

На правах рукописи



ИЛЬЯСОВ ДАМИР ФАТОВИЧ

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕРОПРИЯТИЙ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Специальность 08.00.12 –
«Бухгалтерский учет, статистика»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре математических методов в экономике Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова».

Научный руководитель: доктор экономических наук, профессор

Тихомиров Николай Петрович

Официальные оппоненты:

Лукашин Юрий Павлович

доктор экономических наук, профессор, ФГБУН «Институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова Российской академии наук», заведующий сектором

Думнов Александр Дмитриевич

доктор экономических наук, доцент, Автономная некоммерческая организация «Национальное природное агентство «Природные ресурсы», главный научный сотрудник

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Защита состоится 21 апреля 2016 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.196.06 при ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, корп. 3, ауд. 353.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Научно-информационном библиотечном центре им. академика Л.И. Абалкина ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Зацепа, д.43 и на сайте организации <http://ords.rea.ru/>.

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор экономических наук, доцент



Эльдьева Нина Александровна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Расширяющиеся масштабы применения радиоактивных материалов в различных сферах народного хозяйства, рост их добычи и переработки объективно способствуют увеличению вероятности возникновения инцидентов с утечкой радиации. К числу наиболее значимых по своим последствиям таких инцидентов относятся техногенные аварии на объектах атомной промышленности и умышленное распространение радиоактивных веществ в местах массового проживания людей (террористические акты). Подобные происшествия объективно повышают уровень загрязненности окружающей среды, увеличивают риски потерь здоровья населения, ухудшают качество его жизни.

В этой связи усиливается внимание мировой общественности к проблемам обеспечения защиты населения от радиационного воздействия при аварийных ситуациях. Однако их решение затрудняется (в особенности при малых дозах облучения до 200 мЗв/год) из-за недостаточной разработанности подходов и статистических методов оценки радиационных рисков и показателей эффективности мероприятий, направленных на их снижение, в условиях значительной неопределенности информации о последствиях облучения для населения и о влиянии рискоснижающих затрат на уровни радиационного воздействия и обусловленные ими экономические и социальные выгоды для общества. Вместе с тем, как показывает практика ликвидации последствий крупных радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», подавляющее большинство населения подвергается воздействию именно малых доз.

Недостаточная разработанность проблематики оценки радиационных рисков и эффективности рискоснижающих мероприятий при малых дозах облучения и предопределяет актуальность темы диссертационного исследования.

Степень научной разработанности проблемы. Подходы, методы и модели оценки воздействия ионизирующего излучения на организм человека во всем спектре доз и эффективности мероприятий по обеспечению радиационной

безопасности населения в ситуациях аварийного облучения в научной и специальной литературе получили достаточно широкое освещение. Они представлены в материалах Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН), Агентства по защите здоровья населения (Heath Protection Agency – HPA, Great Britain), Объединенной Японско-американской организации исследования эффектов радиационного воздействия (Radiation effects research foundation – RERF), Медицинского радиологического научного центра РАМН (МРНЦ), Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН) и ряда других организаций. Значительный вклад в вопросы оценивания радиационных рисков и эффективности мер вмешательства внесли такие специалисты как Р.П. Бурк, Д. Гофман, В.К. Иванов, М. Крик, А.В. Носовский, Д. Пирс, Д. Престон, Е. Рон, Т.Е. Томпсон, А.Ф. Цыб и некоторые другие. Обоснованность результатов этих исследований, в основном, базируется на информации о последствиях облучения населения вследствие крупных радиационных катастроф, в частности атомных бомбардировок японских городов Хиросима и Нагасаки, аварий на ПО «Маяк» (Челябинская область, Россия), Чернобыльской АЭС (Украина) и АЭС «Фукусима-1» (Япония), понесенных затратах на снижение уровня радиационного риска и достигнутых на их основе результатах. Для обработки этой информации, как правило, используются методы оценки статистических показателей, математической статистики и эконометрического моделирования, значительный вклад в разработку которых внесли С.А. Айвазян, М.Ю. Афанасьев, И.И. Елисеева, М. Кендэл, Д. Кокс, Я.Р. Магнус, В.С. Мхитарян, А.И. Орлов, Т.В. Рябушкин, И. Фишер и многие другие.

Вместе с тем приведенные в официальных документах оценки радиационных рисков и вытекающие из них дозовые нормативы и характеристики эффективности рискоснижающих мероприятий подвергаются критике рядом отечественных и зарубежных специалистов, в первую очередь, по причине несоответствия расчётных уровней рисков при малых дозах облучения реальным

потерям здоровья и жизни населения. Эта критика широко представлена в работах Б.Н. Амеса, Р.В. Арутюняна, С. Брейера, В.К. Вонга, Л.С. Голда, С.Г. Госса, И.И. Линге, П. Пеллезина, П. Словича, Н.П. Тихомирова, М. Тубиана, В.Л. Чена, З. Яворовского и ряда других специалистов. В их работах отмечено, что завышенный уровень рисков влечет за собой ошибки в оценке эффективности мероприятий радиационной безопасности, в обоснованности решений по защите населения, следствием чего является нерациональное расходование средств на эти цели без достижения реальных эффектов в виде снижения обусловленных радиацией заболеваемости и смертности.

