhus fever	A75
34	Другие риккетсиозы	Other rickettsioses	A77-A79
35	Острый полиомелит	Acute poliomyelitis	A80
36	Бешенство	Rabies	A82
37	Вирусный энцефалит	Viral encephalitis	A83-A86
38	Желтая лихорадка	Yellow fever	A95
39	Другие вирусные лихорадки и вирусные геморрагические лихорадки, передаваемые членистоногими	Other arthropod-borne viral fevers and viral haemorrhagic fevers	A90-A94, A96-A99
40	Корь	Measles	B05
41	Острый гепатит А	Acute hepatitis A	B15
42	Острый гепатит В	Acute hepatitis B	B16
43	Другие вирусные гепатиты	Other acute and chronic viral hepatitis	B17-B19
44	Болезнь, вызванная вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ)	Human immunodeficiency virus [HIV] disease (B20-B24)	B20-B24
45	Другие болезни, вызываемые вирусами	All other viral diseases	A81, A87-A89, B00-B04, B06-B09, B25-B34
46	Малярия	Protozoal diseases (Malaria)	B50-B54
47	Лейшманиоз	Leishmaniasis	B55
48	Трипаносомоз	Trypanosomiasis	B56-B57
49	Шистосомоз	Schistosomiasis [bilharziasis]	B65
50	Эхинококкоз	Echinococcosis	B67
51	Филяриатоз и дракункулез	Dracunculiasis and filariasis	B72, B74
52	Другие гельминтозы	Other helminthiases	B66, B68-B71, B73, B75-B83
53	Другие инфекционные и паразитарные болезни	Other and unspecified infectious and parasitic diseases	A65-A67, A69-A74, B35-B49, B58-B60, B64, B85-B89, B95-B97, B99
54	Отдаленные последствия туберкулеза	Sequelae of tuberculosis	B90
55	Отдаленные последствия других инфекционных и паразитарных болезней	Late effects of other infectious and parasitic disease, including late effects of poliomyelitis	B91-B94
56	Злокачественные новообразования губы, полости рта и глотки	Malignant neoplasm of lip, oral cavity and pharynx	C00-C14

57	Злокачественные новообразования пищевода	Malignant neoplasm of oesophagus	C15
58	Злокачественные новообразования желудка	Malignant neoplasm of stomach	C16
59	Злокачественные новообразования тонкого кишечника, включая двенадцатиперстную кишку	Malignant neoplasm of small intestine	C17
60	Злокачественные новообразования ободочной кишки	Malignant neoplasm of colon	C18
61	Злокачественные новообразования прямой кишки, ректосигмоидного соединения, заднего прохода и анального канала	Malignant neoplasm of rectum, rectosigmoid junction and anus	C19
62	Злокачественное новообразование печени и внутрипеченочных желчных протоков	Malignant neoplasm of liver and intrahepatic bile ducts	C22
63	Злокачественные новообразования поджелудочной железы	Malignant neoplasm of pancreas	C25
64	Злокачественные новообразования других и неточно обозначенных локализаций органов пищеварения	Malignant neoplasm of other and ill-defined digestive organs	C23, C24, C26
65	Злокачественное новообразование гортани	Malignant neoplasm of larynx	C32
66	Злокачественное новообразование трахеи, бронхов, легких	Malignant neoplasm of trachea, bronchus and lung	C33, C34
67	Злокачественное новообразование других и неточно обозначенных локализаций органов дыхания и грудной клетки	Malignant neoplasm of other and ill-defined sites respiratory and intrathoracic organs	C30, C31C37-C39
68	Злокачественное новообразование костей и суставных хрящей	Malignant neoplasm of bone and articular cartilage of limbs and other and unspecified sites	C40, C41
69	Злокачественная меланома кожи	Malignant melanoma of skin	C43
70	Другие злокачественные новообразования кожи	Other malignant neoplasms of skin	C44
71	Злокачественные новообразования мезотелиальных и мягких тканей	Mesothelioma, Kaposi's sarcoma, malignant neoplasm of peripheral nerves and autonomic nervous system, retroperitoneum, peritoneum and other connective and soft tissue	C45-C49
72	Злокачественные новообразования грудной железы	Malignant neoplasm of breast	C50
73	Злокачественные новообразования шейки матки	Malignant neoplasm of cervix uteri	C53
74	Злокачественные новообразования других и неуточненных частей матки	Malignant neoplasm of corpus uteri and of uterus, part unspecified	C54, C55
75	Злокачественные новообразования яичника	Malignant neoplasm of ovary	C56

