

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
КОНЦЕПЦИЯ СОЦИАЛЬНО ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА – ПРИНЦИП ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	4
ХИРОСИМА-НАГАСАКИ И ЧЕРНОБЫЛЬ КАК ИСТОЧНИКИ ЗНАНИЙ О РАДИОЛОГИЧЕСКИХ РИСКАХ	6
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ: ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РИСКОВ	10
СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ – ОПЫТ ВЕДУЩИХ СТРАН	14
АРМИР – СИСТЕМА ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ	16
АРМИР: версия 1.0	18
АРМИР: версия 2.0	20
АРМИР: версия 3.0	23
АРМИР: версия 4.0	24
АРМИР: версия 5.0	25
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПЕРСОНАЛА ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»	28
ЛИТЕРАТУРА	32

## CONTENTS

INTRODUCTION	33
CONCEPT OF SOCIALLY ACCEPTABLE RISK – PRINCIPLE OF THE STATE POLICY ON ENSURING NUCLEAR AND RADIOLOGICAL SAFETY	34
HIROSHIMA-NAGASAKI AND CHERNOBYL AS A SOURCE OF KNOWLEDGE ABOUT RADIOLOGICAL RISKS	35
INTERNATIONAL STANDARDS OF RADIOLOGICAL PROTECTION: ASSESSMENT OF INDIVIDUAL RISKS	40
SOCIAL PROTECTION OF NUCLEAR WORKERS – EXPERIENCE OF LEAD COUNTRIES	43
ARMIR – SYSTEM FOR EVALUATING INDIVIDUAL RADIOLOGICAL RISKS FROM OCCUPATIONAL EXPOSURE	45
ARMIR: version 1.0	47
ARMIR: version 2.0	49
ARMIR: version 3.0	52
ARMIR: version 4.0	53
ARMIR: version 5.0	54
INDIVIDUAL RADIOLOGICAL RISKS FOR THE WORKFORCE OF THE STATE CORPORATION “ROSATOM”	56
REFERENCES	60



# ПРЕДИСЛОВИЕ



«Общество без рисков является утопией», отмечается в Публикации 60 Международной комиссии по радиологической защите. И это действительно так. Люди в наше время готовы принимать некоторые уровни риска даже на бытовом уровне, понимая, что без этого нельзя воспользоваться основными результатами современного технического прогресса. Вместе с тем, всегда остается открытым вопрос о верхнем уровне допустимого риска.

Конечно, его оценка крайне сложна и зависит от множества разных факторов: социального, экономического, экологического, демографического и др.

В Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности руководством страны поставлена задача «реализации концепции социально приемлемого риска». Поэтому Госкорпорация «Росатом» несколько лет назад активно поддержала инициативу Российской научной комиссии по радиационной защите при ПАМН об ускоренной разработке и внедрению в практику новой технологической платформы обеспечения ядерной и радиационной безопасности персонала отрасли, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле (АРМИР), на основе современных международных стандартов по оценке индивидуального радиационного риска («дозовая матрица»). В настоящее время выполнен большой объем запланированных работ, позволивший оценить текущие риски у 72% контролируемого персонала (52438 человек), из которого только у 1,4% работников (755 человек) установлен повышенный риск. Такие крупномасштабные работы были проведены впервые в мире, что в свою очередь действительно позволит решить сложную комплексную задачу оптимизации радиационной защиты персонала Госкорпорации «Росатом» на федеральном и объектовом уровнях.

Генеральный директор  
Государственной корпорации  
по атомной энергии «Росатом»

С.В. Кириенко

Первый заместитель  
Председателя Российской  
научной комиссии  
по радиационной защите,  
член-корреспондент ПАМН

В.К. Иванов

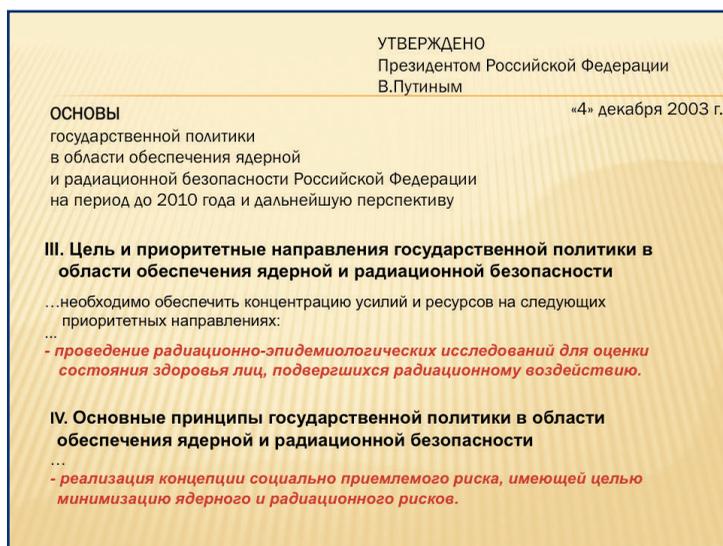
## КОНЦЕПЦИЯ СОЦИАЛЬНО ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА – ПРИНЦИП ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Открывая заседание президиума Государственного совета по вопросам развития международного сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности В.В.Путин подчеркнул: «В нашу эпоху во всем мире идет поиск и расширяется применение новых источников энергии. Большое внимание при этом уделяется атомной энергетике. Россия также должна укреплять свои позиции в этой важнейшей сфере. ...При этом, конечно, первое – это жесткие требования безопасности в течение всего технологического процесса. Эти требования должны соответствовать самым высоким международным стандартам».

Действительно, в Федеральном законе от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (статья 53) отмечается: «Возмещению подлежит вред, причиненный жизни и здоровью граждан, обусловленный радиационным воздействием». Возникает сложный технологический вопрос: объективная оценка вреда, обусловленного радиационным воздействием. Согласно принятой в настоящее время международной научной общественностью линейной беспороговой модели «доза-эффект», даже малые дозы облучения могут приводить к радиологическим эффектам (онкологическим заболеваниям) с ненулевой вероятностью. Поэтому нужна оценка радиологических эффектов в терминах величины риска.

По текущим международным стандартам риск при облучении дозой 1 Зв составляет  $5 \cdot 10^{-2}$ . Естественно риск при дозе 1 мЗв будет равен  $5 \cdot 10^{-5}$ . Действительно, в Федеральном законе от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (статья 53) отмечается: «Возмещению подлежит вред, причиненный жизни и здоровью граждан, обусловленный радиационным воздействием». Возникает сложный технологический вопрос: объективная оценка вреда, обусловленного радиационным воздействием. Согласно принятой в настоящее время международной научной общественностью линейной беспороговой модели «доза-эффект», даже малые дозы облучения могут приводить к радиологическим эффектам (онкологическим заболеваниям) с ненулевой вероятностью. Поэтому нужна оценка радиологических эффектов в терминах величины риска. Поскольку этот риск почти в 100 раз меньше риска спонтанной онкозаболеваемости (без радиационного воздействия), он может быть рассмотрен, по-видимому, как приемлемый.

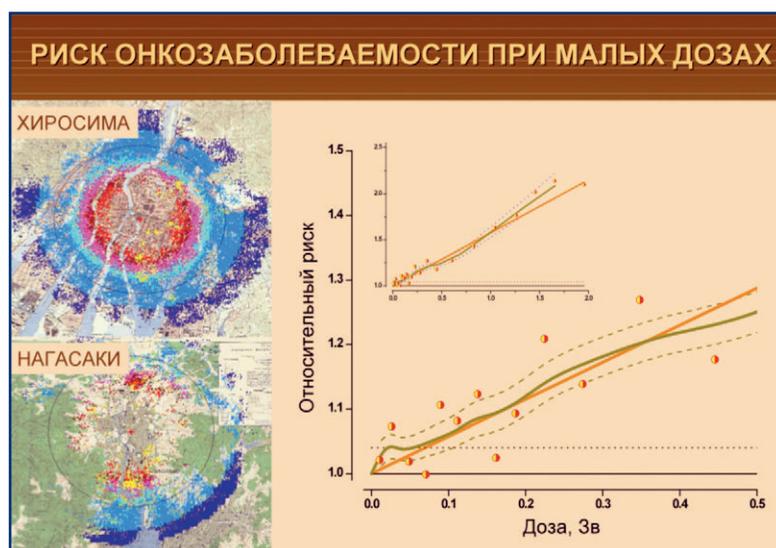
Идея рискового подхода четко обозначена в Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу, утвержденных Президентом Российской Федерации.



Таким образом, к основным принципам государственной политики в области ядерной и радиационной безопасности отнесена проблема реализации концепции социально приемлемого риска. При этом подчеркивается значимость радиационно-эпидемиологических подходов для объективной оценки состояния здоровья граждан, подвергшихся радиационному воздействию.

## ХИРОСИМА-НАГАСАКИ И ЧЕРНОБЫЛЬ КАК ИСТОЧНИКИ ЗНАНИЙ О РАДИОЛОГИЧЕСКИХ РИСКАХ

После атомной бомбардировки в 1945 г. японских городов Хиросима и Нагасаки был создан регистр облученных лиц («хибакусей») для проведения многолетних эпидемиологических исследований за состоянием их здоровья (86,5 тыс. человек). Данные японского регистра до настоящего времени остаются основным источником информации об отдаленных радиологических последствиях радиационного воздействия на человека, которые широко используются в международных отчетах и рекомендациях (МКРЗ, НКДАР ООН, МАГАТЭ).



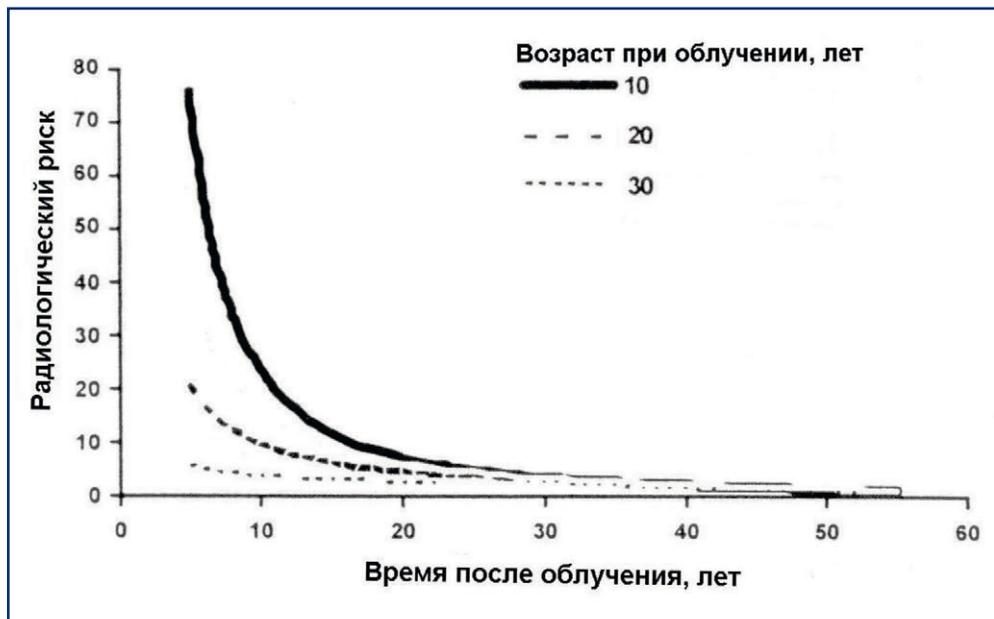
В результате долгосрочных и крупномасштабных эпидемиологических исследований в Японии было установлено, что 7% выявленных смертей от солидных раков обусловлены радиационным воздействием и 51% выявленных смертей от лейкозов также радиационно-обусловлены. Было также показано, что зависимость «доза-эффект» («эффект» в данном случае это повышенная частота онкосмертности и онкозаболеваемости) лучше всего описывается линейной безпороговой моделью. Вместе с тем, в дозовом интервале 0-100 мЗв имеет место очень высокая степень неопределенности в полученных рисковых коэффициентах (D.Preston et al, 2001).

## ОНКОСМЕРТНОСТЬ В ХИРОСИМЕ-НАГАСАКИ

Период наблюдения 1950-1990 гг.

Причина смерти	Число смертей	Число радиационно-обусловленных смертей	% смертей, обусловленных радиационным фактором
Лейкозы	176	89	51%
Солидные раки	4 687	339	7%
Всего	4 863	428	9%

Одним из основных выводов Хиросимы-Нагасаки следует считать эпидемиологическое заключение о том, что кроме дозы облучения (которая составляла в среднем 220 мЗв) радиологический риск строго зависит от индивидуальных характеристик – прежде всего таких, как пол и возраст. Так радиологический риск заболеваемости лейкозами при дозе 1 Гр может отличаться у 20-летних и тех, кому больше 30 лет в 3-4 раза.



Зависимость радиационного риска при дозе 1 Гр от возраста при облучении и времени после облучения (Richardson et al, 2009)

Этот вывод имеет первостепенное значение для текущих задач оптимизации радиационной защиты персонала и населения. Действительно, ранее радиологические отдаленные последствия оценивались только по величине коллективной дозы с коэффициентом риска  $5 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ . Рассмотрим пример. Предположим, 100 млн. человек получили дозы облучения по 1 мЗв. Тогда согласно предыдущим рекомендациям, число обусловленных радиационным фактором смертей от онкозаболеваний должно составить:  $5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^5 = 5000$  (т.е. 5 тыс. человек). Подтверждается ли это практикой? Результаты крупномасштабных эпидемиологических исследований убедительно свидетельствуют: такое повышение онкологической заболеваемости при малых дозах облучения не доказано. Рассмотрим, в частности, данные Национального радиационно-эпидемиологического регистра, созданного по Постановлению Правительства РФ на базе Медицинского радиологического научного центра РАМН (г. Обнинск) после аварии на Чернобыльской АЭС.



