

# Важность оценки радиационного риска

---

Э.Э.Почин

## ВВЕДЕНИЕ

Радиационная защита призвана обеспечивать радиационную безопасность и исключать любой необоснованный радиационный риск во время работы или нахождения человека в обычных окружающих условиях. Вполне очевидно, что любые количественные рекомендации по пределам облучения и методам защиты должны разрабатываться в зависимости от количественных оценок степени риска, связанного с применением таких пределов.

## СОМАТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

В публикации № 26 [2] Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) рассмотрены виды поражений, которые могут возникать в результате облучения малыми дозами, и приведена оценка встречаемости серьезных последствий. Что касается индуцирования раковых заболеваний и лейкемии, то в обзорах, подготовленных Комитетом по радиационным эффектам МКРЗ, и в обширном исследовании, проведенном Научным комитетом по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций (НКДАР ООН) [3], было проанализировано значительное количество новых эпидемиологических данных по частоте, с которой злокачественные опухоли индуцировались в тканях человека поглощенными дозами до нескольких грей \*. Следовательно, был получен ряд оценок не только общего количества образования злокачественных опухолей в результате облучения всего организма, но также и количества случаев раковых заболеваний, которое можно ожидать при селективном облучении отдельных органов тела или отдельных тканей, например в результате поступления радионуклидов внутрь организма.

Если говорить о некоторых тканях, в частности тканях костного мозга, щитовидной железы, легких и груди, то в настоящее время имеется несколько самостоятельных работ по оценкам риска, содержащих весьма согласующиеся результаты и в некоторых случаях свидетельствующих о вариации частоты образования злокачественных опухолей в зависимости от пола или возраста облученных лиц [1]. Для целого ряда других органов и тканей в одной или нескольких работах получены оценки, указывающие на наличие приблизительно выраженной частоты образования опухолей и свидетельствующие о том, что эта частота низка по сравнению с частотой, отмечаемой в случае более "чувствительных" тканей. Предстоит еще многое сделать, осо-

---

\* 1 грей (Гр) = 100 рад; 1 зиверт (Зв) = 100 бэр.

---

Д-р Почин — представитель Соединенного Королевства в Научном комитете ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), член Национального совета по радиологической защите Соединенного Королевства и заслуженный член в отставке Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ).

бенно в исследованиях по выявлению в некоторых органах типов клеток, которые являются инициаторами развития ракового заболевания после облучения, для того чтобы поглощенную дозу от инкорпорированных радионуклидов можно было, когда это возможно, рассчитывать по отношению к этим типам клеток, а не усреднять для всего органа в целом. Накопилось, однако, большое количество достаточно надежных эпидемиологических данных по человеку, показывающих тот вклад, который индуцирование рака в различных органах тела может вносить в общий канцерогенный эффект облучения всего организма. Эти данные, что весьма важно, дают возможность количественно сравнивать эффекты, например, в случае летальных злокачественных опухолей при равномерном облучении всего тела внешними источниками и при селективном облучении органов от задержанных внутри организма радионуклидов. На основании таких сравнений можно рекомендовать более точный и надежный базис для расчета пределов доз внутреннего облучения, чем тот, который использовался прежде [4].

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Что касается генетических эффектов, то в настоящее время риск облучения человека также можно оценивать с несколько большей достоверностью. Остается справедливым тот факт, что расчетная частота, с которой генетические эффекты индуцируются *in vivo*, все еще в очень значительной степени основывается на наблюдениях на мышах или других животных, а не на человеке. Однако изучение культур клеток человека и других клеток свидетельствует о том, что лучевое индуцирование хромосомных аберраций подчиняется аналогичной зависимости "доза-эффект" у различных видов [5]. Наблюдается удовлетворительное согласие между оценками генетического риска облучения, полученными двумя различными методами и весьма полно и квалифицированно проанализированными специальной группой Комитета по радиационным эффектам МКРЗ и в докладе НКДАР ООН за 1977 год. Во-первых, опасность для человека оценивалась в зависимости от расчетного размера генома, количества генетического материала в человеке по сравнению с мышью и чувствительности генома мыши к излучению. И, во-вторых, расчеты основывались на дозе излучения, которая, вероятно, может привести к удвоению числа естественно появляющихся генетических аномалий, поскольку было обнаружено, что "доза удвоения" у животных в случае целого ряда генетических изменений характеризуется удивительно одинаковой величиной — около 1 Гр [6, 7].