76	Злокачественные новообразования других и неуточненных женских половых органов	Malignant neoplasm of other and unspecified female genital organs	C51, C52, C57, C58
77	Злокачественные новообразования предстательной железы	Malignant neoplasm of prostate	C61
78	Злокачественные новообразования других мужских половых органов	Malignant neoplasm of other male genital organs	C60, C62, C63
79	Злокачественные новообразования почек	Malignant neoplasm of kidney, except renal pelvis	C64
80	Злокачественные новообразования мочевого пузыря	Malignant neoplasm of bladder	C67
81	Злокачественные новообразования других и неуточненных мочевых органов	Malignant neoplasm of other and unspecified urinary organs	C65, C66, C68
82	Злокачественные новообразования мозговых оболочек, головного мозга, спинного мозга, черепно-мозговых нервов и других частей нервной системы	Malignant neoplasm of meninges, brain, spinal cord, cranial nerves and other parts of central nervous system	C70-C72
83	Злокачественные новообразования других и неточно обозначенных, вторичных и неуточненных локализаций	Malignant neoplasms of other and independent (primary) multiple sites	C69, C73-C80, C97
84	Болезнь Ходжкина	Hodgkin's disease	C81
85	Неходжкинская лимфома	Non-Hodgkin's lymphoma	C82-C85
86	Множественные миеломные и плазмоклеточные новообразования	Multiple myeloma and malignant plasma cell neoplasms	C90
87	Лейкемия	Leukaemia	C91-C95
88	Другие злокачественные новообразования лимфоидной, кроветворной и родственных тканей	Other and unspecified malignant neoplasms of lymphoid, haematopoietic, related tissue and malignant immunoproliferative diseases	C88, C96
89	Рак in situ, доброкачественные, неопределенного и неизвестного характера новообразования	In situ neoplasms benign and unspecified neoplasms	D00-D48
90	Гемолитические анемии	Haemolytic anaemias	D55-D59
91	Другие анемии	Other anaemias	D50-D53, D60-D64
92	Остальные болезни крови и кроветворных органов и отдельные нарушения с вовлечением иммунного механизма	Other diseases of blood and blood-forming organs	D65-D89
93	Сахарный диабет	Diabetes mellitus	E10-E14
94	Другие болезни эндокринных желез	Diseases of other endocrinous glands	E00-E07, E15-E16, E20-E35
95	Недостаточность питания	Malnutrition	E40-E46
96	Другие расстройства питания и нарушения обмена веществ	Other nutritional and metabolic disorders	E50-E90

97	Хронический алкоголизм	Chronic alcoholism	F100-3, F106 (часть) F108, 9
98	Алкогольные психозы, энцефалопатия, слабоумие	Alcoholic psychosis, encephalopathy, dementia	F104-5, F106 (часть) F107
99	Другие психозы	Other psychoses	F00-F09, F20-F29
100	Психические расстройства в результате злоупотребления наркотиками	Mental and behavioural disorders due to drug use and use of other psychoactive substances	F11, F12, F14, F13 (часть), F15 (часть), F16 (часть), F19 (часть)
101	Психические расстройства в результате злоупотребления другими психоактивными веществами	Mental and behavioural disorders due to use of other psychoactive substances	F17, F13 (часть), F15 (часть), F16 (часть), F19
102	Умственная отсталость	Mental retardation	F70-F79
103	Другие психические и поведенческие расстройства	Other mental and behavioural disorders	F30-F69, F80-F99
104	Менингит, за исключением менингита при инфекционных и паразитарных заболеваниях	Meningitis, excluding infectious and parasitic meningites	G00, G03
105	Другие воспалительные болезни центральной нервной системы	Other inflammatory diseases of the central nervous system	G04, G06, G08, G09
106	Болезнь Паркинсона	Parkinson's disease and secondary parkinsonism	G20, G21
107	Болезнь Альцгеймера	Alzheimer's disease	G30
108	Рассеянный склероз	Multiple sclerosis	G35
109	Эпилепсия	Epilepsy	G40, G41
110	Детский церебральный паралич	Infantile cerebral palsy	G80
111	Другие нарушения нервной системы	Other diseases of the nervous system	G10-G12, G23-G25, G31, G36, G37, G43-G45, G47, G50-G72, G81-G98
112	КЛАСС VII. Болезни глаза и его придаточного аппарата	CHAPTER VII. Diseases of the eye and adnexa	H00-H59
113	Средний отит	Otitis media	H65-H66
114	Другие болезни уха и сосцевидного отростка	Other diseases of the ear and mastoid process	H60-H62, H70-H95
115	Острая ревматическая лихорадка	Acute rheumatic fever	I00-I02
116	Хронические ревматические болезни сердца	Chronic rheumatic heart diseases	I05-I09
117	Гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца	Hypertensive heart disease	I11
118	Гипертоническая болезнь с преимущественным поражением почек	Hypertensive renal disease	I12
119	Гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	Hypertensive heart and renal disease	I13
120	Другие формы гипертензии	Other and unspecified hypertensive disease	I10, I15
121	Острый инфаркт миокарда	Acute myocardial infarction including certain current complications following acute myocardial infarction	I21, I23