На наш взгляд, недостаточная достоверность оценок радиационного риска при малых дозах облучения населения в условиях неопределенности исходных данных в значительной степени вызвана несовершенством статистических методов, используемых при их обработке и моделировании. В частности, в предложенных в официальных документах моделях зависимостей типа «доза-эффект» не учитываются половозрастные особенности реакции организма на облучение, структура онкологической заболеваемости, частотные и временные параметры, отражающие закономерности проявления отдельных видов болезней, и другие факторы. Это, в свою очередь, снижает обоснованность рекомендаций по применению на практике мер по защите населения вследствие недостоверности оценок дозовых границ, в пределах которых их использование является обоснованным и с социальной, и с экономической точек зрения, в оценках связанных с ними затрат, выгод и эффективности в целом.

Необходимость дальнейшего совершенствования методов и моделей оценки радиационных рисков и эффективности мероприятий радиационной безопасности и предопределили выбор объекта, предмета, цели и задач диссертационного исследования.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационного исследования состоит в разработке комплексных подходов и процедур оценки радиационных рисков и эффективности мероприятий радиационной безопасности, базирующихся на методах статистики и эконометрического моделирования, в

условиях недостаточной исходной информации о последствиях облучения для здоровья населения, затратах и выгодах, связанных со снижением уровня радиационного воздействия.

В соответствии с этой целью в работе поставлены и решены следующие задачи:

- сформирована система статистических показателей, характеризующих радиационные риски и эффективность рисковоснижающих мероприятий;

- определен состав и объем исходной информации, необходимой для получения достоверных оценок радиационных рисков;

- разработаны модифицированные подходы и усовершенствованы модели оценки радиационных рисков;

- получены количественные оценки радиационных рисков для различных половозрастных групп населения России при остром и хроническом облучениях в малых дозах;

- разработаны методологические подходы к оценке дозовых границ области эффективного применения защитных мероприятий и получены аналитические выражения, связывающие граничные оценки исходных и остаточных после вмешательства доз облучения с затратами на дезактивацию, эвакуацию и другие меры вмешательства;

- разработаны методы оценки оптимальных уровней остаточных после вмешательства доз облучения, которые верифицированы в ходе обоснования стратегий обеспечения радиационной безопасности для сценария крупной аварии с утечкой радиации на территории России.

Объект и предмет исследования. Объектом диссертационного исследования являются потери здоровья населения, обусловленные сверхфоновым радиационным облучением, затраты и выгоды, связанные с их снижением. Предметом исследования выступают статистические методы оценки радиационных рисков и эффективности мероприятий радиационной безопасности.

Область исследования. Результаты диссертационного исследования соответствуют пункту 4.11 «Методы обработки статистической информации: классификация и группировки, методы анализа социально-экономических явлений и процессов, статистического моделирования, исследования экономической конъюнктуры, деловой активности, выявления трендов и циклов, прогнозирования развития социально-экономических явлений и процессов» Паспорта специальностей ВАК по специальности 08.00.12 – Бухгалтерский учет, статистика.

Теоретическая и методологическая основа исследования. Теоретической и методологической основой исследования являются работы отечественных и зарубежных специалистов в области статистики, математической статистики, эконометрического моделирования и использования статистических методов для анализа и оценки эффективности мер по ликвидации последствий крупных радиационных аварий, оценки радиационных рисков, временных и стоимостных потерь здоровья населения вследствие воздействия ионизирующего излучения.

В процессе исследования использовались законодательные, нормативные и методические указания МКРЗ, МАГАТЭ, НКДАР ООН, ИБРАЭ РАН, Правительства РФ и ряда других отечественных и зарубежных организаций, занимающихся мониторингом радиационной безопасности населения.

Информационная база исследования. Информационную основу исследования составили:

– статистические базы данных по онкологической заболеваемости и смертности, содержащие результаты радиационно-эпидемиологических исследований крупных инцидентов, связанных с выбросом радиации, в частности, по когортам выживших после атомной бомбардировки в городах Хиросима и Нагасаки в 1945 году;

– социально-демографические характеристики населения, а также показатели онкологической заболеваемости и смертности в его различных половозрастных группах в регионах РФ, представленные на официальных сайтах Федеральной службы государственной статистики, Института демографии

Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» и в ежегодном статистическом сборнике «Злокачественные новообразования в России», публикуемом МНИОИ им. П.А. Герцена.

– статические материалы, характеризующие стоимость работ по ликвидации последствий радиоактивных загрязнений, в частности, оценки различных статей затрат, представленных в руководстве по управлению реабилитацией заселенных территории, загрязнённых вследствие радиационной аварии, разработанного в рамках интегрированного проекта EURANOS (Европейский подход к управлению радиологическими чрезвычайными ситуациями и стратегиями реабилитации, контракт № FI6R-CT-2004-508843)

Методы исследования. В ходе выполнения исследования использовались методы многомерного статистического анализа данных, эконометрического моделирования, теории вероятности и математической статистики. Для обработки данных использовались ППП «MSExcel», «Statgraphics» и «MathCad Prime».

Научная новизна. Разработаны методологические подходы и статистические процедуры оценки эффективности мероприятий по защите населения при аварийных ситуациях с утечкой радиации в малых дозах, базирующиеся на усовершенствованных эконометрических моделях «доза-эффект», учитывающих влияние на уровни радиационно обусловленных заболеваемости и смертности, наряду с дозой облучения, фоновых уровней этих явлений и половозрастных характеристик индивидуумов, и методах сопоставительного анализа затрат и выгод, связанных со снижением уровня радиационного воздействия на население.