Риск образования наследственных аномалий зависит, естественно, от вероятного числа детей, которые будут зачаты впоследствии, а следовательно, и от возраста в момент облучения, и этот риск индуцирования любых существенных генетических эффектов оценивается как показатель, изменяющийся примерно от 2 на 100 Зв в юношеский период, до 0 в возрасте около 50 лет [8]. Средний риск индуцирования подобных дефектов в детях или внуках рабочих, подвергавшихся профессиональному облучению, составляет немногим менее 0,4 на 100 Зв. Этот риск равен примерно одной трети риска возбуждения летальной формы рака у самих рабочих.

## ДРУГИЕ ЭФФЕКТЫ

Третья основная группа радиационных эффектов, для которых необходим расчет риска, включает в себя так называемые нестохастические эффекты. Сюда входят такие последствия, как катаракта, стерильность, фиброзы тканей и нарушение функций органов. Обычно считают, что они происходят только в результате превыше-

ния относительно высокой пороговой дозы, и поэтому расчетный риск при меньших дозах считается равным нулю. Во многих случаях пределы доз, установленные для ограничения индуцирования раковых заболеваний со смертельным исходом и генетических эффектов, должны, следовательно, предотвращать появление нестохастических эффектов. Однако в случае некоторых тканей, в частности костных, кожных и тканей щитовидной железы, для которых частота индуцирования летальных форм рака низка, это может быть и не так. Поэтому для таких тканей вводится специальный предел, который равен 0,5 Зв в год, с целью предотвращения индуцирования нестохастических эффектов даже после постоянного профессионального облучения на уровне этой предельной дозы в течение 50 лет. Это, по-видимому, является примером исключительно осторожной политики, поскольку довольно небольшое число работающих людей, вероятно, накопят даже половину профессиональной дозы облучения такого размера в течение всей жизни. До сих пор также не ясно, какие формы нестохастических поражений, скажем для кости, могли бы проявиться в результате этой дозы в 25 Зв, получаемой в течение 50 лет; не понятно также, будет ли такое поражение, индуцируемое в самом конце трудовой жизни, сравнимо по ущербу для здоровья человека с летальным раком или серьезным генетическим дефектом. В случае же в десять раз более низкого нестохастического предела дозы, установленного для населения, представляется еще более маловероятным, чтобы какой-нибудь значительный нестохастический ущерб мог бы быть причинен в результате облучения дозами, которые находятся ниже этих пределов.

Я считаю, что необходимо проделать большую работу по дальнейшему исследованию проблемы возможного индуцирования нестохастических эффектов при длительном облучении определенных тканей или органов, а также изучению таких вопросов, как возрастная зависимость частоты индуцирования различных форм рака и генетический риск для человека или его клеток. Необходимо получить также больше информации о факторах, влияющих на неопластические трансформации клеток и их выживаемость, и в результате следует определить вероятную форму зависимости "доза-эффект" при малых дозах и методику, с помощью которой канцерогенный эффект излучения на уровнях нескольких миллигрей можно будет рассчитывать на основании эффекта, наблюдаемого на уровнях нескольких грей. Этот радиобиологический подход особенно важен, поскольку любые эпидемиологические данные могут оказаться статистически весьма ненадежными при низких уровнях дозы.

## СРАВНЕНИЯ РИСКА

Для расчета общего уровня риска, связанного с радиоактивным облучением, в настоящее время накоплен достаточный объем ясной и количественной информации. В самом деле, числовые базисы, применяемые для оценки радиационного риска, намного лучше и полнее разработаны, чем базисы, которые используются для определения степени риска, связанного с воздействием на организм человека многих химических или других потенциально вредных для здоровья человека реагентов на рабочих местах и в обычных окружающих условиях. По существу возникает необычная ситуация, когда вероятную опасность, создаваемую загрязнителем окружающей среды, необходимо и в то же время весьма желательно определить еще до обнаружения последствий загрязнения на уровне среды. Часть осложнений в восприятии населением радиационной опасности, по-видимому, неизбежно, но вместе с тем неправильно, возникает в результате этой вполне ответственной попытки оценить степень безопасности или уровень риска, который влечет за собой деятельность, связанная с облучением, и вынести полученные оценки на обсуждение. Тем

не менее важно, чтобы любые рекомендации сопровождалось заключением экспертов, и как можно более четким, относительно последствий из применения и степени безопасности или опасности, к которой может привести принятие таких рекомендаций.