123	Повторный инфаркт миокарда	Subsequent myocardial infarction	I22
125	Атеросклеротическая болезнь сердца	Atherosclerotic heart disease	I251
127	Другие формы хронической ишемической болезни сердца	Other forms of chronic ischaemic heart diseases	I252-9
129	Другие формы острой ишемической болезни сердца	Other forms of acute ischaemic heart diseases	I20, I241-9
131	Легочное сердце и нарушения легочного кровообращения	Pulmonary heart disease and diseases of pulmonary circulation	I26-I28
132	Другие болезни сердца	Other forms of heart disease	I30-I51
133	Субарахноидальное кровоизлияние	Subarachnoid haemorrhage	I60
135	Внутримозговые и другие внутричерепные кровоизлияния	Intracerebral haemorrhage and other nontraumatic intracranial haemorrhage	I61-I62
137	Инфаркт мозга	Cerebral infarction	I63
139	Инсульт, не уточненный как кровоизлияние или инфаркт	Stroke, not specified as haemorrhage or infarction	I64
141	Другие цереброваскулярные болезни	Other cerebrovascular diseases	I67-I69
143	Атеросклероз	Atherosclerosis	I70
144	Другие болезни артерий, артериол и капилляров	Other diseases of arteries, arterioles and capillaries	I71-I79
145	Флебит и тромбофлебит, тромбозы и эмболии	Phlebitis and thrombophlebitis, venous embolism and thrombosis	I80-I82
146	Другие болезни вен и лимфатических сосудов	Other disorders of veins and lymphatic vessels	I83-I89
147	Другие и неуточненные болезни системы кровообращения	Other and unspecified diseases of circulatory system	I95-I99
148	Острые респираторные инфекции верхних дыхательных путей	Acute upper respiratory infections	J00-J01, J028-9, J03-J06
149	Стрептококковый фарингит (ангина)	Streptococcal pharyngitis	J020
150	Грипп	Influenza	J10-J11
151	Вирусная пневмония	Viral pneumonia, not elsewhere classified	J12
152	Бактериальная пневмония	Bacterial pneumonia	J13-J15
153	Другие острые пневмонии	Pneumonia due to other infectious organisms, not elsewhere classified	J16
154	Пневмония без уточнения возбудителя	Pneumonia, organism unspecified	J18
155	Острые респираторные инфекции нижних дыхательных путей (острые бронхит и бронхиолит)	Acute lower respiratory infections	J20-J22
156	Бронхит (неуточненный как острый или хронический)	Bronchitis, not specified as acute or chronic	J40
157	Эмфизема	Emphysema	J43
158	Другие хронические обструктивные заболевания легких	Other chronic obstructive pulmonary disease	J42, J41, J44
159	Астма	Asthma	J45-J46
160	Бронхоэктазия	Bronchiectasis	J47