Национальный регистр в настоящее время является одной из крупнейших в мире баз данных о состоянии здоровья граждан, подвергшихся радиационному воздействию в малых дозах (до 0,2 мЗв). Даже на территории Брянской области, где по данным НКДАР ООН величина коллективной дозы превышает 10 тыс. чел.-Зв, Национальный регистр не выявил увеличение частоты онкологических заболеваний (за исключением рака щитовидной железы) по отношению ко всему населению России.

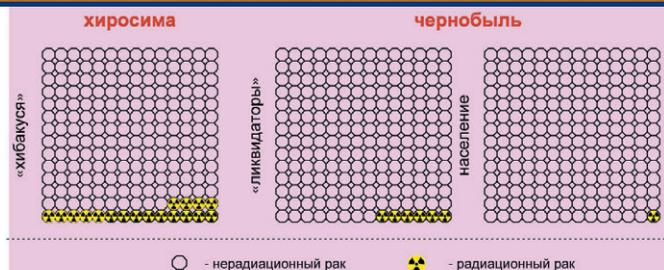
## ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СОЛИДНЫМИ РАКАМИ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС



Национальным регистром действительно получены значимые радиационные риски по когорте участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС 1986-1987 годов. Однако надо помнить, что их средняя доза внешнего облучения составила 125 мГр.

### ДОЛЯ РАДИАЦИОННО-ОБУСЛОВЛЕННЫХ СРЕДИ ВСЕХ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

хибакуся – жители городов Хиросима и Нагасаки, пережившие атомную бомбардировку – 9%  
ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС – 3%  
население Брянской области – 0.5%



Доля радиационно-обусловленных среди всех онкологических заболеваний.  
Хибакуся – жители городов Хиросима и Нагасаки, пережившие атомную бомбардировку – 9%;  
ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС – 3%; население Брянской области – 0.5%.

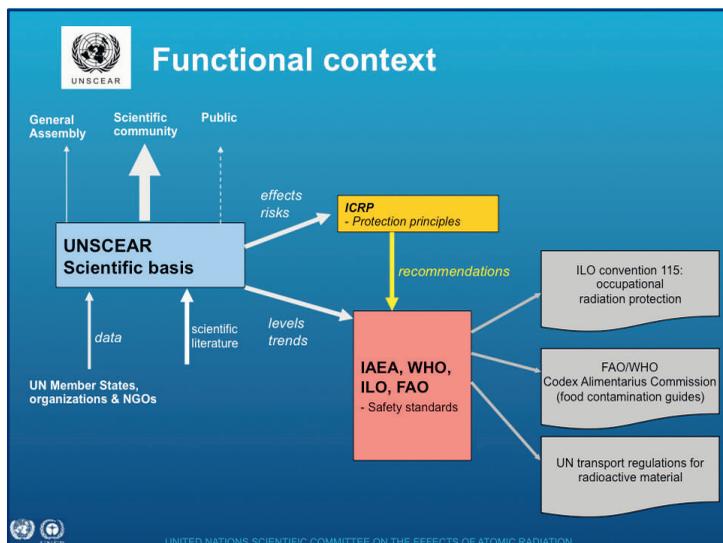
Эти данные постчернобыльских эпидемиологических исследований Национального регистра вошли в окончательный отчет Научного комитета ООН по действию атомной радиации о радиологических последствиях аварии на Чернобыльской АЭС.

## МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ: ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РИСКОВ

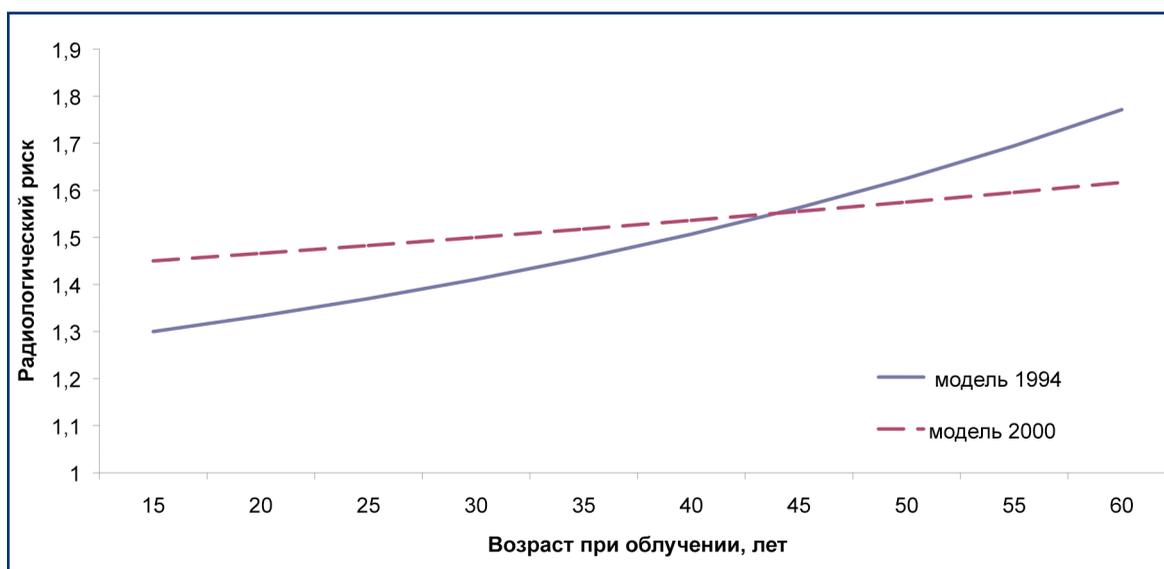
Основные международные стандарты в области радиологической защиты основаны на принципе ALARA, который рекомендует держать уровень облучаемости на разумно достижимом низком уровне (as low as reasonable achievable). Поскольку на международном уровне используется линейная беспороговая модель «доза-эффект», понятно, что желательным остается действительно уменьшение доз облучения. Вместе с тем, также понятно, что при этом растет стоимость защиты, которая может достигать на каком-то этапе уже неприемлемо высокий уровень. Необходимо искать оптимальный уровень.



Технология решения задачи оптимизации радиологической защиты может быть разной. В одном случае пользуются усредненными (номинальными) параметрами модели (это как средняя температура в больнице). В другом случае для оценки риска радиологических событий применяют индивидуальные характеристики. Рассмотрим основные выводы и рекомендации Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), МКРЗ и МАГАТЭ по оценке индивидуальных радиологических рисков.



НКДАР ООН за последние годы в своих отчетах опубликовал три основные модели по оценке радиологического риска на индивидуальном уровне (1994 г., 2000 г. и 2006 г.). В этих моделях, в частности, уточняется радиологический риск на единицу дозы для разных возрастных групп на момент облучения. Учитывается также сравнительная биологическая эффективность острого и хронического облучения. Эти модели положены в основу рекомендаций МКРЗ.



Зависимость радиологического риска в моделях НКДАР ООН от возраста при облучении (доза 1 Зв, рак легкого, мужчины)

В последние три года МКРЗ выпустила ряд рекомендаций первостепенного значения. Рассмотрим лишь два базовых документа.

В новых рекомендациях МКРЗ (Публикация 103) с учетом последних эпидемиологических данных подчеркивается, что при интерпретации коллективной дозы необхо-

димо рассматривать целый ряд аспектов, включая, например, возрастные характеристики и распределение дозы во времени. Понятно, что без учета этих аспектов невозможно дать объективную оценку радиологических последствий на основе коллективной дозы.

### Публикация 103 МКРЗ: Рекомендации 2007 г.

«При вычислении и интерпретации коллективной эффективной дозы следует рассмотреть и критически оценить нижеследующие аспекты для того, чтобы избежать неправильного употребления коллективной эффективной дозы:

- число облученных индивидуумов;
- возраст и пол облученных лиц;
- диапазон индивидуальных доз;
- распределение дозы во времени;
- географическое распределение облученных индивидуумов»

Стр. 295, пар. В 240

Несколько ранее МКРЗ была выпущена Публикация 101, которая непосредственно ориентирована на проблему оптимизации радиационной защиты. В этой Публикации даются жесткие ограничения по использованию коллективной дозы и вводится понятие «многомерной матрицы коллективных доз».

### Публикация 101 МКРЗ: Оптимизация радиологической защиты

«...коллективная доза в 1 Чел-Зв, получающаяся из 10-ти индивидуальных доз по 100 мЗв, и такая же коллективная доза, получающаяся из 1000 доз по 1 мЗв, не будут оцениваться одинаково»

Стр. 97, пар. А11

$10 * 100 \text{ мЗв} \neq 1000 * 1 \text{ мЗв}$

### **Публикация 101 МКРЗ: Оптимизация радиологической защиты**

**«Каждая группа из популяции, подвергшейся действию источника, может быть описана различными атрибутами, такими как возраст, пол и привычки, а так же различными параметрами облучения...**

**...полная коллективная доза не является полезным средством помощи принятия решения...**

**Результат может быть представлен многомерной матрицей коллективных доз»**

**Стр. 73, пар. (п), (р)**

**Стр. 74, пар. (q)**

Необходимо также отметить важность и своевременность Технического документа МАГАТЭ № 870. В нем приводятся конкретные алгоритмы оценки индивидуальных радиологических рисков на основе итоговых отчетов НКДАР ООН и рекомендаций МКРЗ.

Таким образом, говоря о текущих международных стандартах радиологической защиты персонала и населения, можно сделать основной вывод о том, что наблюдается выраженная тенденция к индивидуализации оценки радиологических рисков с использованием максимального объема доступной информации.

## СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ – ОПЫТ ВЕДУЩИХ СТРАН

Конвенция Международной организации труда № 121 «О пособиях в случаях производственного травматизма» требует, чтобы работники, у которых развился рак в результате профессионального облучения, должны получить компенсацию. Рак – широко распространенное заболевание. В развитых странах более трети населения заболевают раком в течение жизни, а от одной пятой до одной четверти лиц умирает от злокачественных заболеваний. Поэтому среди работников атомной отрасли, профессионально подвергающихся воздействию радиации, у подавляющего большинства лиц рак будет развиваться по причинам, конечно, не связанным с их работой.

В настоящее время невозможно клинически отличить радиационно-индуцированные раки на фоне раков, возникающих в связи с другими причинами. Для того, чтобы программа компенсационных выплат носила объективный и транспарентный характер, была разработана методология «установленной доли» (*assigned share methodology*). Каждому работнику (бывшему работнику), на основе полученных им доз облучения и других индивидуальных характеристик, рассчитывается величина, численно равная отношению избыточного относительного риска к относительному риску. Чем больше эта величина – «установленная доля», тем больше вероятность того, что рак вызван профессиональным облучением.

Математические модели развития раковых заболеваний, которые используются при вычислении «установленной доли», содержат набор параметров, имеющих неопределенности. Например, коэффициенты риска имеют неопределенности, обусловленные статистическими процедурами их получения, и т.д. Учет неопределенностей при вычислении «установленной доли» является необходимым компонентом в программах компенсационных выплат, действующих в Великобритании и США.

Программа компенсации заболеваний, вызванных радиацией (Compensation Scheme for Radiation Linked Diseases) начала действовать в Великобритании с ноября 1982 года в виде соглашения между профсоюзами и работодателями (в лице British Nuclear Fuels). Общая сумма выплат составила 5,3 миллиона фунтов стерлингов. Компенсации выплачивались с использованием пропорциональной системы: если рассчитанная величина «установленной доли» составляла 50% или больше, работник, заболевший раком, получал полную сумму, от 40% до 49,9% – три четверти полной суммы, от 30% до 39,9% – половину полной суммы, от 20% до 29,9% – одну четверть полной суммы, менее 20% – требование отклонялось.

Размер «полной суммы» зависит от тяжести заболевания. Использование пропорциональной системы выплат позволило учесть неопределенности, имеющиеся в процедуре вычисления «установленной доли». Среди работников, получивших компенсацию, две трети имела величину «установленной доли» меньше 50%, и эти люди не получили бы компенсации через суд. Более подробную информацию о Программе компенсации заболеваний, вызванных радиацией можно найти на веб-сайте <http://www.csrlid.org.uk>.

The screenshot shows the homepage of the Compensation Scheme for Radiation-Linked Diseases (CSRLD). The page is titled "Welcome" and provides information for potential claimants. It includes a navigation menu on the left and a main content area with the following text:

**Welcome**

This is the website of the UK nuclear industry's Compensation Scheme for Radiation-Linked Diseases. This site has been created in order to provide potential claimants with the information they will need in order to make a claim and to provide them (and other interested persons) with information on what the Scheme is, why it was conceived and how it operates. There are also links to [employers'](#) and [unions'](#) websites, if you wish to know more about the Scheme participants, and links to sites offering information on the [risks](#) associated with radiation exposure.

The Scheme is a joint initiative between the nuclear industry's employers and their trades' unions and it enjoys the ongoing support of all parties as it provides a means of resolving claims without the need for court action (which is lengthy, stressful for all concerned and very expensive), which is more generous in its assessment of cases than a court would probably be and awards compensation payments at lower levels of causation than would a court.

If you would like to make a claim under the Scheme, please go to the "[Making a Claim](#)" section of this site. The site provides information on the following subjects:

- » **Scheme History** - why the Scheme was conceived and how it has developed
- » **Scheme Employers and Trades' Unions** - outbound links to their websites.
- » **Making A Claim** - Information on eligibility and how to make a claim.
- » **Case Processing** - Information on how cases are processed and the target timescales for each stage.
- » **Q&A** - Some frequently asked questions with answers.
- » **Annual Statement** - The Scheme's Annual Statement.
- » **Contact the Scheme** - Details of how to contact the Compensation Scheme.
- » **Published Papers** - Papers on the Scheme which have been published in scientific journals.
- » **Freedom of Information Act** - Details about the scheme, its activities and the way it operates as required by the Act.
- » **Useful Links** - information on radiation exposure and associated risks

We hope you find our site informative and easy to use. If you have any questions which remain unanswered or any comments on how you found our site (good or bad) please let us know by completing the [enquiry/feedback form](#).