Подобное заключение, я думаю, может правильно восприниматься только тогда, когда оно сделано на основании не просто абсолютных цифр возможных смертных случаев или отрицательных эффектов, а в сравнении с соответствующими уровнями безопасности или опасности в других и более привычных ситуациях или видах деятельности. Такое сравнение более важно, поскольку многие люди склонны считать деятельность либо безопасной, либо опасной в абсолютном смысле и, вполне понятно, не думают о количественной стороне различных уровней риска или не имеют четкого представления о различных уровнях риска, присутствующего в привычных ситуациях.

Необходимо подчеркнуть, что сравнение цифровых уровней риска в случае различных видов деятельности не может и не должно само по себе определять приемлемость какого-либо одного вида деятельности. Однако, несомненно, оно должно рассматриваться в качестве важного фактора, влияющего на принятие или отказ от альтернатив или на определение эффективности этих альтернатив. Биологическая безопасность является лишь одним из нескольких компонентов в процессе принятия любого решения, касающегося выбора из числа имеющихся альтернатив, например, выбора одной профессии из нескольких различных профессий или одного источника из нескольких различных источников производства электроэнергии. Тем не менее биологическую безопасность следует рассматривать как исключительно важный компонент, который должен основываться на оценке не только видов вреда, но также и на числовых данных о частоте их проявления в различных альтернативах.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК

В публикации № 26 МКРЗ приведены расчеты вреда для профессий, в случае которых облучение контролируется на основе рекомендаций по предельным дозам, когда, как рекомендует МКРЗ, облучение сверх указанных пределов не допускается и когда дозы поддерживаются настолько ниже этих пределов, насколько это практически возможно. При соблюдении указанных условий, как правило, обнаруживается, что средняя доза в течение всей трудовой деятельности достигает примерно 5 мЗв в год, и эта цифра подтверждается в случае большинства профессий данными, приведенными в докладе НКДАР ООН. При таких обстоятельствах и при риске индуцирования летальных форм рака не многим более 1% на 1 Зв ежегодный показатель смертности от заболеваний по этой причине был бы равен примерно 6 на 100 000 человек из числа работающих. Если добавить к этому риск наследственных дефектов, проявляющихся в их семьях, то эта цифра увеличилась бы до 8 и в конечном итоге до 9 или 10 на 100 000 человек при учете также коэффициента несчастных случаев со смертельным исходом, который, как правило, низок на атомных предприятиях. Следовательно, при данных условиях можно рассчитать, что суммарный среднегодовой риск смертности и серьезных генетических дефектов, вероятно, не будет превышать  $10^{-4}$  или будет эквивалентен 100 смертным случаям в год на миллион работающих.

Что касается смертных случаев, то указанный риск сравним с риском смертных случаев во многих обычных профессиях во множестве стран; в Соединенных Штатах

Таблица 1. Коэффициенты профессиональной смертности в результате несчастных случаев в США ( $10^{-6}$ /год)

Отрасль	1955 г.	1958 г.	1961 г.	1964 г.	1968 г.	1971 г.	1975 г.	Среднее
Торговля	120	90	90	80	70	70	60	83
Обрабатывающая промышленность	120	120	110	100	90	100	80	103
Обслуживающие и государственные предприятия	150	140	130	130	125	125	115	131
Транспорт и коммунальное хозяйство	340	330	430	440	380	360	330	373
Сельское хозяйство	550	570	600	670	650	670	580	613
Строительство	750	740	740	730	740	710	610	717
Горнодобывающая промышленность	1040	960	1080	1080	1170	1000	630	994
Все отрасли промышленности	240	220	210	210	190	180	150	200

Америки (см. таблицу 1\*) [9], например, коэффициент профессиональной смертности колеблется в широких пределах по различным отраслям промышленности, но, хотя он имеет тенденцию к снижению на несколько процентов в год, все же его значение превышает эту цифру  $10^{-4}$  или 100 смертных случаев на миллион человек в год в большинстве профессиональных групп. Сравнимые значения коэффициента выявлены и в других странах в сходных профессиях (см. таблицы 2, 3) [10-12].