161	Пневмокониозы и другие болезни легкого, вызванные внешними агентами	Pneumoconiosis and other lung diseases due to external agents	J60-J70
162	Другие респираторные болезни, поражающие главным образом интерстициальную ткань (острый отек легкого, эозинофильная астма, пневмония Леффлера, диффузный и идеопатической легочный фиброз, интерстициальная пневмония без других указаний)	Other respiratory diseases principally affecting the interstitium	J80-J84
163	Гнойные и некротические состоя-ния нижних дыхательных путей (абсцесс легкого и средостения, гангрена и некроз легкого, абсцесс легкого с пневмонией, эмпиема)	Suppurative and necrotic conditions of lower respiratory tract	J85-J86
164	Другие болезни органов дыхания	Other diseases of respiratory system	J30-J39, J90-J99
165	Язва желудка	Gastric ulcer	K25
166	Язва двенадцатиперстной кишки	Duodenal ulcer	K26
167	Пептическая язва, неуточненной локализации	Peptic ulcer, site unspecified	K27
168	Гастрит и доуденит	Gastritis and duodenitis	K29
169	Болезни червеобразного отростка (аппендикса)	Diseases of appendix	K35-K38
170	Грыжи	Hernia	K40-K46
171	Неинфекционные энтериты и колиты	Noninfective enteritis and colitis	K50-K52
172	Паралитический илеус и непроходимость кишечника без грыжи	Paralytic ileus and intestinal obstruction without hernia	K56
173	Алкогольная болезнь печени (алкогольный: цирроз, гепатит, фиброз)	Alcoholic liver disease	K70
174	Фиброз и цирроз печени (кроме алкогольного)	Fibrosis and cirrhosis of liver	K74
175	Другие болезни печени	Other diseases of liver	K71-K73, K75-K76
176	Желчно-каменная болезнь (холелитиаз)	Cholelithiasis	K80
177	Холецистит	Cholecystitis	K81
178	Острый панкреатит и другие болезни поджелудочной железы	Acute pancreatitis and other diseases of pancreas	K85-K86
179	Другие болезни органов пищеварения	Other diseases of the digestive system	K00-K14, K20-K24, R28, K30-K31, K55, R57-K66, K82, K83, K90-K93
180	КЛАСС XII. Болезни кожи и подкожной клетчатки	CHAPTER XII. Diseases of the skin and subcutaneous tissue	L00-L98
181	Ревматоидный артрит	Rheumatoid arthritis	M05-M06
182	Системная красная волчанка	Systemic lupus erythematosus	M32
183	Остеомиелит и периостит	Osteomyelitis	M86
184	Другие болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	Other diseases of the musculoskeletal system and connective tissue	M00-M03, M08, M10-M31, M33-M85, M87-M99
185	Острый и быстро прогрессирующий нефритический синдром (острые:	Acute and rapidly progressive nephritic syndrome	N00-N01

	нефрит, гломерунефрит, гломерулярная болезнь)		
186	Хронический нефритический синдром (хронические: гломеру-лярная болезнь, гломерунефрит, нефрит)	Chronic nephritic syndrome	N03
187	Другие гломерулярные болезни (нефротический синдром, наследственная нефропатия, нефритический синдром неуточненный)	Other glomerular disorders (nephritic syndromeIsolated, hereditary nephropathy, nephrotic syndrome unspecified)	N02, N04-N08
188	Острый тубулоинтерстициальный нефрит (острые: инфекционный интерстициальный нефрит, пиелит, пиелонефрит)	Acute tubulo-interstitial nephritis	N10
189	Другие тубулоинтерстициальные болезни почек	Other renal tubulo-interstitial diseases	N11-N15
190	Мочекаменная болезнь	Urolithiasis (Calculus of urinary tract)	N20-N23
191	Другие болезни мочевыделительной системы	Other diseases of urinary system	N17-N19, N25-N39
192	Гиперплазия предстательной железы	Hyperplasia of prostate	N40
193	Другие болезни половых органов	Other diseases of genital organs	N41-N99
194	Внематочная беременность	Ectopic pregnancy	O00
195	Медицинский аборт	Legally induced abortion (Medical abortion and failed attempted abortion)	O04, O07
196	Аборты, начатые и начавшиеся вне лечебного учреждения и неустановленного характера.	Abortion started out of the hospital and unspecified	O01-O03, O05, O06, O08
197	Токсикозы беременных	Toxaemia in pregnancy	O10, O11, O13-O15, O21
198	Кровотечение в связи с отслойкой и предлежанием плаценты	Haemorrhage due to placenta praevia and separation of placenta	O441, O45, O20
199	Кровотечение в родах и послеродовом периоде	Antepartum and postpartum haemorrhage	O46, O720-3, O670, 8, 9
200	Осложнения анестезии	Complications of anaesthesia during pregnancy, labour and delivery, the puerperium	O29, O74, O89
201	Сепсис во время родов и в послеродовом периоде	Septicaemia in childbirth and the puerperium	O85, O860O883, O911
202	Акушерская эмболия	Obstetric embolism	O880-2, O888
203	Другие причины акушерской смерти	Other direct obstetric causes	O12, O22-O28, O30-O43, O440, O47, O48, O60-O66, O68-O71, O73, O75, O80-O84, O861-4,8 O87, O90, O912, O92
204	Непрямые причины акушерской смерти	Indirect obstetric causes	O98, O99
205	Остальные осложнения беременности, родов и послеродового периода (поздняя материнская смерть - более 42 дней) после родов	Other complicating pregnancy, childbirth and the puerperium	O95-O97