© 2003 Compensation Scheme for Radiation-Linked Diseases

---

С октября 2000 года в США действует Закон о программе компенсаций профессиональных заболеваний работников атомной промышленности (*Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act*). Закон указывает, что возместимость претензии на компенсацию должна «основываться на полученной работником дозе облучения ... и верхней границе 99-процентного доверительного интервала вероятности причинно-следственной связи». Таким способом учитываются неопределенности, возникающие при вычислении вероятности причинно-следственной связи (в более поздней терминологии – «установленной доли»), в том числе неопределенность в оценках доз, полученных работником. Неопределенности доз облучения, полученных работниками на различных предприятиях за все время их существования, определяются специально созданным консорциумом. Трудоемкость этой работы является главной причиной того, что из 21 тысячи поданных требований, рассмотрено менее 10%. Каждое второе из рассмотренных требований компенсации удовлетворено. Общая сумма выплат составила 65 миллионов долларов. Копию Закона о программе компенсаций, а также ряд документов, связанных с его осуществлением можно найти по адресу [www.cdc.gov/niosh/ocas](http://www.cdc.gov/niosh/ocas).

## АРМИР – СИСТЕМА ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

На высшем государственном уровне неоднократно подчеркивалось, что успешное развитие атомной энергетики в нашей стране должно быть обеспечено выполнением жестких требований по ядерной и радиационной безопасности, которые в свою очередь должны соответствовать самым высоким международным стандартам. В Основах госполитики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации также подчеркивается необходимость «реализации концепции социально приемлемого риска».

Госкорпорация «Росатом» совместно с Национальным радиационно-эпидемиологическим регистром и Российской научной комиссией по радиационной защите при РАМН разработала систему АРМИР, которая реализует современные модели по оценке профессионального радиационного риска, предложенные авторитетными международными организациями: Научным комитетом ООН по действию атомной радиации, МАГАТЭ и Международной комиссией по радиологической защите.

## Индивидуальные радиологические риски профессионального облучения

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»

Доклад 2006 года Научного комитета ООН по действию атомной радиации

серия докладов по безопасности

Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующего излучения

Действующие основные нормы безопасности Международного агентства по атомной энергии

РОСАТОМ

НРЭР

Рекомендации 2007 Международной комиссии по радиологической защите

Национальный радиационно-эпидемиологический регистр

АРМИР

Компьютерная система АРМИР ориентирована на решение двух основных практических задач:

- оптимизация облучаемости персонала Госкорпорации «Росатом», состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле, с учетом современных международных стандартов по оценке индивидуального радиационного риска
- использование результатов, полученных по данной технологии, в системе добровольного медицинского страхования для оказания адресной клинико-диагностической помощи лицам, отнесенным к группе повышенного риска.

Производственное объединение "МАЯК"  
служба радиационной безопасности

**Автоматизированное  
Рабочее  
Место по оценке  
Индивидуальных  
Рисков**

**- АРМИР -  
версия 5.0**

Метод формирования групп риска

Социально-приемлемый порог

Учет факторов неопределенности

Ввод (редактирование) данных

Просмотр документов

Просмотр отчетов

Завершение работы

Расчет и прогноз рисков

Управление рисками

Прогноз заболеваемости

Автоматизированное рабочее место по оценке индивидуального риска (АРМИР) позволяет в интерактивном режиме решать аналитические и прогнозные задачи и состоит из пяти вложенных версий.

Кратко остановимся лишь на основных задачах, которые решаются системой АРМИР от версии 1.0 до окончательной версии 5.0.

## АРМИР: версия 1.0

Как известно, величина атрибутивного риска (**AR**) определяется по следующей формуле:

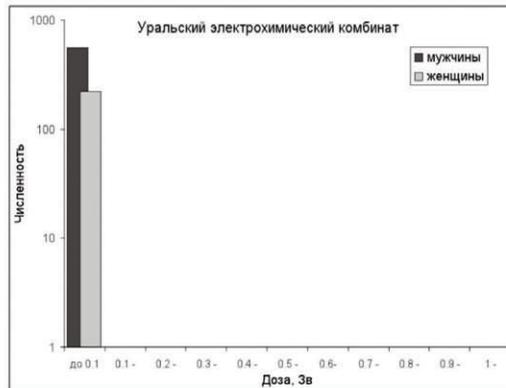
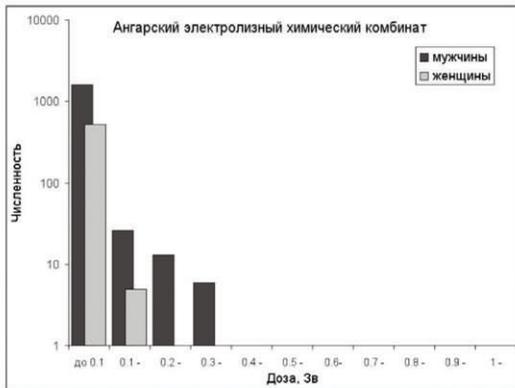
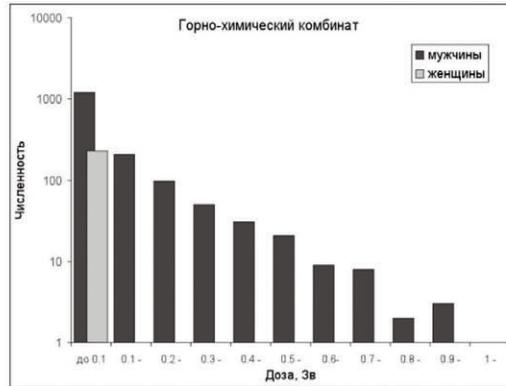
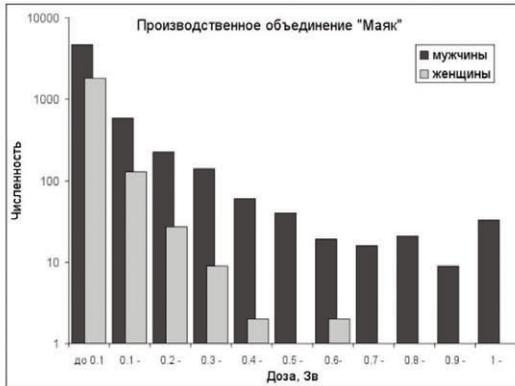
$$AR = ((O - E) / O) \cdot 100\%,$$

где **O** – наблюдаемое число онкозаболеваний в облученной когорте, **E** – ожидаемое число онкозаболеваний в этой когорте при отсутствии радиационного воздействия.

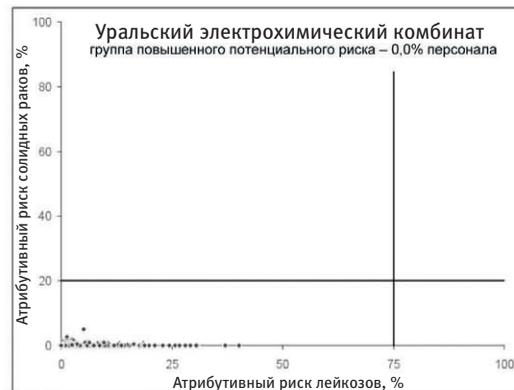
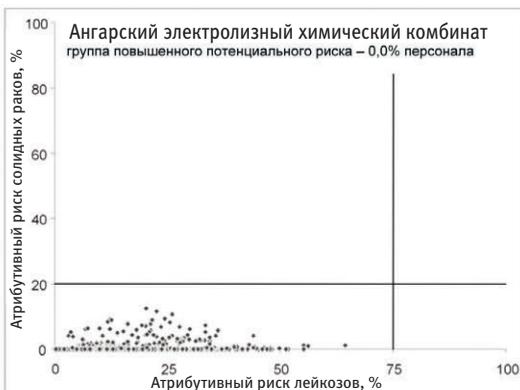
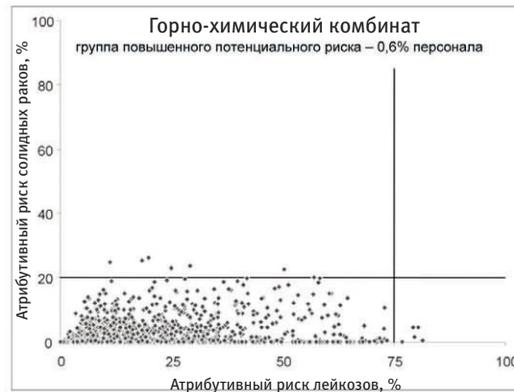
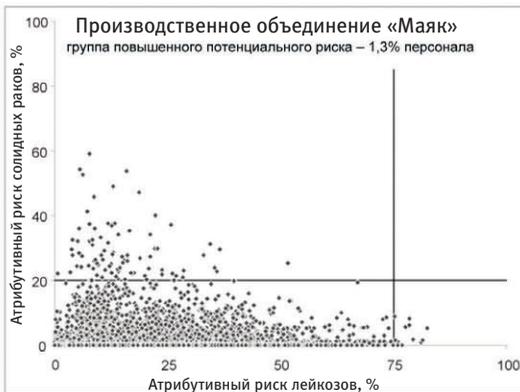
Так, например, если наблюдается 100 случаев в некоторой когорте, а ожидалось 50, то **AR**=50%. Как уже отмечалось, величина **AR** определяется многими индивидуальными характеристиками: пол, возраст при облучении, достигнутый возраст, суммарная и годовая доза и т.д.

АРМИР (версия 1.0) реализует оценку величины индивидуального риска по современным моделям Научного комитета ООН по действию атомной радиации. При расчете индивидуального риска для всего персонала, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК), формируются две группы: группа потенциального риска (ГПР), в которой атрибутивный риск по солидным ракам равен и выше 10%, а по лейкозам равен и выше 50%, и группа повышенного потенциального риска (ГППР), в которой по солидным ракам **AR**≥20%, а по лейкозам – **AR**≥75%. Результаты анализа показали, что в группу повышенного потенциального риска попадает не более 1,5% персонала, состоящего на ИДК. Их средний стаж работы составляет 45 лет и накопленная доза облучения – более 600 мЗв. Понятно, что этот персонал принимал непосредственное участие в становлении атомной отрасли в нашей стране.

## Распределение персонала по величине накопленной дозы облучения



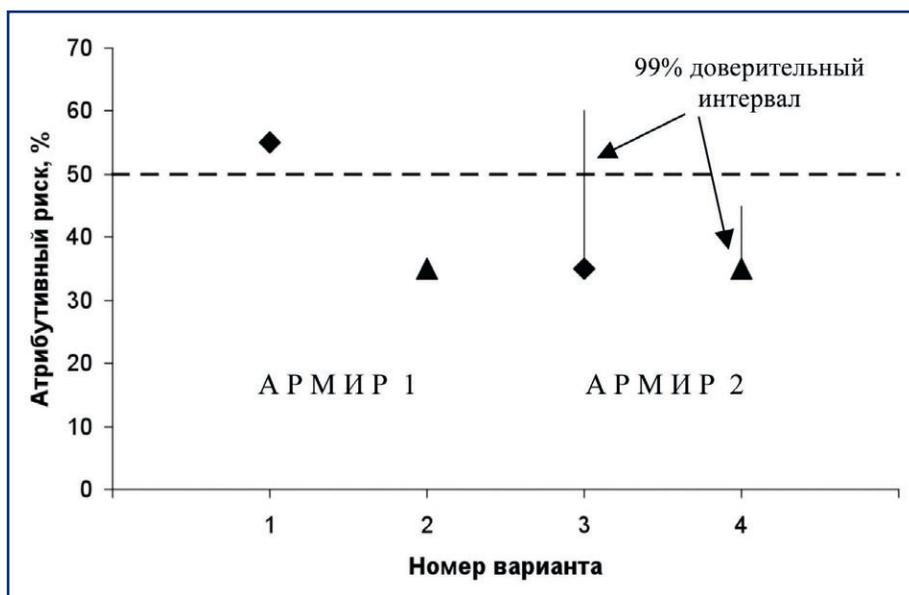
## Распределение персонала по величине индивидуального атрибутивного риска



## АРМИР: версия 2.0

В настоящее время рассматриваются два основных подхода по оценке индивидуального радиационного риска. Первый подход получил внедрение в атомной отрасли Великобритании и реализован в программах АРМИР, версия 1.0. Он основан на точечной оценке величины атрибутивного риска. Американский подход несколько сложнее. Там считается не только точечная оценка величины атрибутивного риска, но величина его 99% доверительного интервала. И если верхняя граница доверительного интервала превышает некоторое пороговое значение атрибутивного риска (например, 50%), то случай онкозаболевания регистрируется как радиационно-обусловленный. Величина доверительного интервала считается с учетом фактора неопределенности дозиметрических и других индивидуальных данных. Следует отметить, что технология оценки индивидуального радиационного риска в терминах атрибутивного риска введена в действие в 2000 г. Конгрессом США специальным законодательным актом (Act of 2000, 42USC7384).