Наиболее существенные результаты исследования, полученные лично автором и выдвигаемые на защиту, состоят в следующем:

– сформированы системы статистических показателей радиационных рисков, классифицированных по группам вероятностных, временных и стоимостных оценок потерь здоровья населения от воздействия ионизирующего излучения, и эффективности мероприятий радиационной безопасности, базирующиеся на сопоставлении выгод и издержек, связанных с их применением,

оцениваемых с учетом стоимости предотвращенной дозы облучения и остаточного уровня радиационного риска;

– разработаны базирующиеся на методах многомерного статистического анализа процедуры оценки усредненных по видам онкологических заболеваний параметров, включая частоту их проявления, продолжительность открытого и латентного периодов болезней и коэффициенты летальности, влияющих на уровень радиационных рисков;

– разработаны нелинейные модификации эконометрических моделей рисков смерти при облучении в малых дозах населения различного пола и возраста, с учетом факторов, отражающих усредненные онкологические последствия облучения;

– на основе авторских моделей «доза-эффект» получены уточненные по сравнению с оценками МКРЗ и НКДАР ООН возрастные распределения пожизненных радиационных рисков, временных и стоимостных потерь здоровья и жизни мужчин и женщин России и усредненные по всей популяции оценки этих показателей;

– разработаны подходы к оценке дозовых границ областей эффективного применения мер вмешательства (дезактивация территории, временная эвакуация населения и постоянное отселение с полной консервацией территории), базирующиеся на условии превышения связанных с ними выгод над затратами, и получены аналитические выражения, связывающие значения этих границ с уровнями рисков, обусловленных начальными и остаточными дозами облучения, и с затратами на вмешательство;

– с использованием усредненных по России экономических и демографических характеристик для гипотетического сценария загрязнения крупного промышленного города вследствие радиационной аварии обоснованы дозовые границы эффективного применения и нормативы пожизненных доз облучения для таких мер вмешательства как дезактивация, временная эвакуация населения и его постоянное отселение с полной консервацией территории;

– обоснованы нижние дозовые границы эффективного использования профилактики онкологических заболеваний среди ликвидаторов крупных техногенных аварий в течение последующей после облучения жизни с учетом дисконтирования ценности ее лет, стоимости медицинского обслуживания, зависимости онкологической смертности от стадии заболевания;

– разработаны методологические подходы к обоснованию оптимальных по остаточной дозе облучения стратегий ликвидации последствий радиационных аварий, базирующиеся на методах безусловной оптимизации с критериями на минимум остаточного для населения уровня радиационного риска и на максимум соотношения пользы и издержек их реализации с ограничениями по уровням предельно допустимых доз для населения и профессионалов.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования. Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в развитии теории и методологии статистического оценивания:

– радиационных рисков с учетом особенностей их зависимости от дозы облучения, половозрастных характеристик населения и усредненных последствий онкологических заболеваний по признакам радиационно-обусловленной смертности, продолжительности открытого и латентного периодов болезней и их коэффициентам летальности;

– эффективности рискоснижающих мероприятий по ликвидации последствий крупных инцидентов с утечкой радиации на основе сопоставления связанных с ними выгод и затрат.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования его результатов Государственным санитарным-эпидемиологическим нормированием Российской Федерации при обосновании нормативов радиационной безопасности, а также МЧС России и другими ведомствами быстрого реагирования, занимающимися проблемами ликвидации последствий радиационных загрязнений, при планировании мероприятий по управлению радиационными рисками.

Апробация и внедрение результатов исследования. Основные научные положения и результаты работы докладывались и получили одобрение на Международных научно-практических конференциях «Статистические методы анализа экономики и общества» (Россия, г. Москва, НИУ «Высшая школа экономики, май 2013), «Modernization of Economics and Social Sphere in Russia and CIS Countries: Quantitative Research Methods» (ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», декабрь 2013), «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий (INFO-2014)» (г. Сочи, октябрь 2014), «Проблемы экономической и информационной безопасности социально-экономических систем» (ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», Москва, ноябрь 2014).

Основные результаты диссертационного исследования используются в работе НО «Фонд экологической безопасности энергетики» для оценки радиационных рисков у населения Российской Федерации, что подтверждается справкой о внедрении.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты были апробированы в рамках участия в качестве исполнителя в грантах:

– «Риски жизнедеятельности: оценка и анализ региональных распределений» (№14-02-00437 А, РГНФ, 2014 г.);

– «Оценка и управление рисками потерь здоровья и жизни населения при чрезвычайных ситуациях с утечкой радиации» (№15-02-00412 А, РГНФ, 2015-2016 гг.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 10 печатных работ общим объемом 5,43 п.л. (из них авторские – 3,97 п.л.), в том числе 7 печатных работ в рекомендованных ВАК Минобрнауки России изданиях общим объемом 4,5 п.л. (из них авторские – 3,49 п.л.).

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 186 страниц, включая 28 рисунков, 60 таблиц, список литературы из 140 наименований и приложение на 36 страницах.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

В работе сформирована система статистических показателей, позволяющих количественно оценить величину радиационного риска и эффективность мероприятий по защите населения от избыточного (сверхфонового) облучения. В общем виде показатели радиационного риска классифицированы в рамках 3 групп: вероятностные, временные и стоимостные. На основе вероятностных показателей, исходя из концепции приемлемых уровней рисков, формируются нормативы радиационной безопасности. К ним относятся избыточный абсолютный и относительный риски, а также пожизненный радиационный риск, которые представляют собой вероятности радиационно-обусловленной заболеваемости или смертности в последующие после облучения годы жизни. На основе временных показателей определяют потери лет жизни населения, обусловленные радиационным воздействием. Стоимостные показатели переводят временные потери в денежный эквивалент. Они используются при экономическом обосновании мер вмешательства.