206	Родовая травма	Birth trauma	P10-P15
207	Внутриутробная гипоксия и асфикция в родах	Intrauterine hypoxia and birth asphyxia	P20-P21
208	Дыхательное расстройство новорожденного (дистресс)	Respiratory distress of newborn	P22
209	Врожденная пневмония	Congenital pneumonia	P23
210	Другие респираторные состояния у новорожденного	Other respiratory disorders specific to the perinatal period (P20-P29)	P24-P28
211	Бактериальный сепсис новорожденного	Bacterial sepsis of newborn	P36
212	Омфалит новорожденного с умеренным кровотечением или без него	Omphalitis of newborn with or without mild haemorrhage	P38
213	Геморрагические нарушенияу плода и новорожденного	Haemorrhagic disorders of newborn	P50-P54
214	Гемолитическая болезнь и другие виды желтух	Haemolytic disease and other perinatal jaundices	P55-P61
215	Преходящие эндокринные нарушения и нарушения обмена веществ, специфичные для плода и новорожденного	Transitory endocrine and metabolic disorders specific to newborn	P70-P74
216	Остальные перинатальные состояния	Other conditions originating in the perinatal period	P29, P35, P37, P39, P75-P96, P05-P08
217	Врожденная гидроцефалия и spina bifida	Spina bifida and congenital hydrocephalus	Q03, Q05
218	Другие врожденные аномалии развития нервной системы	Other congenital anomalies of central nervous system	Q00-Q02, Q04, Q06-Q07
219	Врожденные аномалии развития сердца	Congenital anomalies of heart	Q20-Q24
220	Другие врожденные аномалии развития системы кровообращения	Other congenital anomalies of circulatory system	Q25-Q28
221	Врожденные пороки развития органов дыхания	Congenital malformations of the respiratory system	Q30-Q34
222	Врожденные аномалии развития органов пищеварения	Congenital anomalies of digestive systeme	Q35-Q45
223	Врожденные аномалии развития мочевыделительной системы	Congenital malformations of the urinary system	Q60-Q64
224	Синдром Дауна и другие хромосомные аномалии	Down's syndrome and other chromosomal abnormalities, not elsewhere classified	Q90-Q99
225	Другие врожденные аномалии развития	Other congenital malformations, deformations and chromosomal abnormalities	Q10-Q18, Q50-Q56, Q65-Q89
226	Старость	Senility	R54
227	Синдром внезапной смерти младенца	Sudden infant death syndrome	R95
228	Симптомы и другие недостаточно обозначенные состояния	Other ill-defined and unspecified causes of mortality	R00-R53, R55-R94, R96-R99

239	Пешеход, пострадавший в результате транспортного несчастного случая	Pedestrian injured in transport accident	V021-9;V031-9;V041-9;V092;V093
240	Лицо, находившееся в легковом автомобиле, пострадавшие в результате транспортного несчастного случая	Car occupant injured in transport accident	V204-9;V214-9;V223-9;V233-9;V243-9;V254-9;V264-9;V274-9;V283-9;V294-9;V305-9;V315-9;V324-9;V334-9;V344-9;V355-9;V365-9;V375-9;V384-9;V394-9;V405-9;V415-9;V424-9;V434-9;V444-9;V455-9;V465-9;V475-9;V484-9;V494-9;V505-9;V515-9;V524-9;V534-9;V544-9;V555-9;V565-9;V575-9;V584-9;V594-9;V605-9;V615-9;V624-9;V634-9;V644-9;V655-9;V665-9;V675-9;V684-9;V694-9V705-9;V715-9;V724-9;V734-9;V744-9;V755-9;V765-9;V775-9;V784-9;V794-9;V830-3;V840-3;V850-3;V860-3;V870-8;
241	Другие и неуточненные транспортные несчастные случаи	Other and unspecified transport accidents	Отсальные из V00-V99
242	Случайные падения	Accidental fall	W00-W19
243	Случайное утопление (погружение вводу)	Accidental drowning and submersion	W65-W74
244	Случайное удушение	Accidental inhalation and ingestion causing obstruction of respiratory tract, foreign body entering other orifices	W75-W84
245	Случайные несчастные случаи, вызванные воздействием электрического тока, радиации и экстремальной наружной температуры или атмосферного давления	Accident caused by electric current	W85-W99
246	Случайные несчастные случаи, вызванные воздействием дыма, огня и пламени	Accident caused by fire	X00-X09
247	Случайное отравление (воздействие) алкоголем	Accidental poisoning by and exposure to alcohol	X45
248	Прочие случайные отравления (воздействие) ядовитыми веществами	Other accidental poisoning	X40-X44X46-X49
249	Преднамеренные самоповреждения (включая самоубийство)	Suicide and selfinflicted injury	X60-X84
250	Нападение (насилие, убийство)	Homicide and injury purposely inflicted by other persons, including legal execution	X85-V09
251	Повреждения с неопределенными намерениями (случайное или преднамеренное)	Injury undetermined whether accidentally or purposely inflicted	Y10-Y34
252	Повреждения в результате военных действий	Operations of war	Y36