Данное сравнение основывается только на смертных случаях и на серьезных генетических дефектах. Но если использовать более широкое понятие профессиональной вредности, включающее несчастные случаи и заболевания с несмертельным исходом, подобно тому, как попытались это сделать в публикации №27 МКРЗ применительно к показателю вредности, то получается аналогичное сравнение [8]; средний риск во многих профессиях, связанных с радиоактивным облучением, эквивалентен риску, характерному для других профессий с коэффициентом смертности от несчастных случаев около 50 на миллион человек в год; однако риск этот, будучи уже сейчас сравним с риском, присущим профессиям, обычно считающимся в целом безопасными, должен уменьшаться в дальнейшем за счет принятия всех доступных мер.

Однако в случае некоторых профессий или разновидностей одной профессии среднее радиоактивное облучение, а следовательно, и средний риск облучения оказы-

\* Таблицы 1 и 2 взяты из журнала "Journal of the Royal College of Physicians of London", а таблица 3 — из журнала "Community Health" и воспроизводятся с согласия редакторов.

**Таблица 2.** Национальная статистика профессиональных несчастных случаев, Франция (Statistiques Nationales d'Accidents du Travail, 1968-1970)  $10^{-6}$ /год

	$10^{-6}$ /год
Швейная промышленность	17
Текстильная промышленность	42
Металлургическая промышленность	118
Химическая промышленность	169
Разработка карьеров и т. д.	365
Докеры (портовые рабочие)	1,020
Траулерное рыболовство, канатные подвесные дороги, прогулочные суда и т. д.	1,636

**Таблица 3.** Коэффициенты смертности в результате несчастных случаев в Соединенном Королевстве ( $10^{-6}$ /год) (ежегодные доклады Главного фабричного инспектора, 1959-1970 годы)

Производство или отрасль	Среднее + среднеквадратичная ошибка
Швейная и обувная промышленность	$3 \pm 1$
Общее машиностроение и электротехническая промышленность	$23 \pm 1$
Текстильная промышленность	$23 \pm 2$
Транспортное машиностроение	$26 \pm 2$
Бумажная и полиграфическая промышленность, издательское дело	$28 \pm 2$
Производство металлоизделий и металлоконструкций, не вошедших в другие отрасли	$29 \pm 2$
Пищевая промышленность, производство напитков и табачных изделий	$34 \pm 2$
Кожевенная промышленность, производство изделий из кожи и мехов	$37 \pm 8$
Лесная промышленность, производство мебели и т. п.	$64 \pm 5$
Производство строительных материалов, керамических изделий, стекла, цемента и т. п.	$75 \pm 5$
Химическая промышленность и смежные отрасли	$87 \pm 5$
Металлургия	$136 \pm 5$
Судостроение и судовое машиностроение	$162 \pm 8$

ваются значительно более высокими. Если бы в предельном случае радиоактивное облучение планировалось или происходило таким образом, что все рабочие получали бы предельную дозу 50 мЗв в год, то вред, определяемый по тем же самым критериям, был бы эквивалентен вредности профессии с коэффициентом несчастных случаев со смертельным исходом примерно 350 на миллион человек в год. Это соответствовало бы риску, которому подвергались транспортные рабочие и рабочие коммунального хозяйства в Соединенных Штатах Америки, рабочие, занятые на карьерах во Франции, или в среднем шахтеры угольной промышленности в Соединенном Королевстве в период с 1967 по 1976 годы [13].

При добыче урана в сравнительно недалеком прошлом среднее радиоактивное облучение было высоким как из-за вдыхания радона, так и в меньшей степени из-за воздействия источников излучения. К этому облучению необходимо добавить значительный коэффициент несчастных случаев со смертельным исходом, который должен влиять на показатель профессиональной вредности в несколько раз больше, чем облучение, доводя годовой коэффициент смертных случаев до более чем  $10^{-3}$  [13].

Однако я полагаю, что если к пределам доз относиться действительно как к пределам, которые из года в год ни в коем случае не будут превышать никем из рабочих, и если средние уровни облучения в результате этого можно будет поддерживать на значительно более низком уровне, чем данный предел, то общий вред, связанный с условиями работы, как правило, будет не превышать тот вред, который наблюдается в отраслях промышленности с общепризнанной безопасностью, если, однако, данная профессия сама по себе также не связана с серьезной опасностью несчастных случаев, что в любом случае исключает ее из этой категории безопасных.