В работе предложены варианты критериев эффективности мероприятий, применяемых для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с утечкой радиации. Среди них выделены максимизация выгоды от применения рискоснижающего мероприятия, определяемой как разность связанных с вмешательством пользой и затратами, минимизация стоимости единицы предотвращенной коллективной дозы облучения населения, максимизация удельной эффективности издержек защитной меры и минимизация остаточного после применения меры вмешательства радиационного риска для населения (представленного либо в виде вероятности радиационно-обусловленной смертности, либо в виде ожидаемой потери лет жизни населения).

В работе отмечено, что оценки показателей радиационного риска и эффективности мер вмешательства на практике характеризуются недостаточной достоверностью, особенно при малых дозах облучения (интенсивностью до 200 мЗв/год), что затрудняет обоснование эффективных стратегий по защите

населения в случае утечки радиации. Невысокая достоверность этих оценок является следствием неполноты и неточности исходной информации о последствиях облучения. В работе показано, что для получения статистически значимых оценок радиационного риска в области малых доз облучения база данных должна накапливать более 25000 случаев смерти от онкологических заболеваний. В то же время самая представительная на сегодняшний день когорта облученного населения содержит не более 10000 случаев. В связи с этим для повышения достоверности оценок риска при облучении в малых дозах в работе рекомендовано исходную информацию о последствиях облучения дополнить результатами аппроксимации (достаточно обоснованных для областей больших и средних доз) закономерностей «доза-эффект».

В работе отмечено, что рекомендованные Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) для оценки радиационных рисков модели «доза-эффект» и полученные на их основе результаты критикуются по целому ряду направлений, в том числе и в связи с тем, что они не подтверждаются данными многих радиационно-эпидемиологических исследований. Совершенствование этих моделей научными сообществами связывается с учетом влияния на уровни радиационного риска (кроме дозы облучения) ряда факторов, характеризующих индивидуальные особенности облученного населения и специфику онкологических заболеваний (солидный рак, лейкемия). Закономерности во взаимосвязях пожизненного риска с рассматриваемыми факторами обычно выявляются на основе методов эконометрического моделирования. Общий вид эконометрической модели для оценки онкологической заболеваемости (смертности) при радиационном воздействии, предложенного в докладе Национального комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) 2006 года, характеризует следующее выражение:

$$\lambda_1(e, s, c, D, a) = \lambda_0(e, s, c, 0, a) \cdot (1 + ERR(e, s, D, a)) \quad (1)$$

где $\lambda_1(e, s, c, D, a)$, $\lambda_0(e, s, c, 0, a)$ – прогнозная и фоновая онкологическая смертность в регионе c ; $ERR(e, s, D, a)$ – смоделированный уровень избыточного относительного

риска смерти от рака, который для солидных раков и лейкемии определяется на основе следующих эконометрических моделей соответственно:

$$ERR_{solid}(e, s, D, a) = 601 \cdot D \cdot \exp(0,6 \cdot s + \ln(a - e) - 2,6 \ln(a)), \quad (2)$$

$$ERR_{leukemia}(D, a) = (865 \cdot D + 1021 \cdot D^2) \cdot \exp(-1,65 \ln(a)), \quad (3)$$

где D – эквивалентная доза облучения всего организма и кровеносной системы в моделях оценки рисков смерти от солидных раков и лейкемии соответственно (Зв); s – фиктивная переменная характеризующая пол индивидуума ($s=1$ для женщин и $s=0$ для мужчин); e – возраст на момент облучения, a – предполагаемый возраст дожития индивидуума.

В работе предложено уточнить параметры этих моделей на основе учета более детальной дифференциации онкологической заболеваемости по признакам частоты проявления радиационно-обусловленного ракового заболевания, продолжительности открытого и латентного периодов протекания болезни и уровня коэффициента летальности. На основе этих признаков все виды онкологических заболеваний разделены на три устойчивые группы. Для каждой из них разработаны уточненные модели оценки радиационных рисков. Для первой группы, в которую вошли смертельные виды раковых заболеваний с высокими коэффициентами летальности: пищевода, желудка, печени, желчного пузыря, поджелудочной железы и легкого, модель оценки избыточного относительного риска смерти со статистически значимыми параметрами имеет следующий вид:

$$ERR_{c1}(e, s, D, a) = 0,33 \cdot D \cdot (1 + 0,36 \cdot s) \cdot \exp(-0,035 \cdot (e - 30) - 1,6 \cdot \ln(\frac{a}{71})), \quad (4)$$

где s – фиктивная переменная характеризующая пол индивидуума ($s=1$ для женщин, $s=-1$ для мужчин).

Для второй группы, онкологические заболевания которой при современном уровне развития медицины относят к излечиваемым (раки толстой и прямой кишки, груди, мочеполовой системы и все другие виды злокачественных новообразований, кроме лейкемии), модель имеет следующий вид:

$$ERR_{cl2}(e, s, D, a) = 0,53 \cdot D \cdot (1 + 0,28 \cdot s) \cdot \exp(-0,027 \cdot (e - 30) - 0,98 \cdot \ln(\frac{a}{71})), \quad (5)$$

Модель для лейкемии (третья группа) совпадает с выражением (3).

Модели (4) и (5) представляют собой произведение эконометрической модели с фиктивной переменной и корректирующего множителя (экспонентой функции). Параметры эконометрических моделей оценены на основе метода наименьших квадратов и являются статистически значимыми (в частности, их коэффициенты детерминации равны 0,75 и 0,9 соответственно). Форма корректирующего множителя в моделях (4) и (5) учитывает экспоненциальный характер снижения уровня радиационного риска с увеличением возраста на момент облучения индивидуума и линейную закономерность его роста с увеличением продолжительности жизни.