253	Осложнения терапевтического и хирургического вмешательства	Misadventures to patients during medical care	Y40-Y84
254	Все другие случайные и неуточненные несчастные случаи, отдаленные последствия внешних причин смертности	Other and unspecified external causes late effects of external causes	W20-W31,W35-W64, X10-V39, X50-V59, Y35Y85-Y89
255	Несчастный случай, вызванный огнестрельным оружием	Accident caused by firearm missile	W32-W34
256	Терроризм	Terrorism	Z654

Приложение Г

Таблица Г.1 - Кумулятивный риск*) заболевания злокачественными новообразованиями и смерти от них в РФ в разные годы [34,35].

Пол	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2014
	Смертность, %													
Муж.	23,74	23,99	24,31	23,42	22,64	22,44	21,76	20,96	20,59	20,12	20,26	19,24	18,68	18,39
Жен.	10,99	11,07	11,13	11,02	10,78	10,77	10,56	10,33	10,15	10,03	10,13	9,75	9,59	9,42
Оба пола	15,72	15,99	16,27	15,9	15,48	15,46	15,08	14,61	14,3	14,02	14,1	13,49	13,17	12,95
	Заболеваемость, %													
Муж.	29,09	28,98	28,78	28,38	28,25	27,76	27,79	27,27	27,58	28,31	29,11	28,56	28,55	29,25
Жен.	17,45	17,15	17,57	17,71	18,44	18,7	19,16	19,23	19,87	20,5	20,97	21,33	21,58	22,2
Оба пола	21,58	21,47	21,7	21,65	22,1	22,12	22,44	22,28	22,73	23,37	23,94	23,94	24,09	24,72
	Летальность, %													
Муж.	81,6	82,8	84,5	82,5	80,1	80,8	78,3	76,9	74,7	71,1	69,6	67,4	65,4	62,9
Жен.	63,0	64,5	63,3	62,2	58,5	57,6	55,1	53,7	51,1	48,9	48,3	45,7	44,4	42,4
Оба пола	72,8	74,5	75,0	73,4	70,0	69,9	67,2	65,6	62,9	60,0	58,9	56,3	54,7	52,4

*) Определение см. в разделе 2.3.2 главы 2.

Таблица Г.2 - Кумулятивный риск*) заболевания лейкозами и смерти от них в РФ в разные годы [34,35].

Пол	1990	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2014
	Смертность, %													
Муж.	0,57	0,57	0,57	0,53	0,51	0,58	0,55	0,54	0,55	0,51	0,49	0,46	0,48	0,44
Жен.	0,36	0,37	0,36	0,35	0,34	0,37	0,35	0,34	0,34	0,32	0,31	0,29	0,28	0,28
Оба пола	0,44	0,44	0,44	0,42	0,41	0,45	0,43	0,42	0,42	0,39	0,38	0,36	0,36	0,34
	Заболеваемость, %													
Муж.	0,65	0,63	0,64	0,66	0,64	0,65	0,65	0,68	0,72	0,75	0,77	0,73	0,7	0,72
Жен.	0,38	0,4	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43	0,47	0,5	0,49	0,51	0,48	0,49	0,5
Оба пола	0,48	0,48	0,5	0,5	0,51	0,52	0,52	0,55	0,59	0,6	0,61	0,58	0,57	0,59
	Летальность, %													
Муж.	87,7	90,5	89,1	80,3	79,7	89,2	84,6	79,4	76,4	68,0	63,6	63,0	68,6	61,1
Жен.	94,7	92,5	87,8	83,3	79,1	86,0	81,4	72,3	68,0	65,3	60,8	60,4	57,1	56,0
Оба пола	91,7	91,7	88,0	84,0	80,4	86,5	82,7	76,4	71,2	65,0	62,3	62,1	63,2	57,6

*) Определение см. в разделе 2.3.2 главы 2.