## РИСК ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

По целому ряду причин максимальный радиационный риск гораздо труднее определить для населения, если соотносить этот риск с другими сравнимыми видами риска. Во-первых, рекомендованные пределы облучения для членов критической группы в любой отдельно взятый год (5 мЗв) скорее всего в большинстве случаев связываются не с фактически полученной дозой, которая могла быть получена на основании моделей окружающей среды, имеющих целью максимизировать расчетное облучение. И, во-вторых, трудно выбрать другие источники в окружающей среде, от которых население подвергается воздействию риска одинаковым образом и для которых этот риск известен количественно. Риск, связанный с атмосферными выбросами тепловых электростанций, работающих на угле, воздействует аналогичным образом, но, что весьма показательно, его пока еще нельзя определить с достаточной степенью достоверности. Риск, связанный с природными явлениями, поддается определению, но он воздействует по-другому, а именно через действия самого человека. Комиссия, как и многие авторы [15, 16, 17, 18], рассмотрела различные виды естественного риска и выразила мнение, что ежегодный риск случаев со смертельным исходом в результате воздействия естественных источников, составляющий  $10^{-6}$ – $10^{-5}$  (т.е. риск "гибели человека" один раз в 100000 лет или более продолжительный период), "вероятно, будет приемлем для каждого человека из числа населения".

Вопрос о риске для населения не рассматривается в публикации №27. Однако оценку вреда в смысле сокращения продолжительности жизни можно применить к человеку из числа населения, который непрерывно подвергался облучению в пределах, допустимых для облучения в течение всей жизни, а именно в среднем 1 мЗв в год. (Этот предел применим к предполагаемому облучению, которое будет получено, а не является расчетным на основании максимизирующих допущений, принятых в от-

ношении модели окружающей среды). С учетом вероятного скрытого периода в проявлении раковых заболеваний, вызванных радиоактивным облучением, как в детстве, так и во время совершеннолетия, непрерывное облучение в течение всей жизни такого человека на предельных уровнях дозы, вероятно, в среднем будет приводить к сокращению жизни примерно на шесть дней. Чтобы получить более ясную картину, было бы полезно рассчитать среднее сокращение жизни применительно к другим факторам окружающей среды. В публикации №26 МКРЗ имеется сравнение со средним риском смертности в результате дорожных происшествий. Для населения Соединенного Королевства среднее сокращение жизни по этой причине составляет примерно 1,5 дня [19]. Среднее сокращение жизни в результате искусственного радиоактивного облучения, если его аналогичным образом усреднить на все население, составит примерно 3,3 дня, из которых 3,1 дня будут следствием облучения, получаемого в медицинских целях, и 0,2 дня – всех других источников [20].

## ПРИЕМЛЕМОСТЬ РИСКА

Следует повторить, что ни заявления относительно количественного выражения уровня риска, ни сравнения этих уровней с теми, которые возникают в результате других видов деятельности, не должны или не будут определять приемлемость риска или выбор деятельности для представителей данной профессии или населения. Там, где идет речь об излучении, на принятие таких решений, по-видимому, будут влиять также многие другие соображения, например вид риска; канцерогенный риск окрашен страхом рака и природой самого заболевания, генетический же риск связывается с несправедливостью, выражающейся в том, что наша сегодняшняя деятельность может влиять на последующие поколения; но при этом канцерогены и мутагены также присущи и ископаемому топливу и другим химическим выбросам. Смерть в результате несчастного случая часто воспринимается рабочим, будь то правильно или неправильно, как следствие недостатка профессиональных навыков жертвы, тогда как этого нельзя сказать о раке, возникающем в результате определенного радиоактивного облучения, которому подвергаются в нормальных рабочих условиях. Сам факт проведения оценки степени радиационного риска может также свидетельствовать о серьезности этого риска особенно для тех, кому не известны уровни и даже наличие риска, исходящего от других источников. Более того, оценка риска, связанного с малыми дозами облучения, которую необходимо выполнить в перспективном плане и частично на основе теоретических расчетов, обязательно будет менее убедительной, чем ретроспективное определение риска на основе наблюдаемой статистики. И что самое главное, люди больше опасаются, как правило, риска, исходящего от неизвестных источников, или считают, что этот риск более серьезный, чем тот, который исходит от источников ставших давно обыденными. Это справедливо и в отношении радиоактивного излучения, даже несмотря на то что среднегодовое облучение от всех искусственных источников (за исключением медицинских), вероятно, составляет менее 2% от того облучения, которое люди всегда получали от естественных источников [20].