Формирование групп радиационного риска в системе АРМИР:  
версия 1.0 и версия 2.0



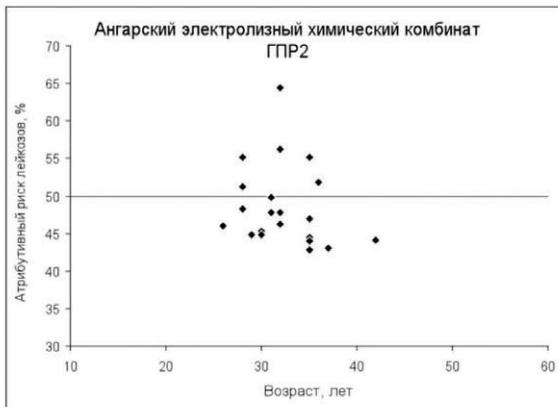
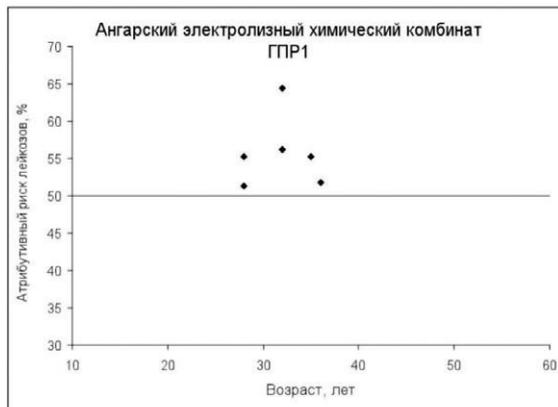
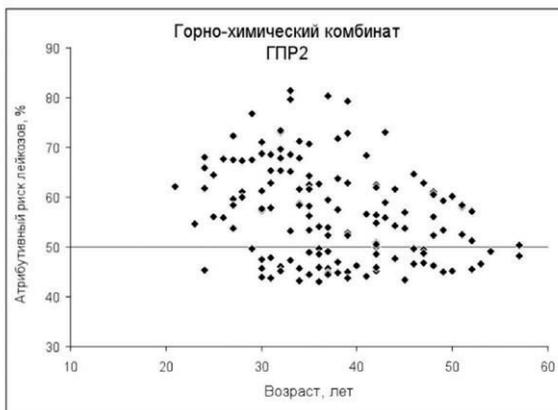
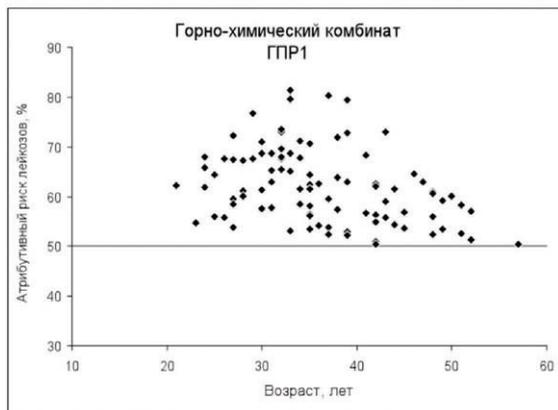
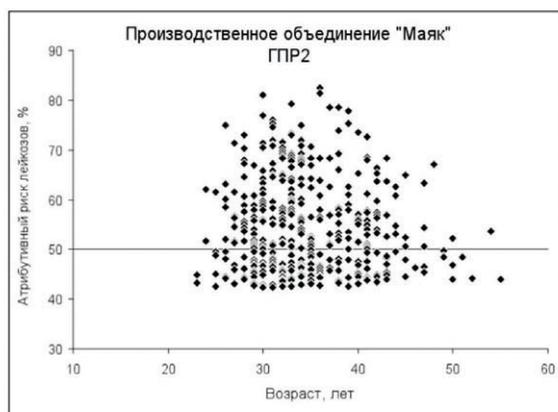
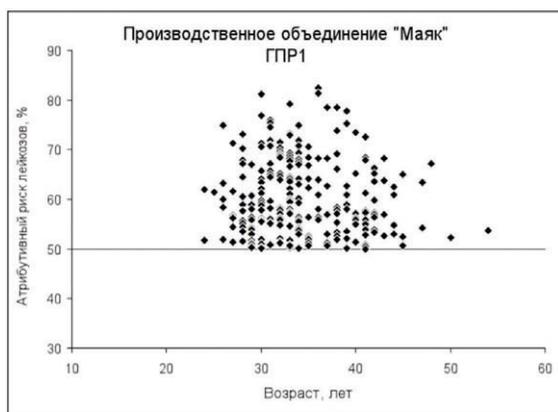


Рассмотрим четыре возможности (варианта). Предположим, порог атрибутивного риска принимается за 50%. Если величина индивидуального атрибутивного риска превышает этот порог (вариант 1), работник включается в группу риска. Если величина индивидуального атрибутивного риска менее 50% – он не включается (вариант 2). Варианты 3 и 4 отражают американский подход. В обоих случаях точечная величина атрибутивного риска, например, менее порогового значения. Но расчет 99% доверительного интервала атрибутивного риска показывает, что для варианта 3 верхняя граница доверительного интервала превышает пороговый уровень в 50%, поэтому этот сотрудник включается в группу потенциального риска.

Рассмотрим в качестве примера итоговые данные по формированию групп повышенного риска (ГПР) заболеваемости лейкозами среди мужского персонала, состоящего на ИДК. Как известно, радиационный риск лейкозов (рак крови) в 4-5 раз выше риска других онкологических заболеваний (солидных раков) на единицу дозы. Вместе с тем, хорошо известно, что спонтанная частота лейкозов (не обусловленных радиационным фактором) примерно в 25-30 раз меньше чем солидных раков, т.е. лейкоз – это редкое заболевание. Поэтому величина порога в системе АРМИР для атрибутивного риска по лейкозам принимается 50%.

Обозначим через ГПР1 группу потенциального риска (лейкозы) по АРМИР (версия 1.0), а через ГПР2 – группу потенциального риска по АРМИР (версия 2.0) с учетом факторов неопределенности. Пороговое значение величины атрибутивного риска в данном случае составляет 50%. Как и следовало ожидать, ГПР2 превосходит по численности ГПР1. В ГПР2 (американский стандарт) включены все лица из ГПР1 (английский стандарт), а также добавлен новый персонал, у которого точечная оценка атрибутивного риска хоть и меньше 50%, но 99% доверительный интервал превышает 50%. Интересно заметить, что в ГПР2 (американский стандарт) не включены работники, имеющие точечную оценку атрибутивного риска менее 40%.

Формирование групп потенциального риска системой АРМИР  
(ГПР1 – версия 1.0; ГПР2 – версия 2.0)



## АРМИР: версия 3.0

Как было отмечено выше, версии 1.0 и 2.0 системы АРМИР ориентированы на компьютерные технологии по формированию групп потенциального риска (ГПР) на основе современных международных стандартов.

После формирования ГПР возникает следующая задача – прямой расчет числа возможных радиологических эффектов (онкозаболеваний) среди всего персонала и сформированной группы потенциального риска. Понятно, что если частота прогнозируемой заболеваемости в ГПР значительно превышает аналогичный показатель по всему персоналу, можно действительно говорить об эффективности технологии формирования ГПР.

Рассмотрим конкретный пример по персоналу ГХК, состоящему на ИДК. 1875 человек из персонала ГХК включено в систему АРМИР. Ранее (АРМИР, версии 1.0, 2.0) по этому персоналу была сформирована группа потенциального риска. По критерию социальной приемлемости (АРМИР, версия 1.0; AR по солидным ракам более 10%, AR по лейкозам более 50%) эта группа включает 174 человека, т.е. 9,3% от всего персонала. Одной из основных задач системы АРМИР (версия 3.0) было дать прогностическую оценку за жизнь числа радиационно-обусловленных онкозаболеваний среди всего персонала (1875 человек) и ГПР (174 человека).

Для всего персонала число радиационно-обусловленных онкозаболеваний за всю жизнь составляет 10 случаев, для ГПР – 3 случая. Отсюда оцениваются частоты:  $10/1875=0,53 \cdot 10^{-2}$  и  $3/174=1,72 \cdot 10^{-2}$ . Отношение указанных частот:

$1,72 \cdot 10^{-2} / 0,53 \cdot 10^{-2}$  дает «коэффициент эффективности» методики формирования групп потенциального риска. В данном случае этот коэффициент равен 3,3.

### «Коэффициент эффективности» методики формирования групп потенциального радиационного риска

Радиационно-индуцированные заболевания	Предприятия			
	ПО «Маяк»	ГХК	АЭХК	ЧМЗ
Лейкозы	1,5	1,8	1,6	1,2
Солидные раки	2,7	3,3	3,4	1,8
Рак легкого	1,9	3,4	3,2	1,6

Таким образом, «коэффициент эффективности» во всех случаях превышает 1, что говорит об обоснованности сформированных ранее групп потенциального риска. Если вернуться к примеру по ГХК, то легко заметить, что численность ГПР составляет только 9,3% от всего персонала, а возможное число радиационно-обусловленных ра-

ков в этой группе достигает 30% от числа прогнозируемых радиационно-обусловленных раков для всего персонала. То, что ГПР в 10 раз меньше по численности, чем весь персонал, позволяет применять современные дорогостоящие технологии ранней диагностики онкологических заболеваний.

Рассмотрим экономическую составляющую технологии АРМИР. Пусть  $M$  – число радиационно-обусловленных онкозаболеваний, а  $D$  – стоимость (в рублях) потери одного сотрудника. Тогда финансовые потери предприятия, связанные с выбытием персонала по причинам профессиональных онкозаболеваний, определяются как произведение  $M \cdot D$ . С другой стороны, стоимость диагностических процедур равна  $N \cdot R$ , где  $N$  – численность персонала,  $R$  – стоимость (в рублях) диагностической процедуры. Исходя из условия, что затраты на медицинские процедуры не должны превышать финансовых потерь, связанных с выбытием персонала, величина  $R$  определяется:  $R \leq (M/N) \cdot D$ . Рассмотрим для примера это условие для персонала ГК. Для всего персонала:  $N=1875$  человек,  $M=10$  человек. Тогда  $R_1 \leq 5,3 \cdot 10^{-3} \cdot D$ . Для группы потенциального риска:  $N=174$  человека,  $M=3$  человека. Тогда  $R_2 \leq 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot D$ . Предположим, величина  $D$  – стоимость выбытия одного сотрудника равна 5 млн. рублей. Тогда  $R_1$  из условий экономической целесообразности должно быть  $R_1 \leq 26$  тыс. рублей и  $R_2 \leq 85$  тыс. рублей. Имея значительный финансовый потенциал, понятно, что группа потенциального риска может обслуживаться с применением современных дорогостоящих медицинских технологий ранней диагностики возможных онкологических заболеваний.

Таким образом, АРМИР (версия 3.0) позволяет решать задачи повышения эффективности медицинского страхования. Эти вопросы в настоящее время приобретают особую актуальность в связи с ратификацией нашей страной Венской конвенции о гражданской ответственности за ядерный ущерб от 21 мая 1963 г.

## АРМИР: версия 4.0

Эта версия системы АРМИР непосредственно направлена на решение задачи оптимизации радиационной защиты персонала с учетом возможности управления динамической облучаемости работников на индивидуальном уровне.

Основная стратегия состоит в том, чтобы численность группы риска, по крайней мере, не возрастала. Поэтому необходимо на индивидуальном уровне определить численность группы повышенного риска и численность кандидатов возможного попадания в эту группу в текущем году. Если для персонала из ГПР критериями служат величины атрибутивного риска (лейкозы – 50%, солидные раки – 10% и рак легкого –

20%), то для кандидатов, естественно, эти критерии ниже (лейкозы – 45%, солидные раки – 9% и рак легкого – 18%). Системой АРМИР версии 4.0 для каждого кандидата рассчитывается коэффициент управления дозой облучения ( $K_y$ ):  $K_y = D_+ / D_0$ , где  $D_0$  – годовая доза за последний отчетный год,  $D_+$  – планируемая доза, при которой работник не выйдет за границу принятого атрибутивного риска.

#### Данные АРМИР (версия 4.0)

	Солидные раки			Лейкозы		
	ГПР	Кандидаты	Работники с $K_y < 1$	ГПР	Кандидаты	Работники с $K_y < 1$
ПО «Маяк»	462	75	10	535	192	87
ОАО «АЭХК»	2	3	0	39	30	24
ОАО «ЧМЗ»	161	29	4	135	77	18

Так, например, по ОАО «ЧМЗ» у 22 работников необходимо сокращение величины планируемой облучаемости ( $K_y < 1$  по солидным ракам – 4 человека;  $K_y < 1$  по лейкозам – 18 человек). По ОАО «ЧМЗ» всего состоящих на ИДК – 1294 человека. Таким образом, на этом предприятии речь идет об уменьшении лучевых нагрузок 22 сотрудникам, что составляет только 1,7% всего персонала.

Понятно, что решение такой задачи на практике в рамках системы АРМИР (версия 4.0) вполне выполнимо и позволяет решить задачу оптимизации радиационной защиты персонала на каждом отдельном предприятии Госкорпорации «Росатом».

## АРМИР: версия 5.0

Как уже было отмечено, система АРМИР состоит из вложенных версий. Это означает, что версия 5.0 является лишь дополнением к версии 4.0, версия 4.0 соответственно дополняет версию 3.0 и т.д.

АРМИР версии 5.0 обеспечивает оценку индивидуальных радиационных рисков не только в терминах относительного (атрибутивного) риска, но и в терминах абсолютного риска. Действительно, с 1 сентября 2009 г. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ (№ 47 от 7 июля 2009 г.), которое зарегистрировано Министерством юстиции РФ (№ 14534 от 14 августа 2009 г.) введены в действие новые Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). В п. 2.3 этого документа указывается, что «в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего

излучения пределы доз облучения в течение года устанавливаются исходя из следующих значений индивидуального пожизненного риска: для персонала –  $1,0 \cdot 10^{-3}$ , для населения –  $5,0 \cdot 10^{-5}$ . Уровень пренебрежимо малого риска составляет  $10^{-6}$ .»

Поэтому главной задачей системы АРМИР (версия 5.0) являлось обеспечить технологические возможности оценки индивидуального радиационного риска для каждого работника, состоящего на ИДК в Госкорпорации «Росатом», как в терминах относительного, так и в терминах абсолютного риска.

В НРБ риск для персонала  $10^{-3}$ . Что это означает? Оценка риска на этом уровне была предложена МКРЗ. Известно, что средняя частота несчастных случаев и травматизма на «безопасных» производствах со смертельным исходом составляет примерно 100 случаев в год на 1 млн. человек. По данным Международной организации труда (МОТ) в России этот показатель – 110 случаев, в Белоруссии – 112 случаев, в Таджикистане – 186 случаев. Таким образом, эти данные дают рисковый коэффициент  $10^{-4}$ . Для атомной промышленности МКРЗ предложил коэффициент  $10^{-3}$ , который и вошел в действующие Нормы радиационной безопасности.