На основе оценок радиационных рисков, полученных по моделям НКДАР ООН и их авторским модификациям получены усредненные оценки рисков смерти для различных демографических когорт и всего населения России в целом (таблица 1), а также оценены вероятностные, натуральные и стоимостные характеристики радиационного риска.

Таблица 1

Оценки пожизненного радиационного риска для различных половозрастных групп и населения в целом в России на 1 Зв эквивалентной дозы облучения

Возрастная группа	Оценки на основе моделей (2) и (3), предложенных в докладе НКДАР ООН 2006 (Зв ⁻¹)			Оценки на основе модели (3) и авторских моделей (4) и (5) (Зв ⁻¹)		
	Мужчины	Женщины	Население в целом	Мужчины	Женщины	Население в целом
0-9	$7,83 \cdot 10^{-2}$	$1,12 \cdot 10^{-1}$	$9,47 \cdot 10^{-2}$	$7,63 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,02 \cdot 10^{-1}$
10-19	$6,82 \cdot 10^{-2}$	$9,77 \cdot 10^{-2}$	$8,26 \cdot 10^{-2}$	$6,19 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-1}$	$8,33 \cdot 10^{-2}$
20-29	$5,81 \cdot 10^{-2}$	$8,36 \cdot 10^{-2}$	$7,07 \cdot 10^{-2}$	$4,76 \cdot 10^{-2}$	$8,18 \cdot 10^{-2}$	$6,45 \cdot 10^{-2}$
30-39	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$6,91 \cdot 10^{-2}$	$5,92 \cdot 10^{-2}$	$3,76 \cdot 10^{-2}$	$6,29 \cdot 10^{-2}$	$5,04 \cdot 10^{-2}$
40-49	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$5,33 \cdot 10^{-2}$	$4,64 \cdot 10^{-2}$	$2,94 \cdot 10^{-2}$	$4,69 \cdot 10^{-2}$	$3,85 \cdot 10^{-2}$
50-59	$2,68 \cdot 10^{-2}$	$3,59 \cdot 10^{-2}$	$3,18 \cdot 10^{-2}$	$2,11 \cdot 10^{-2}$	$3,21 \cdot 10^{-2}$	$2,72 \cdot 10^{-2}$
60-69	$1,42 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,71 \cdot 10^{-2}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-2}$	$1,58 \cdot 10^{-2}$
70+	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$6,55 \cdot 10^{-3}$	$5,43 \cdot 10^{-3}$	$5,09 \cdot 10^{-3}$	$7,12 \cdot 10^{-3}$	$6,52 \cdot 10^{-3}$
Все возрастные группы	$4,32 \cdot 10^{-2}$	$6,11 \cdot 10^{-2}$	$5,23 \cdot 10^{-2}$	$3,92 \cdot 10^{-2}$	$5,78 \cdot 10^{-2}$	$4,91 \cdot 10^{-2}$

Представленные в таблице 1 результаты свидетельствуют, что авторские оценки радиационного риска на 1 Зв облучения для населения России в целом примерно на 6% ниже своих аналогов, полученных по моделям НКДАР (2) и (3)

($4,91 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ против $5,23 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$). Вместе с тем половозрастные распределения радиационных рисков для населения России, полученные по рассматриваемым моделям, различаются достаточно существенно. Оценки НКДАР ООН для возрастных групп варьируются в пределах от $0,54 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ (для жителей старше 70 лет) до $9,47 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ (для детей до 10 лет). Для населения медианного возраста от 35 до 45 лет оценка риска в среднем составляет $5,28 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$. В то же время оценки радиационного риска, полученные по авторским моделям, отличаются более «толстыми» хвостами возрастных распределений и меньшими значениями в медианных возрастах ($0,65 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$, $10,2 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ и $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ соответственно). Аналогичные закономерности имеют место и для мужского и женского населения. Эти различия обусловлены особенностями структуры фоновой онкологической смертности населения России, характеризующейся высокой долей раков легкого и желудка (заболеваний, входящих в состав первого кластера) у мужского населения, и высокой долей раков груди и кожи (заболеваний, входящих в состав второго кластера) у женского населения в возрастных группах до 45 лет с резким снижением смертности от этих заболеваний в последующие годы жизни.

При оценке стоимостного ущерба населению от воздействия радиации в работе используется рекомендованный МКРЗ «доходный» метод, согласно которому временные потери 1 чел.-года жизни эквиваленты потерям единицы национального дохода в расчете на одного человека. По данным Всемирного Банка в России в 2012 году размер среднедушевого национального дохода составлял 13 тыс. долл. США. С учетом этого стоимостные эквиваленты ущерба от коллективной дозы облучения 1 чел.-Зв для российской популяции при остром и хроническом облучениях составят 10,4 и 5,2 тыс. долл. США/чел.-Зв соответственно. Разница в этих результатах является следствием более низкого вреда от хронического облучения по сравнению с острым.

Полученные в работе оценки радиационных рисков использованы при расчетах дозовых границ областей эффективного применения ряда рискоснижающих мероприятий при аварийных ситуациях с утечкой радиации и

оценок пожизненных доз облучения. Согласно рекомендациям МКРЗ границы для остаточных доз облучения должны находиться в пределах от 20 до 100 мЗв/год в первый год после аварии. В рамках этих пределов значения остаточных доз могут быть уточнены на основе сопоставления затрат (издержек) и пользы от вмешательства (принцип экономической обоснованности вмешательства). Пользу от вмешательства предлагается увязывать с величиной предотвращенной мероприятием дозой облучения, которая напрямую влияет на стоимостные оценки предотвращенных вмешательством потерь населения, а также на оценки других предотвращенных потерь, например, связанных с сокращением периода прекращения хозяйственной деятельности на загрязненной территории. Издержки, связанные с проведением мероприятий, предлагается оценивать по прямым и косвенным потерям, для расчета которых могут использоваться различные доступные методы.