Таким образом, важность оценки риска, связанного с облучением, может быть обусловлена не только необходимостью получения уверенности в том, что охрана здоровья людей обеспечивается надлежащим образом в условиях, в которых некоторое облучение неизбежно, или необходимостью определения последствий, связанных с применением рекомендованных пределов. Важность оценки этого риска должна быть обусловлена также отчасти попытками обеспечить принятие хорошо информированной общественностью и ее представителями правильных и обоснованных

решений, способных уменьшить до минимума вредное воздействие радиоактивного излучения на здоровье человека.

---

Настоящая статья является выступлением на тематическом семинаре по практическим последствиям применения рекомендаций МКРЗ (1977 года) и пересмотренных основных норм МАГАТЭ по радиационной защите, Вена, 5-9 марта 1979 года.

---

#### Список литературы

- [1] ICRP Publication 26, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP 1 1 (1977) 1.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1977 Report to the General Assembly "Sources and Effects of Ionizing Radiation", (United Nations, New York) (1977).
- [3] Pochin, E.E., "Why be Quantitative about Radiation Risk Estimates?," (U.S.) National Council on Radiation Protection and Measurements: 2nd Lauriston Taylor Lecture (1978).
- [4] VENNART, J., Limits for Intakes of Radionuclides for Workers (IAEA-SR-36/52), paper presented to the Topical Meeting on the Practical Implications of the ICRP Recommendations (1977) and the Revised IAEA Basic Standards for Radiation Protection, Vienna, 5-9 March 1979.
- [5] BROWN, J.M., Linearity vs. Non-Linearity of Dose Response for Radiation Carcinogenesis, Health Phys. 31 (1976) 231.
- [6] SEARLE, A.G., "Use of Doubling Doses for the Estimation of Genetic Risks": Commission of the European Communities: report on Symposium on Rad-Equivalence, Eur 5725e (1977) 133-45.
- [7] SANKARANARAYANAN, K., Evaluation and Re-Evaluation of Genetic Radiation Hazards in Man, III. Other Relevant Data and Risk Assessment, Mutation Research 35 (1976) 387.
- [8] ICRP Publication 27, Problems Involved in Developing an Index of Harm. Annals of the ICRP 1 4 (1977) 1.
- [9] Accident Facts. (US) National Safety Council (from 1955), Chicago.
- [10] H.M. Chief Inspector of Factories (of UK), Annual Reports (from 1959).
- [11] Health and Safety Executive (1975), Industry and Services, London: HMSO.
- [12] Statistiques Nationales d'accidents du Travail (1968-1970), Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés.
- [13] LUNDIN, F.E., Jr., and others, Mortality of Uranium Miners in Relation to Radiation Exposure, Hard-Rock Mining and Cigarette Smoking - 1950 through September 1967, Health Physics 16 (1969) 571.
- [14] POCHIN, E.E., Estimates of Industrial and Other Risks, J. Roy Coll. Physcs. 12 3 (1978) 210.
- [15] STARR, C., "Benefit-cost relationships in socio-technical systems", Symposium on Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, IAEA-SM 146/47, New York (1979).
- [16] KLETY, T.A., "What risks should we run?," New Scientist, (12 May 1977) 320.
- [17] ROWE, W.D., An Anatomy of Risk, John Wiley and Sons, New York (1977).
- [18] KNOX E.G., Negligible Risks to Health, Community Health 6 (1975) 244.
- [19] Приведенные значения основаны на данных, заимствованных из публикации: - Mortality Statistics 1974 England and Wales. Office of Population Censuses and Surveys: DH1, No. 1 and DH2, No. 1.
- [20] Приведенные значения основаны на данных, заимствованных из публикации: - Taylor, F.E. and Webb, G.A.M. "Radiation Exposure of the UK Population". National Radiological Protection Board NRPB-R77. (1978).