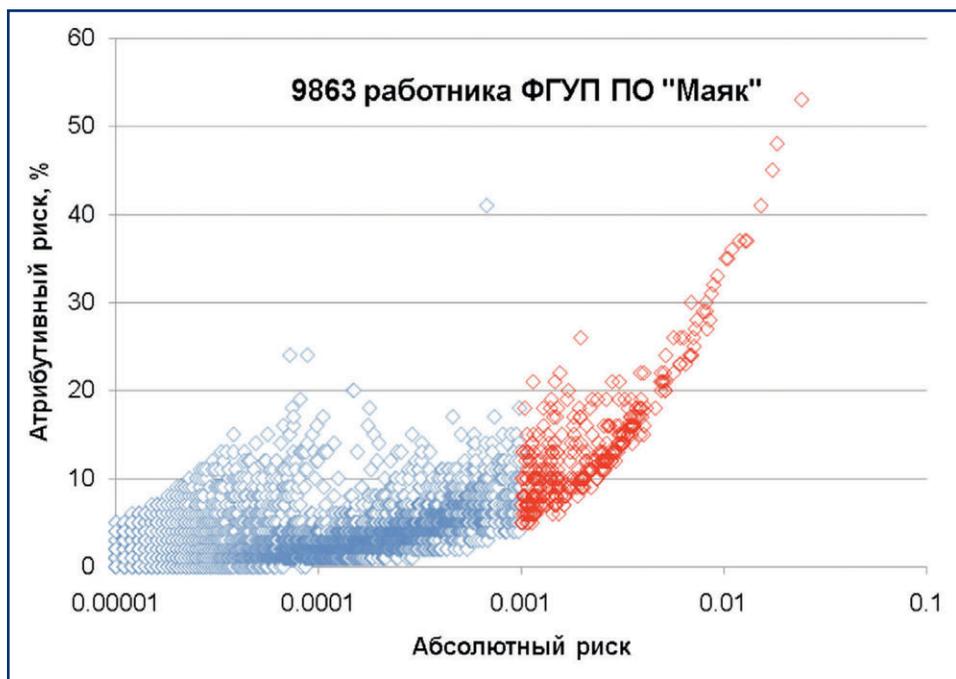
При хроническом облучении полный избыточный абсолютный риск раковых заболеваний EAR находится как сумма рисков  $EAR_{SOL}$  по солидным ракам и  $EAR_{LEU}$  по лейкозам:

$$EAR(u, s) = \int_{\tau_0}^{\tau_1} (EAR_{SOL}(\tau, u, D'(\tau), s) \cdot \xi(\tau) + EAR_{LEU}(\tau, u, D'(\tau), s) \cdot \zeta(\tau)) d\tau,$$

где  $u$  – возраст, на который рассчитывается риск,  $s$  – пол,  $\tau_0$  – время начала облучения,  $\tau_1$  – время окончания облучения,  $D'(\tau)$  – изменение мощность дозы во времени,  $\xi(\tau)$  – функция, описывающая выбор латентного периода для солидных раков,  $\zeta(\tau)$  – функция, описывающая выбор латентного периода для лейкозов.

Группа повышенного риска формируется из персонала, состоящего на ИДК и имеющего величину  $EAR \geq 10^{-3}$ .

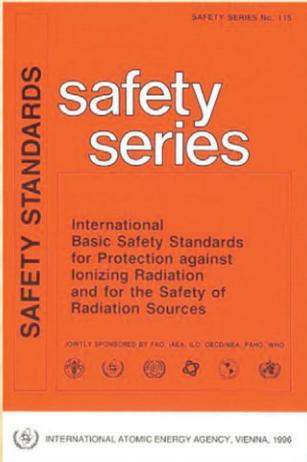
Такая работа, в частности, выполнена для персонала ПО «Маяк». Расчет индивидуальных рисков произведен для 9863 человек, состоящих в настоящее время на ИДК. Установлено, что повышенный абсолютный иск ( $EAR \geq 10^{-3}$ ) имеют 315 человек, что составляет 3,2% от всего персонала. Важно отметить, что средний стаж работы с источниками ионизирующего излучения для этих 315 человек составляет 42 года. Эта группа действительно относится к ветеранам отрасли, которые начали свою работу на ПО «Маяк» в 50-60 годах прошлого века.



Впервые были получены очень важные результаты. В частности, из 315 человек, превысивших риск  $10^{-3}$  год<sup>-3</sup> (НРБ-99/2009), только 52 человека одновременно имеют атрибутивный риск по солидным ракам более 20%. А именно эта величина атрибутивного риска, как было отмечено выше, является критерием формирования групп повышенного потенциального риска с учетом международных стандартов.

## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПЕРСОНАЛА ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

В соответствии с действующими стандартами МАГАТЭ работодатель должен обеспечить возможность получения информации о радиологических рисках для всего персонала и в случае нормальной эксплуатации, и в случае потенциального облучения.



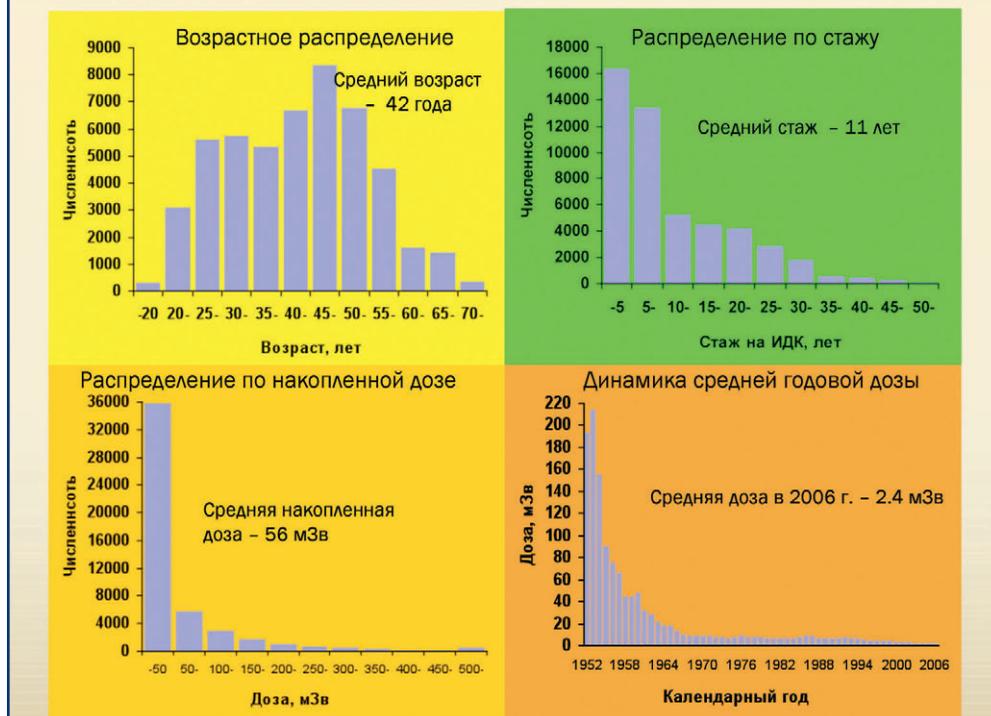
**I.27. Наниматели в сотрудничестве с зарегистрированными лицами и лицензиатами:**

**а) предоставляют всем работникам адекватную информацию о рисках для здоровья, связанных с их профессиональным облучением, как нормальным, так и потенциальным...**

стр. 47

В настоящее время технология АРМИР реализована на ведущих предприятиях Госкорпорации «Росатом». Получена оценка индивидуальных радиологических рисков для 52438 человек, состоящих на ИДК (это 72% от численности всех лиц, состоящих на ИДК).

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРСОНАЛА РОСАТОМА, СОСТОЯЩЕГО НА ИДК (52 438 СОТРУДНИКОВ)



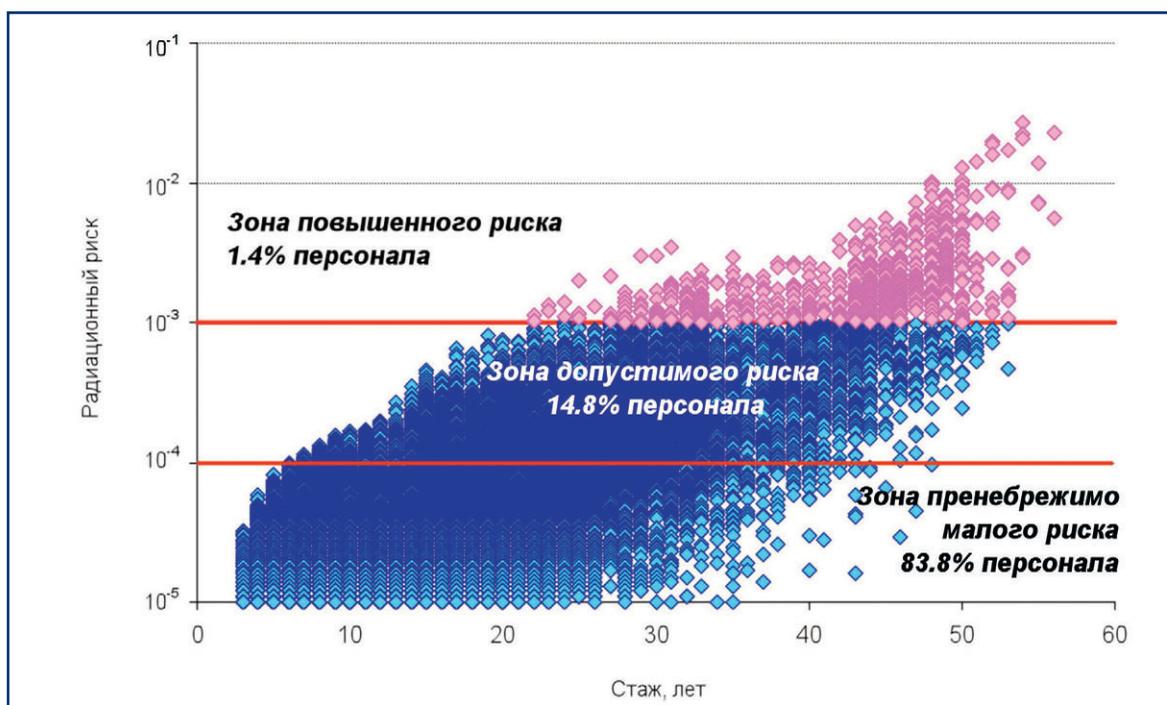
Профессиональные радиационные риски персонала предприятий Госкорпорации «Росатом», включенного в систему АРМИР

Наименование предприятий	Число лиц, включенных в АРМИР	Число лиц, имеющих радиационный риск	
		$10^{-4} - 10^{-3}$ «допустимый»	Более $10^{-3}$ «повышенный»
ФГУП «ПО «Маяк»	9900	1795	372
ОАО «Уральский электрохимический комбинат»	768	6	0
ОАО «ПО «Электрохимический завод»	1871	0	0
ФГУП «Горно-химический комбинат»	1911	424	63
ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат»	2347	62	4
ОАО «Сибирский химический комбинат»	2048	455	90
ФГУП «ГНЦ-НИИАР»	2534	435	9
ФГУП «ГНЦ-ФЗИ»	1125	382	72
ОАО «Машиностроительный завод»	2538	182*	0*
ОАО «Чепецкий механический завод»	1393	456	39
10 АЭС ОАО «Концерн «Энергоатом»	26003	3514	106
<b>ВСЕГО</b>	<b>52438</b>	<b>7711</b>	<b>755</b>

\* Для ОАО «Машиностроительный завод» приведены предварительные результаты.

В результате проведенных расчетов установлено:

- повышенный риск (более чем  $10^{-3}$ ) имеют в настоящее время 755 человек, что составляет 1,4% от всего персонала;
- приемлемый риск ( $10^{-4} - 10^{-3}$ ) – 7711 человек (14,8% от всего персонала);
- пренебрежимо малый риск (менее  $10^{-4}$ ) – 43972 человека (83,8% от всего персонала).



Распределение персонала Госкорпорации «Росатом» по радиационному риску и стажу

Следует отметить, что в группе повышенного риска (755 человек) средняя накопленная доза составляет 563 мЗв, средний возраст – 64 года и средний стаж работы с источниками ионизирующего излучения – 42 года. В эту группу входят, в том числе работники, принимавшие участие в становлении атомной отрасли, половина группы повышенного риска – это персонал ФГУП «ПО «Маяк» (372 из 755 человек).

Необходимо подчеркнуть, что к группе повышенного риска отнесены работники, имеющие риск больше  $10^{-3}$ . Эти риски обусловлены дозой облучения, накопленной за весь прошлый период профессиональной деятельности, при этом основная часть дозы облучения получена ими в начальный небезопасный период создания атомной отрасли, когда система радиационного контроля еще только зарождалась. Имеющиеся у этих же работников радиационные риски, полученные за счет доз облучения за последние годы, относятся к пренебрежимо малым рискам.

Основные этапные результаты работы по внедрению системы АРМИР были опубликованы в ведущих отечественных и международных научно-практических журналах и представлены общественным организациям [1-9].

## ПРОБЛЕМА ИНФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОСТИ

The image shows a screenshot of a journal article page. On the left is the cover of the journal 'РАДИАЦИЯ И РИСК' (Radiation and Risk), which is the bulletin of the National Register of Radiation and Epidemiological Data. On the right is the cover of the book 'ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА РОСАТОМА' (Optimization of Radiation Protection of Rosatom Personnel), published by COBET in 2007. The main content area shows the article title 'Concept of optimisation of the radiation protection system in the nuclear individual cancer risks and providing targeted health care' by Y. K. Ivanov et al. (2006). Below the title are links for 'Full text', 'PDF (215 KB)', and 'References'. At the bottom, there are footnotes identifying the authors' affiliations with various research centers and departments in Russia.