В работе также предложено верифицировать допустимые оценки остаточных доз на основе показателя пожизненной дозы облучения. Согласно установленным в стране после аварии на Чернобыльской АЭС нормативам, дополнительное техногенное облучение индивидуума вследствие крупной радиационной аварии (пожизненная сверхфоновая доза) не должно превышать 350 мЗв за всю его оставшуюся жизнь. Среднее значение индивидуальной пожизненной дозы после аварии может быть оценено как сумма годовых остаточных доз за период, равный разности между ожидаемой продолжительностью жизни и средним возрастом облученной когорты (около 36 лет). При этом остаточные дозы облучения с каждым последующим годом снижаются по экспоненте с темпом, соответствующим скорости распада радионуклида и его миграции в окружающей среде. Например, для радионуклида Цезий-137 с периодом полураспада около 30 лет, годовой темп снижения активности в естественной среде приблизительно равен 4-6 процентам в год. С учетом этого допустимое значение остаточной дозы для Цезия-137 в первый год после аварии находится на уровне 25-30 мЗв/год.

С использованием принципа экономической целесообразности, в работе получены аналитические выражения, связывающие нижние дозовые границы эффективного применения некоторых защитных мероприятий с затратами, необходимыми на их реализацию, и оценками радиационного риска. Среди них выделены:

1) Дезактивация загрязненной территории, для которой нижний уровень исходной дозы облучения области ее эффективного применения (D^D) удовлетворяет следующему неравенству:

$$D^D \geq \frac{(c_{f_0} \cdot \log_{f_0} f + L_0)}{VE \cdot N \cdot k_0} \cdot \frac{f}{f-1}, \quad (6)$$

где f – кратность снижения дозы облучения при проведении дезактивационных работ; L_0 – стоимостный эквивалент потерь здоровья ликвидаторов, обусловленные радиационным облучением при проведении работ по дезактивации территории; VE – стоимостный эквивалент потерь здоровья населения от радиационного воздействия при облучении в коллективной дозе 1 чел.-Зв; N – число лиц, подверженных радиационному облучению из населения; k_0 – коэффициент, учитывающий снижение дозы облучения населения за все время в связи со снижением активности радиоактивных загрязнителей, их миграции в окружающей среде и продолжительности работ по дезактивации территории; c_{f_0} – совокупные затраты на дезактивацию территории, которая предполагает снижение дозы облучения населения в f_0 раз, и включает в себя расходы на очистку территории, сбор, обработку и вывоз мусора, санитарную обработку автотранспорта и жителей загрязненных регионов.

Остаточная после дезактивации доза в первый год после аварии (D_R^D) оценивается следующим образом:

$$D_R^D = D^D \cdot \left(1 - \frac{f-1}{f} \cdot k_0^1 \right), \quad (7)$$

где k_0^1 – коэффициент, учитывающий снижение дозы облучения населения в первый год после аварии в связи со снижением активности радиоактивных

загрязнителей, их миграции в окружающей среде и продолжительности работ по дезактивации территории.

2) Временная эвакуация населения на период проведения работ по дезактивации территории, для которой нижний уровень исходной дозы облучения области ее эффективного применения (D^B) удовлетворяет следующему неравенству:

$$D^B \geq \frac{c_{f_0} \cdot \log_{f_0} f + C_1 + t_0 \cdot D_N \cdot \lambda \cdot N}{VE \cdot N \cdot \left(k_1 + \frac{f-1}{f} \cdot k_2 \right)}, \quad (8)$$

где t_0 – длительность эвакуации населения; D_N – фоновая доза облучения населения в «безопасных зонах»; k_1 и k_2 – коэффициенты, учитывающие снижение дозы облучения населения за все время в связи со снижением активности радиоактивных загрязнителей, их миграции в окружающей среде, продолжительности работ по дезактивации территории и длительности эвакуации; C_1 – издержки, обусловленные затратами на эвакуацию и размещение жителей в «безопасных зонах» и потерями, связанными с остановкой производства в загрязненной зоне.

Остаточная после временной эвакуации доза населения в первый год после аварии (D_R^B) оценивается согласно следующему выражению:

$$D_R^B = D_N \cdot t_0 + D^B \cdot \left(1 - k_1^1 - \frac{f-1}{f} \cdot k_2^2 \right), \quad (9)$$

где k_1^1 и k_2^2 – коэффициенты, учитывающие снижение дозы облучения населения в первый год после аварии в связи со снижением активности радиоактивных загрязнителей, их миграции в окружающей среде, продолжительности работ по дезактивации территории и длительности эвакуации.

3) Полная консервация территории, для которой нижний уровень исходной дозы облучения области ее эффективного применения (D^H) удовлетворяет следующему неравенству:

$$D^H \geq \frac{C_2 + t_a \cdot D_N \cdot \lambda \cdot N}{VE \cdot N \cdot k_3}. \quad (10)$$

где C_2 – совокупные издержки при постоянном переселении населения, которые включаются в себя затраты на эвакуацию населения, строительство новых домов и инфраструктуры, компенсационные выплаты, обусловленные потерей имущества, потери, связанные с утратой основных фондов и выводом промышленных и сельскохозяйственных земель из общего пользования; k_3 – коэффициент, учитывающий снижение дозы облучения населения за все время в связи со снижением активности радиоактивных загрязнителей и их миграции в окружающей среде.