В заключение следует отметить, что Госкорпорация «Росатом» является в настоящее время единственной в мире крупной атомной компанией, которая в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ обеспечила оценку радиологического риска для 72% персонала, состоящего на ИДК.

Работа была активно поддержана руководством Госкорпорации «Росатом» (Е.В.Евстратов), Департаментом ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности Госкорпорации «Росатом» (А.М.Агапов, А.П.Панфилов) и службами радиационной безопасности ведущих предприятий отрасли (ПО «Маяк», Е.К.Василенко; ОАО «ЧМЗ», Е.Д.Паличев; ОАО «АЭХК», А.А.Козлов; ФГУП «ГХК», В.А.Русанов; ОАО «УЭХК», С.А.Глазунов; ФГУП «ГНЦ-ФЭИ», В.И.Вайзер).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов В.К., Цыб А.Ф., Панфилов А.П., Агапов А.М.** Оптимизация радиационной защиты: «дозовая матрица». М.: Медицина, 2006. 304 с.
2. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Agapov A.M., Panfilov A.P., Kaidalov O.V., Gorski A.I., Maksiourov M.A., Suspitsin Y.V., Vaizer V.I.** Concept of optimization of the radiation protection system in the nuclear sector: management of individual cancer risks and providing targeted health care //Journal of Radiation Protection. 2006. V. 26. P. 361-374.
3. **Иванов В.К., Цыб А.Ф., Панфилов А.П., Агапов А.М., Кайдалов О.В., Корело А.М., Максютков М.А., Чекин С.Ю., Кащеева П.В., Саенко А.С.** Оценка индивидуального радиационного риска при профессиональном хроническом облучении //Радиация и риск. 2008. Т. 17, № 3. С. 16-28.
4. **Иванов В.К., Панфилов А.П., Василенко Е.К., Глазунов С.А., Козлов А.А., Русанов В.А.** АРМИР: версия 2.0 //АНРИ. 2007. № 2(49). С. 41-44.
5. **Иванов В.К., Панфилов А.П., Василенко Е.К., Козлов А.А., Русанов В.А., Палличев Е.Д.** АРМИР: версия 3.0 //АНРИ. 2009. № 2. С. 49-51.
6. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Panfilov A.P., Agapov A.M., Kaidalov O.V., Korelo A.M., Maksiourov M.A., Chekin S.Y., Kashcheyeva P.V.** Estimation of individualized radiation risk from chronic occupational exposure in Russia //Health Physics. 2009. V. 97, N 2. P. 107-114.
7. **Иванов В.К., Агапов А.М.** Оптимизация системы радиационной защиты персонала атомной отрасли России //Бюллетень по атомной энергии. 2008. № 5-6. С. 76-79.
8. Отчет по безопасности. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». М.: Изд-во «Комтехпринт», 2008. 56 с.
9. Отчет по безопасности. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». М.: Изд-во «Комтехпринт», 2009. 65 с.



# INTRODUCTION

«Society without risks is utopian», says Publication 60 of the International Commission on Radiological Protection. And this is really so. Even at everyday level people are nowadays prepared to accept certain risk levels, realizing that otherwise one would not be able to use major benefits of the technical progress. However, the upper limit of permissible risk continues to be an issue. Its estimation is extremely challenging and depends on numerous factors: social, economic, environmental, demographic etc. The basics of the state policy on ensuring nuclear and radiological safety include, as one of the goals, implementation of the concept of socially acceptable risk. In this context, the State Corporation “Rosatom” several years ago strongly supported the initiative of the Russian Scientific Commission on Radiation Protection under the Russian Academy of Medical Sciences towards accelerated development and deployment of a new technological platform to ensure nuclear and radiological safety of nuclear workers monitored for radiation exposure through the use of personal dosimeters (ARMIR) based on the international standards on estimating individual radiation risk (“dose matrix”). By now a lot of the planned activities have been completed, enabling estimation of the current risks in 72% of the monitored personnel (52438 persons), of which only 1.4% (755 persons) were found to have an increased risk. Such large-scale efforts were undertaken for the first time in the world and are aimed to achieve the challenging goal of the optimization of radiological protection of the State Corporation “Rosatom” personnel at the federal and site level.

Director General  
the State Atomic Energy  
Corporation “Rosatom”

S.V. Kirienko

First Deputy of Chairman  
of the Russian Scientific Commission  
on Radiation Protection,  
Corresponding Member of RAMS

V.K. Ivanov

---

## CONCEPT OF SOCIALLY ACCEPTABLE RISK – PRINCIPLE OF THE STATE POLICY ON ENSURING NUCLEAR AND RADIOLOGICAL SAFETY

When opening the meeting of the State Council on the issues of development of international cooperation in the field of nuclear and radiological safety, V.V.Putin stressed: “In these days, new sources of power are being sought and used more widely in the world. Particular attention is being paid to nuclear energy. Russia should also strengthen its positions in this key field ... and stringent safety requirements throughout the production process are definitely a priority. These requirements should be in keeping with the rigorous international standards”.

In fact, the Federal law of 21.11.1995 No 170-FZ “On the use of atomic energy” (Article 53) states “Damage caused to the life and health of citizens is compensable”. A difficult question then arises: how to evaluate objectively the radiation-induced damage. According to the linear non-threshold “dose-response” model currently adopted by the international community, even low radiation doses can lead the radiological effects (cancers) with a non-zero likelihood. Hence radiological effects have to be estimated in terms of risk.

By the current international standards the risk at radiation dose 1 Sv is  $5 \cdot 10^{-2}$ . Hence, the risk at 1 mSv is  $5 \cdot 10^{-5}$ . Since this risk is 100 times lower the risk of the spontaneous cancer incidence (without radiation exposure), apparently, it can be considered as acceptable.

The proposed risk approach has been articulated in the Basics of the state policy on ensuring nuclear and radiological safety in the Russian Federation for the period to 2010 and beyond approved by the President of the Russian Federation.



APPROVED  
by the President of the Russian Federation  
V.Putin  
December 4, 2003.

**BASICS**  
of the State Policy on Ensuring Nuclear  
and Radiological Safety in the Russian Federation  
for the period to 2010 and for future period

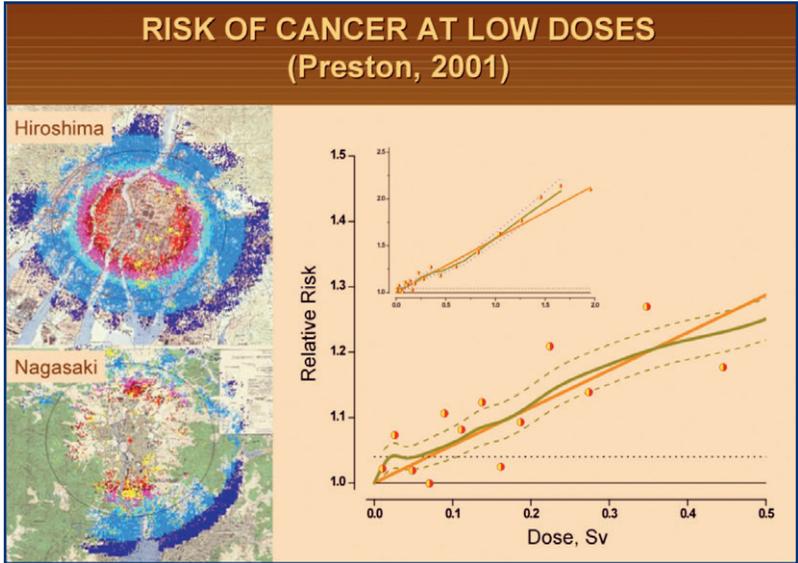
**III. Purpose and priority directions of the State Policy on ensuring nuclear and radiological safety**  
...necessary to increase focus and ensure resources on the following priority areas of activity:  
...  
*- radiation-epidemiological study of health status of the population exposed to radiation.*

**IV. Basic principles of the State Policy on ensuring nuclear and radiological safety**  
...  
*- realization of the concept of socially acceptable risk aimed at reducing nuclear and radiological risks.*

Thus, the implementation of the concept of socially acceptable risk has been enunciated as one of the key principles of the state policy in nuclear and radiological safety. In this regard, emphasis is also placed on the importance of radiation-epidemiological approaches for assessing objectively the health status of persons exposed to radiation.

## HIROSHIMA-NAGASAKI AND CHERNOBYL AS A SOURCE OF KNOWLEDGE ABOUT RADIOLOGICAL RISKS

Following the 1945 nuclear bombing of Hiroshima and Nagasaki the Registry of exposed persons (hibakusha) was established with a view of many-years epidemiological studies of their health (86.5 thousand people). Thus far, the Japanese Registry data remain to be the main source of information about long-term radiological effects of human exposure which is used widely in international publications and recommendations (ICRP, UNSCEAR, IAEA).



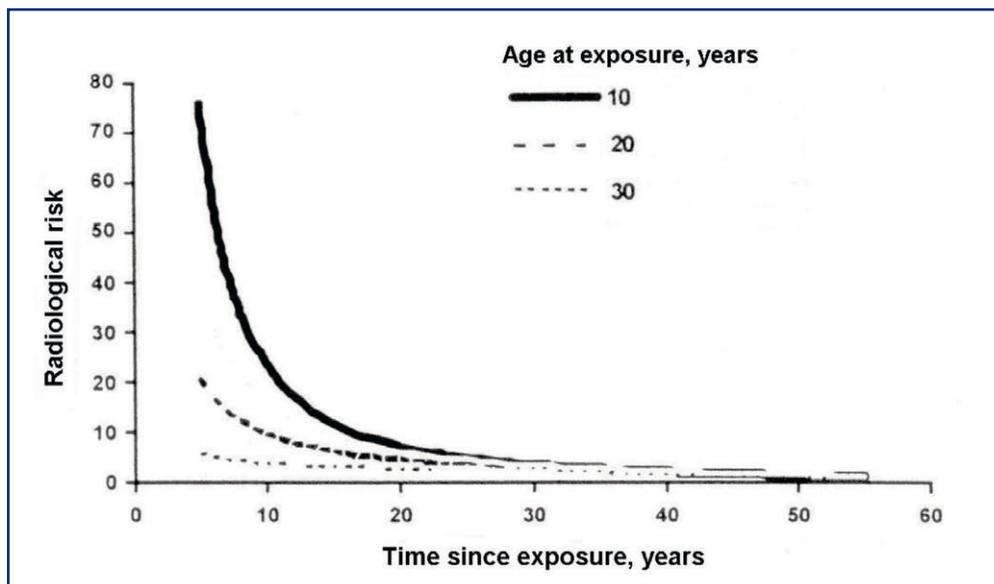
As a result of long-term and large-scale epidemiological studies in Japan 7% of the detected deaths from solid cancers were found to be related to radiation and 51% of the detected deaths from leukemia were radiation induced too. In addition, it has been shown that the “dose-response” relationship (the response is the increased cancer mortality and cancer incidence) is best described by the linear non-threshold model. At the same time, in the dose interval 0-100 mSv the uncertainty in the derived risk coefficients is very high (D.Preston et al., 2001).

### CANCER MORTALITY IN HIROSHIMA-NAGASAKI

Follow-up period 1950-1990

Death cause	Number of deaths	Number of radiation-induced deaths	% of deaths due to radiation factor
Leukemias	176	89	51%
Solid cancers	4 687	339	7%
Total	4 863	428	9%

One of the key conclusions from the Hiroshima-Nagasaki studies is that in addition of radiation dose (on the average 220 mSv) radiological risk is strongly dependent on individual characteristics, first of all, gender and age. As an example, the radiological risk to develop leukemia at dose 1 Gy may differ by 3-4 fold for 20 year-old people and those above 30. Dependence of radiation risk at dose 1 Gy on age at exposure and time since exposure (Richardson et al., 2009)



Dependence of radiation risk at dose 1 Gy on age at exposure and time since exposure (Richardson et al., 2009)

This conclusion is of paramount importance for the present-day activities of optimization of radiological protection of personnel and members of the public. In fact, the long-term effects were earlier estimated only by the collective dose with the risk coefficient  $5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ . Let us take up an example. Suppose, 100 million people were exposed to radiation at dose 1 mSv. In this case, by earlier recommendations, the number of radiation induced deaths from cancer should be  $5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^8 = 5000$  (five thousand people). Is there any evidence to this in reality? The large-scale epidemiological studies clearly show that there is no proof of an increase in the cancer incidence rate at low radiation doses. In this respect let us now turn to the data of the National Radiation and Epidemiological Registry established after the Chernobyl accident by the Decree of the RF Government based on the Medical Radiological Research Center of RAMS (Obninsk).

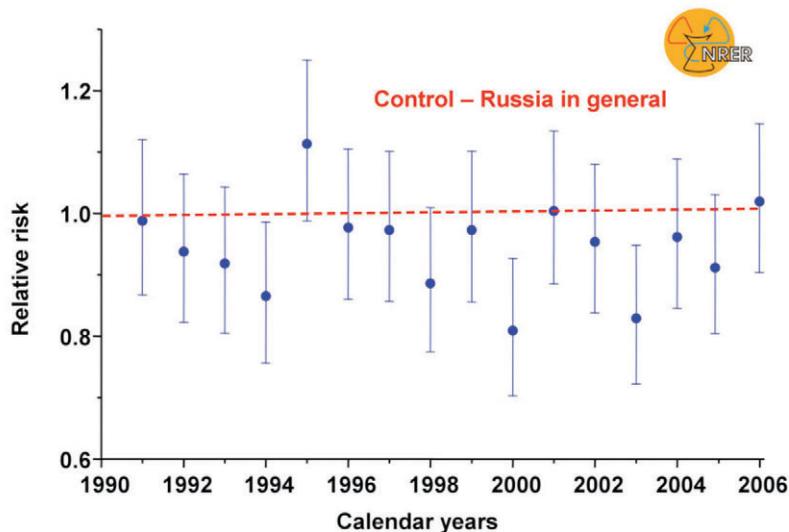
## INFRASTRUCTURE AND SCOPE OF THE NATIONAL REGISTRY

22 REGIONAL CENTERS  
 4 000 HOSPITALS AND CLINICS  
 749 117 REGISTERED PERSONS  
 15 000 000 DIAGNOSES

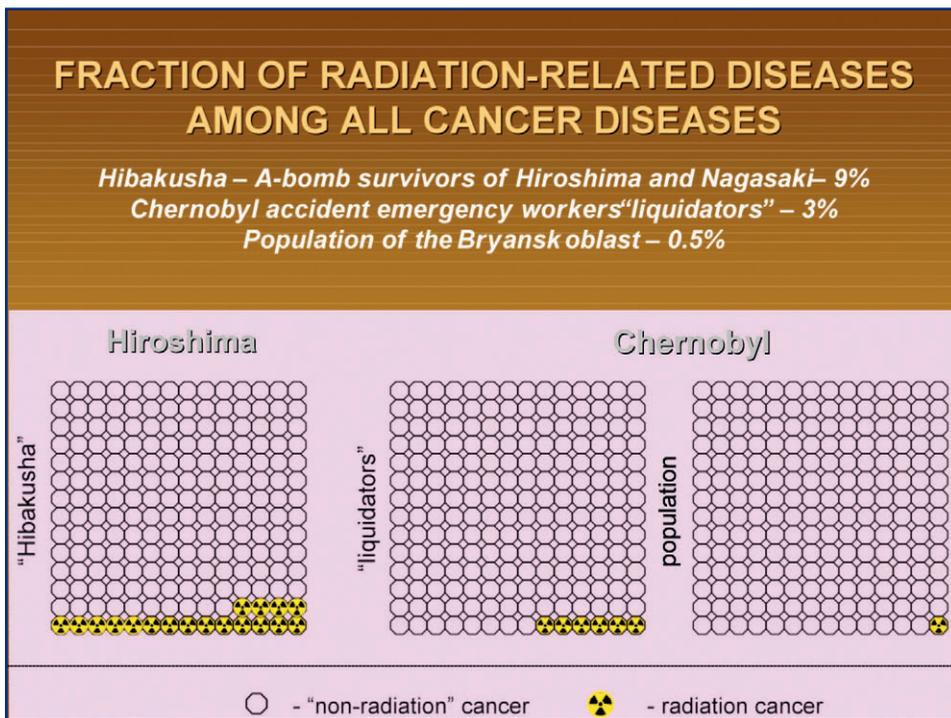


The National Registry is currently one of the largest databases in the world containing data about the health status of citizens exposed to radiation at low doses (up to 0.2 mSv). Even for the territory of the Bryansk region where according to data of the UNSCEAR the collective dose exceeds 10 thousand man-Sv the National Registry has not shown an increase in cancer incidence rate (except thyroid cancer), as compared to the population of Russia in general.

## RELATIVE RISK OF SOLID CANCERS IN THE BRYANSK REGION AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT



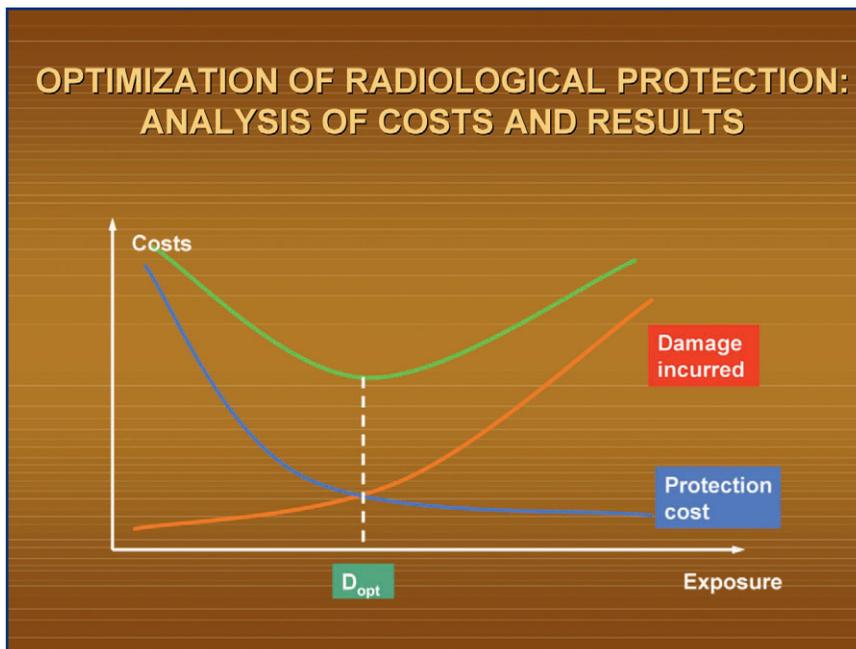
The National Registry did reveal radiation risks of significance for the 1986-1987 Chernobyl emergency workers. It should be kept in mind, however, that the average external radiation dose for them was 125 mGy.



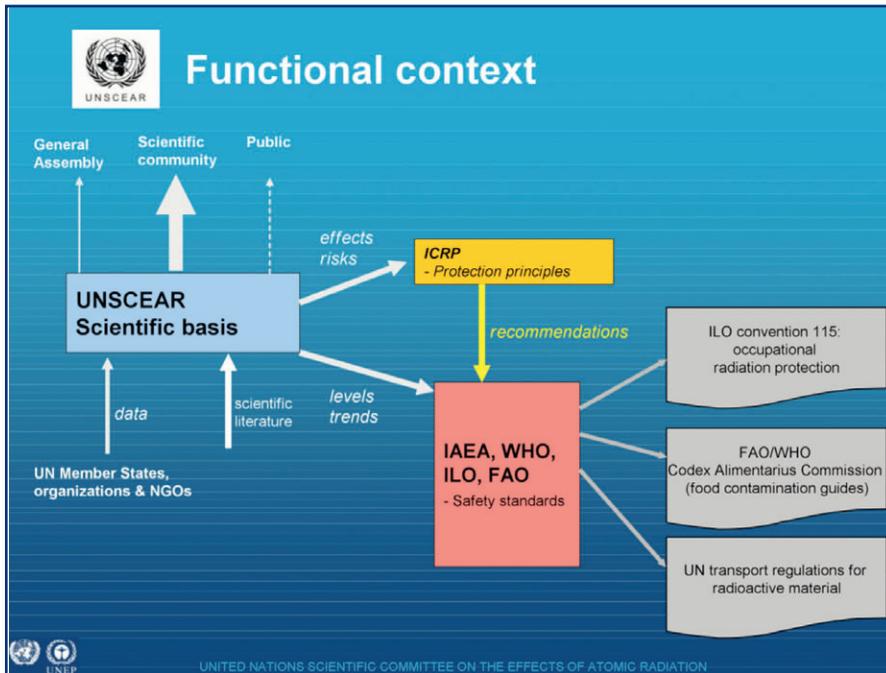
These data of the post-Chernobyl epidemiological studies of the National Registry became part of the final report on the radiological consequences of the Chernobyl accident published by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

## INTERNATIONAL STANDARDS OF RADIOLOGICAL PROTECTION: ESTIMATES OF INDIVIDUAL RISKS

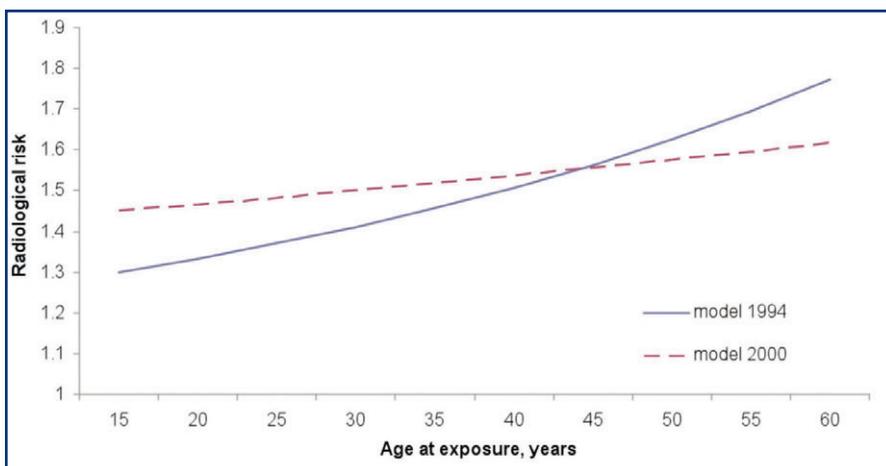
The basic international standards in the field of radiological protection are based on the ALARA principle prescribing that the exposure should be as low as reasonably achievable. Since the linear non-threshold “dose-response” model is used at the international level, a decrease in radiation dose is still advisable. On the other hand, it is also obvious that in this case the protection costs go up and at some point may become unacceptably high. Therefore, an optimum solution is to be sought.



The technology for addressing the radiological protection optimization can be different. Sometimes averaged (nominal) parameters are used (like hospital averaged temperature), or else the risk of radiological events is estimated using individual characteristics. Let us review the major conclusions and recommendations of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), ICRP and IAEA regarding evaluation of individual radiological risks.



The UNSCEAR has recently published three core models for estimating radiological risk at individual level (1994, 2000 and 2006). These models, in particular, define more accurately the radiological risk per unit dose for different age groups at time of exposure. Account is also taken of biological effectiveness of acute and chronic exposure. These models are underpinning the ICRP recommendations.



Dependence of radiological risk in the UNSCEAR models on age at exposure (dose 1 Sv, lung cancer, males)

In the latest three years the ICRP has issued a number of recommendations of primary importance. We refer to two key documents.

The new recommendations of the ICRP (Publication 103), with allowance for the latest epidemiological data, pinpoint that a variety of aspects should be considered in interpretation of the collection dose, including age characteristics and dose distribution in

### ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations

«In the calculation and interpretation of collective effective dose, the following aspects should be considered and critically reviewed in order to avoid a misuse of collective effective dose:

- Number of exposed individuals;
- Age and sex of exposed persons;
- Range of individual doses ;
- Dose distribution in time; and ;
- Geographical distribution of exposed individuals »

p. 314, par. B 240

### ICRP Publication 101: The Optimisation of Radiological Protection

«...a collective dose of one man sievert resulting from ten individual doses of 100 mSv and the same collective dose resulting from 1000 doses of 1 mSv will not be assessed in the same way...»

p. 97, par. A 11

$10 * 100 \text{ мЗв} \neq 1000 * 1 \text{ мЗв}$

### ICRP Publication 101: The Optimisation of Radiological Protection

«Each group of population affected by a source can be described by different attributes, such as age, gender, and habits, as well as by various exposure parameters,...

... the total collective effective dose ... is not a useful tool for decision aiding...

The result ... may be presented in a multidimensional collective dose matrix.»

Стр. 73, пар. (n), (p)

Стр. 74, пар. (q)

time. It stands to reason that objective assessment of radiological consequences based on the collective dose is not possible without due regard to these aspects.

Earlier the ICRP Publication 101 focused on the optimization of radiological protection was issued. This publication provides stringent restrictions on the use of the collective dose and introduces the concept of the “multidimensional collective dose matrix”.

Of major importance and timeliness was also the IAEA Tecdoc No 870. It provides specific algorithms for evaluating individual radiological risks based on the UNSCEAR final reports and ICRP recommendations.

Thus, as to the current international standards of radiological protection of personnel and members of the public, a pronounced trend for individualizing the radiological risk evaluation, using as much available information as possible, is observed.

## SOCIAL PROTECTION OF NUCLEAR WORKERS – EXPERIENCE OF LEAD COUNTRIES

The International Labor Organization Convention No 121 “Employment Injury Benefits Convention” provides that workers who develop cancer as a result of occupational exposure are eligible for compensation. Cancer is a common disease. In developed countries more than one third of the population develop cancer during lifetime, and of those one fifth to one fourth die of malignant diseases. Consequently, the majority of nuclear workers occupationally exposed to radiation will have cancer for reasons unrelated to their work.

As of today, it is not feasible to differentiate radiation-induced cancers from cancers arising for other reasons. For making the compensation payment scheme objective and transparent, the “assigned share” methodology was developed. For each worker (former worker) a quantity equal to the ratio of the excess relative risk to the relative risk is estimated based on the radiation doses incurred and other individual characteristics. The higher this value (“assigned share”), the higher the probability that a cancer is caused by occupational exposure.

The mathematical models for developing cancers used for estimating the “assigned share” include a number of parameters involving uncertainties. For example, risk coefficients are characterized by the uncertainties associated with statistical procedures used to derive them etc. Consideration of uncertainties in the “assigned share” estimation is a part of the compensation schemes effective in the USA and UK.

The Compensation Scheme for Radiation Linked Diseases in UK was enforced in November 1982 initially as an agreement between the trade unions and employers (British Nuclear Fuels). A total of 5.3 million pounds sterling worth of compensation awards were paid. The awards were based on the system of proportional recovery: if the “assigned share” estimate is

- 50% or more – full payment of compensation for a worker who developed cancer,
- 40% - 49.9% – three fourth of the full amount,
- 30% - 39.9% – half of the full amount,
- 20% - 29.9% – one-fourth of the full amount,
- less than 20% – cases determined as not qualifying for payment.

The amount of the full payment was contingent on the severity of disease. The system of proportional recovery made it possible to allow for uncertainties involved in the procedure of “assigned share” calculation. Among the workers awarded compensations, two thirds had the “assigned share” less than 50% and they would not have been compensated if their cases had been pursued in law courts. A more detailed information about

the Compensation Scheme for Radiation Linked Diseases can be found at <http://www.csrlid.org.uk>.