Остаточная после применения этой меры вмешательства доза облучения населения будет соответствовать фоновому радиационному уровню в безопасных зонах.

4) Медицинское обслуживание облученных ликвидаторов, для которого нижний уровень исходной дозы облучения области ее эффективного применения (D^l , фактическая накопленная индивидуальная доза облучения ликвидаторов) удовлетворяет следующему неравенству:

$$D^l \geq \frac{C_3 \cdot (\beta \cdot Z + 1)}{k \cdot HD \cdot \beta \cdot (Z - Z_0) \cdot LLE_{136}^{несмерт}}, \quad (11)$$

где C_3 – совокупное увеличение затрат на диагностику онкологических заболеваний ликвидаторов за период с момента облучения до конца жизни; HD – среднедушевой национальный доход; β – параметр, характеризующий снижение смертности среди ликвидаторов в связи увеличением затрат на медицинское обслуживание; $LLE_{136}^{несмерт}$ – ожидаемая потеря лет жизни ликвидаторов при облучении в коллективной дозе 1 чел.-Зв. от онкологических заболеваний, входящих в состав 2 и 3 кластера заболеваний.

На основе полученных выражений в работе оценены дозовые границы эффективного применения защитных мер и обусловленных ими пожизненных доз облучения при ликвидации последствий радиационной аварии в крупном промышленном городе России, численностью приблизительно 200 тыс. человек, загрязнённом преимущественно радионуклидом Цезием-137. Проведенные расчеты показывают, что издержки при осуществлении дезактивации на этой

территории в зависимости от кратности снижения доз (от 1,1 до 5 раз) варьируются от 48 до 850 млн. долл. США. Согласно выражению (6) применение этой меры вмешательства целесообразно при ее кратности в 1,1 раз и кратности в 5 раз и более при средних дозах в первый год после аварии свыше 35 мЗв/год и 71 мЗв/год. При этом остаточная доза облучения населения после проведения дезактивации кратностью в 5 раз согласно выражению (7), например, при исходной за первый год дозе облучения населения 75 мЗв/год, составит 24 мЗв/год, а пожизненная доза облучения – 400 мЗв.

Временная эвакуация населения на период дезактивации экономически обоснована при средних ожидаемых дозах в первый год после аварии свыше 130 мЗв/год. При этом остаточная доза облучения населения после ее проведения составит 30 мЗв/год, пожизненная доза облучения – 500 мЗв. Издержки проведения защитной меры оцениваются на уровне 1,5 млрд. долл. США. Существенной частью этих издержек являются потери, обусловленные остановкой производства, которые составляют приблизительно 650 млн. долл. США.

Применение меры постоянного переселения населения в безопасную зону и полной консервации территории экономически обоснованно при ожидаемых исходных дозах в первый год после аварии свыше 200 мЗв/год. Издержки, связанные с этим защитным мероприятием, составляют приблизительно 6 млрд. долл. США.

В таблице 2 представлены рассчитанные согласно выражению (11) уровни накопленных доз облучения ликвидаторов (мужчин) крупных радиационных аварий, при которых повышение среднедушевых годовых затрат на оказание им медицинской помощи становится эффективным. Для женщин-ликвидаторов аналогичное с мужчинами повышение ежегодных среднедушевых затрат на медицинское обслуживание является обоснованным при меньших (в среднем на 35% дозах). При получении этих оценок учитывалось, что в России уровень среднедушевых затрат на оказание специализированной высоко технологичной медицинской помощи составлял приблизительно 15 долл. США/чел.

Критерии эффективности повышения качества медицинского обслуживания для мужчин-ликвидаторов, проживающих в России.

Повышение среднедушевых ежегодных затрат на диагностику онкологических заболеваний до значений	Эффективно при острой индивидуальной дозе свыше (мЗв)
62,7 долл. США/чел.	120
78,4 долл. США/чел.	160
94 долл. США/чел.	175
109,7 долл. США/чел.	200

С учетом приведенных выше результатов в диссертации разработаны подходы к оценке оптимальной по параметру ожидаемой дозы облучения стратегии управления последствиями радиационных аварий с загрязнителем Цезий-137, базирующиеся на методах безусловной оптимизации. В качестве критериев при этом используются целевые функции на максимум выгод от применения рискоснижающего мероприятия и на минимум остаточного после применения меры вмешательства радиационного риска для населения. По результатам решения этих задач обоснованы следующие стратегии управления последствиями радиационных аварий на территории России:

а) Решение согласно критерию на максимум выгоды:

– при ожидаемых в первый год после аварии дозах облучения населения до 20 мЗв/год следует установить мониторинг радиационной обстановки на территории и при превышении этих границ облучения немедленно осведомить население о радиационной опасности;

– в диапазоне ожидаемых доз облучения от 20 до 35 мЗв/год применять первичные меры вмешательства, а также меры «самопомощи» для населения;

– в диапазоне ожидаемых доз облучения от 35 до 170 мЗв/год проводить дезактивацию территории с кратностью, увеличивающей по мере роста дозы от 1,1 до 5 раз. Остаточная после применения меры доза облучения населения не превысит 40 мЗв/год, стоимость единицы предотвращенной дозы будет уменьшаться с ростом ожидаемой дозы облучения с 5200 до 2400 долл. США/чел.-Зв;

– в диапазоне ожидаемых доз облучения от 170 до 200 мЗв/год рекомендуется временная эвакуация населения из загрязненной территории на момент ее дезактивации кратностью 5 раз. Остаточная после применения меры доза облучения населения не превысит 30 мЗв/год, стоимость единицы предотвращенной дозы при ожидаемом облучении 170 мЗв/год составит 3200 долл. США/чел.-Зв;

– при ожидаемых дозах свыше 200 мЗв/год обосновано постоянное переселение и полная консервация территории. Остаточная после применения меры доза облучения населения будет соответствовать естественному радиационному фону в безопасных зонах, стоимость единицы предотвращенной дозы составит 10400 долл. США/чел.-Зв.

б) Решение согласно критерию на минимум остаточного радиационного риска:

– при ожидаемых в первый год после аварии дозах облучения населения до 20 мЗв/год следует установить мониторинг радиационной обстановки на территории и при превышении этих границ облучения немедленно осведомить население о радиационной опасности;

– в диапазоне ожидаемых доз облучения от 20 до 35 мЗв/год применять первичные меры вмешательства, а также меры «самопомощи» для населения;

– в диапазоне ожидаемых доз облучения от 35 до 130 мЗв/год проводить дезактивацию территории с кратностью, увеличивающей по мере роста дозы от 1,1 до 5 раз. Остаточная после применения меры доза облучения населения не превысит 35 мЗв/год, стоимость единицы предотвращенной дозы составит 5200 долл. США/чел.-Зв;

– в диапазоне ожидаемых доз облучения от 130 до 200 мЗв/год рекомендуется временная эвакуация населения из загрязненной территории на момент ее дезактивации кратностью 5 раз. Остаточная после применения меры доза облучения населения не превысит 30 мЗв/год, стоимость единицы предотвращенной дозы при ожидаемом облучении 130 мЗв/год составит 5200 долл. США/чел.-Зв;

– при ожидаемых дозах свыше 200 мЗв/год обосновано постоянное переселение и полная консервация территории. Остаточная после применения меры доза облучения населения будет соответствовать естественному радиационному фону в безопасных зонах, стоимость единицы предотвращенной дозы составит 10400 долл. США/чел.-Зв.

В целом, предложенные в работе критерии эффективности позволяют обосновать ряд рациональных (оптимальных с точки зрения каждого критерия) стратегий по ликвидации последствий радиационных аварий, которые характеризуются различными уровнями издержек и степенью безопасности для населения. На практике выбор наиболее приемлемой из них может осуществляться местными органами управления, с учетом местных условий, включая размер бюджета, сопоставления уровня радиационного риска с приемлемыми уровнями безопасности жизнедеятельности и ряда других.

В заключении диссертации приведены основные результаты работы и вытекающие из них выводы.

III. СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации:

1. Ильясов Д.Ф. Приведенные оценки радиационных рисков в структуре рисков жизнедеятельности / Н.П. Тихомиров, Д.Ф. Ильясов // Экономика природопользования. – М.: ВИНТИ, 2013. – Вып. №4. – С.130-142. – 0,75 п.л. (авт. – 0,37 п.л.);
2. Ильясов Д.Ф. Подходы и модели оценки последствий воздействия ионизирующего излучения на организм человека в малых дозах / Д.Ф. Ильясов // Экономика природопользования. – М.: ВИНТИ, 2014. – Вып. №2. – С.94-103. – 0,62 п.л.;
3. Ильясов Д.Ф. Модифицированные подходы оценки индивидуальных радиационных рисков в малых дозах облучения / Д.Ф. Ильясов // Экономика природопользования. – М.: ВИНТИ, 2014. – Вып. №3. – С.62-72. – 0,69 п.л.;

4. Ильясов Д.Ф. Стоимостная оценка ущерба потерь здоровья населения от радиационного воздействия / Д.Ф. Ильясов // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – М.: Институт ИТКОР, 2014. – Вып. №3. – С. 180-183. – 0,5 п.л.;

5. Ильясов Д.Ф. Оптимизация стратегий управления последствиями радиационных аварий / Н.П. Тихомиров, Д.Ф. Ильясов // Экономика природопользования. – М.: ВИНТИ, 2015. – Вып. №2. – С.103-110. – 0,5 п.л. (авт. – 0,25 п.л.);

6. Ильясов Д.Ф. Оценка эффективности повышения качества медицинского обслуживания ликвидаторов радиационных аварий / Н.П. Тихомиров, Д.Ф. Ильясов // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – М.: ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2015. – Вып. №4. – С. 133-138. – 0,75 п.л. (авт. – 0,37 п.л.);

7. Ильясов Д.Ф. Подходы к экономическому обоснованию нормативов радиационной безопасности при аварийных ситуациях / Д.Ф. Ильясов // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – М.: Институт ИТКОР, 2015. – Вып. №2. – С.168-173. – 0,69 п.л.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

8. Ильясов Д.Ф. Методы нормирования радиационной безопасности на основе приведенных оценок онкологических рисков / Н.П. Тихомиров, Т.М. Тихомирова, Д.Ф. Ильясов // Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. Том 4. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – С. 274-281. – 0,5 п.л. (авт. – 0,17 п.л.);

9. Ильясов Д.Ф. Проблемы обеспечения радиационной безопасности при малых дозах облучения в условиях неопределенности оценок рисков онкологических заболеваний / Н.П. Тихомиров, Т.М. Тихомирова, Д.Ф. Ильясов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – С. 561-563 – 0,18 п.л. (авт. – 0,16 п.л.);

10. Ильясов Д.Ф. Оценка радиационных рисков в регионах РФ с учетом демографической структуры населения / Д.Ф. Ильясов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. – С. 577-579 – 0,25 п.л.