In the USA, the Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act has been put into effect since October 2000. The legislation provides that recovery of the claimed compensation should be “based on the dose incurred by the worker ... and the

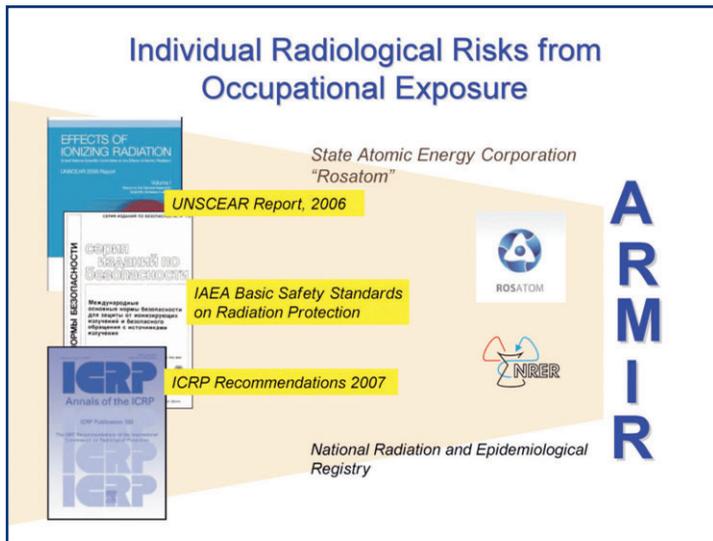
---

upper 99% confidence interval of the probability of causation”. Thereby account is taken of the uncertainties arising in calculation of the probability of causation (in the latest terms “assigned share”) including the uncertainty in estimating doses incurred by the worker. A special consortium was established to deal with the uncertainties in radiation doses incurred by the workforce at different facilities during their operations. The work being very time consuming, less than 10% of 21 thousand of the submitted claims have been taken up. Each second of the compensation claims has been satisfied and a total 65 million dollars worth of awards were paid. The description of the Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act and guidelines related to its implementation can be found at [www.cdc.gov/niosh/ocas](http://www.cdc.gov/niosh/ocas).

## ARMIR – SYSTEM FOR EVALUATING INDIVIDUAL RADIOLOGICAL RISKS FROM OCCUPATIONAL EXPOSURE

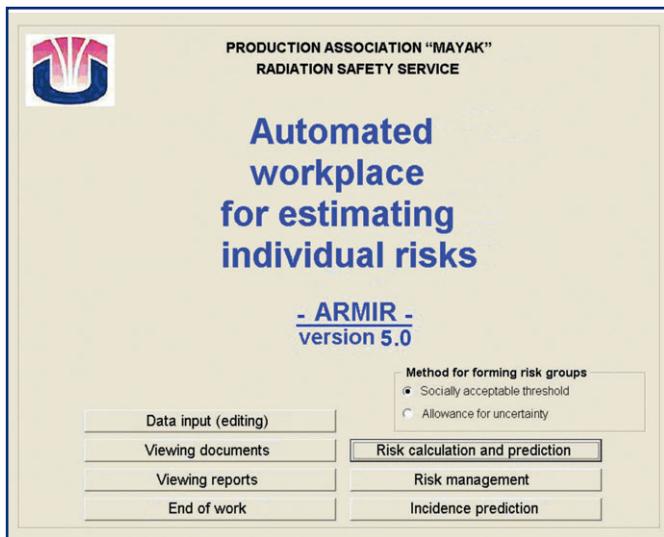
At the top state level it has been emphasized many times that successful development of nuclear power in our country should be supported by compliance with the exacting requirements on nuclear and radiological safety which, in turn, should be in keeping with the most rigorous international standards. The basics of the state policy on ensuring nuclear and radiological safety of the Russian Federation also stresses the need to implement the concept of socially acceptable risk.

The State Corporation “Rosatom” together with the National Radiation and Epidemiological Registry and the Russian Scientific Commission on Radiation Protection under RAMS has developed the system ARMIR which implements the models for occupational radiation risk evaluation recommended by the authoritative international organizations: the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, IAEA and International Commission on Radiological Protection.



The computerized system ARMIR is designed to address two practical tasks:

- optimization of exposure of the State Corporation "Rosatom" workforce monitored through the use of personal dosimeters, taking into account the current international standards on radiation risk evaluation;
- using results to be obtained with this technology for the system of voluntary medical insurance to provide targeted diagnostic and clinical support to those assigned to the increased risk group.



---

The automated workplace for estimating individual risk (ARMIR) can be used to address, on interactive basis, both analytical and prognostic tasks and comprises five embedded versions.

We outline here the key tasks performed by the system ARMIR from version 1.0 to the final version 5.0.

## ARMIR: version 1.0

The value of the attributive risk (**AR**) is known to be determined by the following equation:

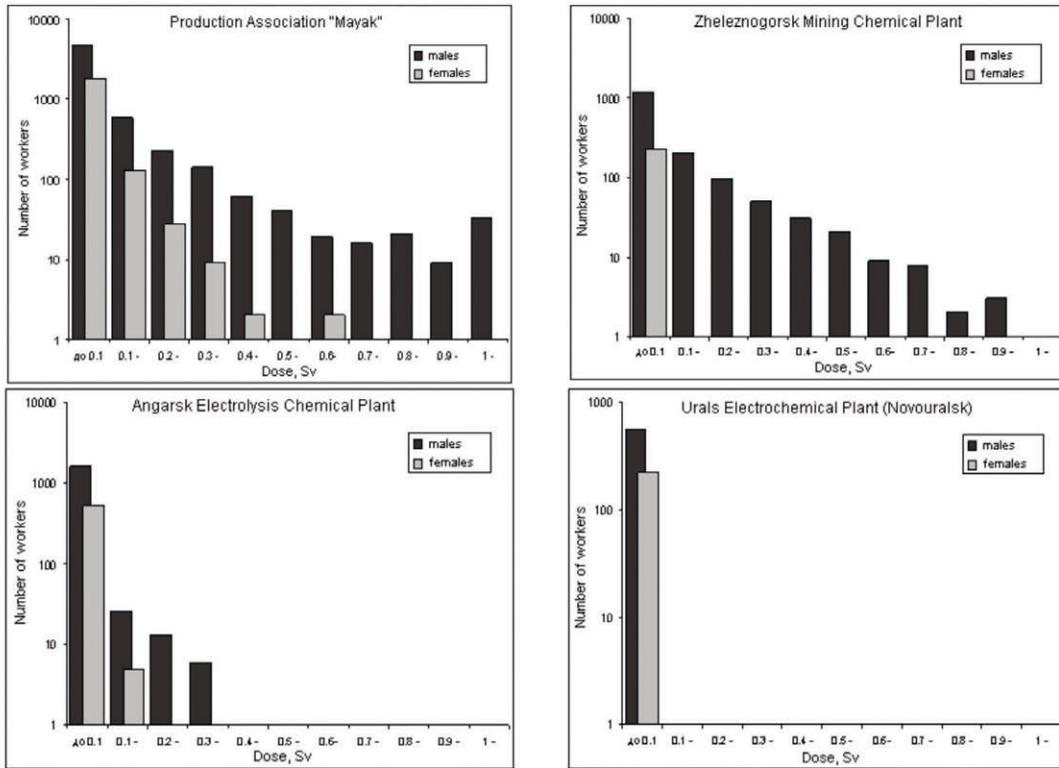
$$AR = ((O - E) / O) \cdot 100\%,$$

where **O** is the observed number of cases in the exposed cohort, **E** is the expected number of cancer cases in this cohort, given no radiation exposure.

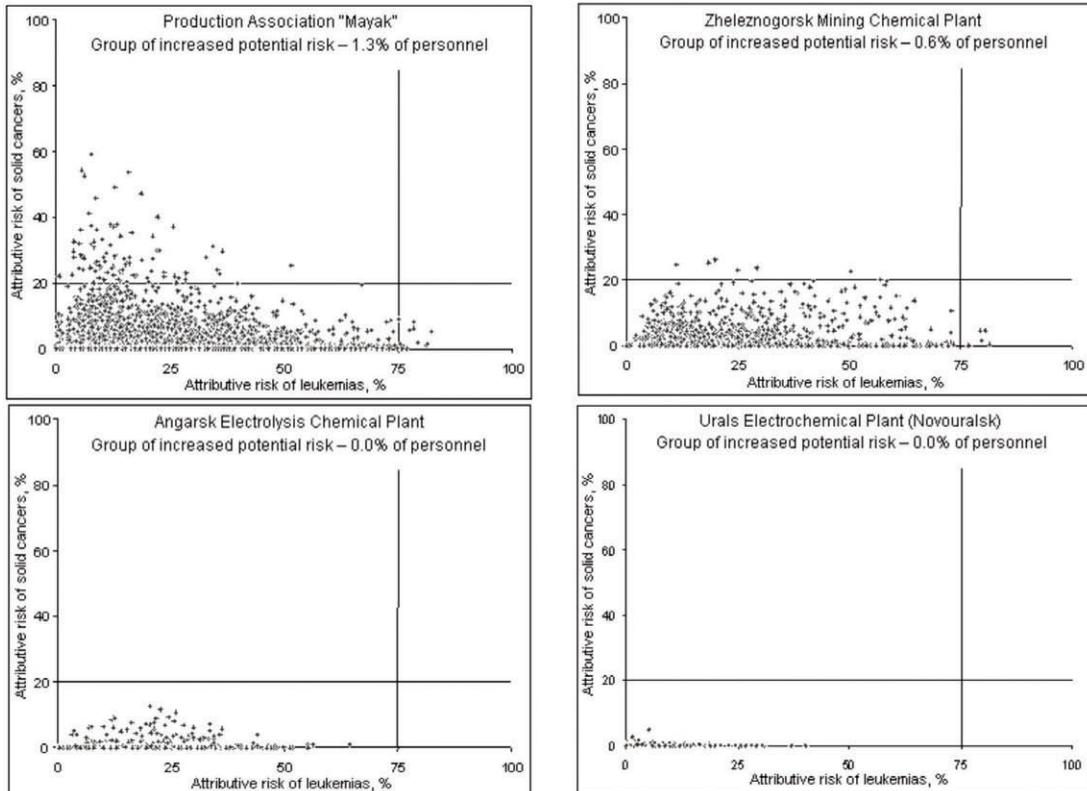
For example, if 100 cases are observed in the cohort, while the expected number is 50, then **AR**=50%. As mentioned above, the **AR** value is a function of various individual characteristics: gender, age at exposure, attained age, total and annual dose etc.

ARMIR (version 1.0) performs evaluation of the individual risk using the current UNSCEAR models. For calculating the individual risk for the entire personnel covered by individual dosimetry monitoring two groups are formed: group of potential risk (GPR) in which the attributive risk is equal and higher than 10% for solid cancers and equal and higher than 50% for leukemias and group of increased potential risk (GIPR) in which **AR**≥20% for solid cancers and **AR**≥75% for leukemias. The analysis results show that not more than 1.5% of the workers with dosimetry records falls in the group of increased risk. Their average length of employment is 45 years and the cumulative radiation dose is more than 600 mSv. It is understandable that these workers were those who were engaged in the process of building the nuclear industry in our country.

## Distribution of personnel by the cumulative radiation dose



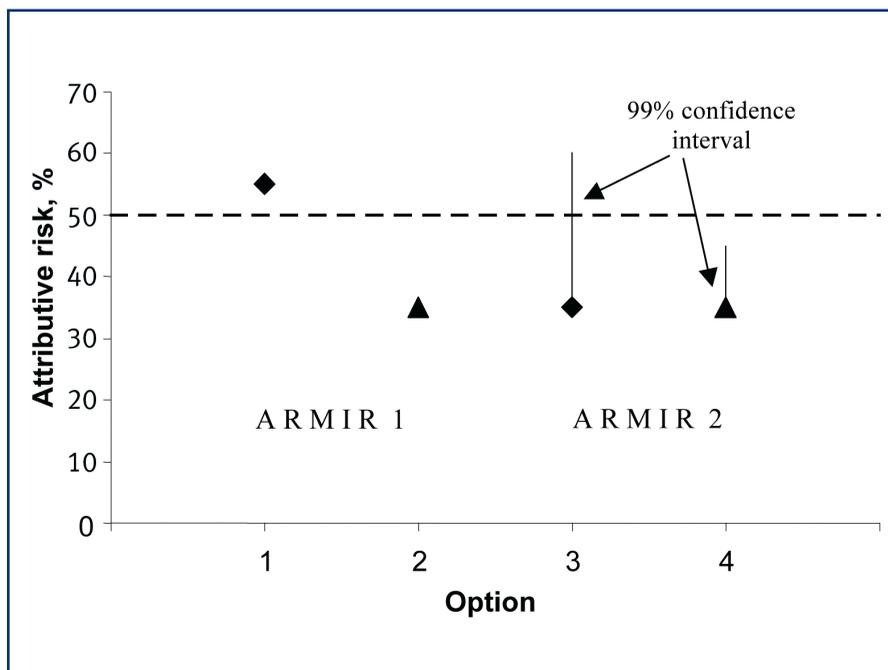
## Distribution of personnel by the individual attributive risk



## ARMIR: version 2.0

At the present time, there are basically two approaches to evaluating the individual radiation risk. The first was pursued by the nuclear industry of the UK and implemented in the ARMIR programs, version 1.0. It is based on point estimation of the attributive risk. The US approach is more sophisticated, as not only a point value of the attributive risk is estimated but also the value of its 99% confidence interval. If the upper limit of the confidence interval exceeds a certain threshold value of the attributive risk (for example, 50%), a cancer case is considered to be radiation-induced. The confidence interval value is calculated with allowance for uncertainty in dosimetry and other individual data. It should be mentioned that the technology for evaluating individual radiation risk in terms of attributive risk was put in force as a separate legislation by the US Congress in 2000 (Act of 2000, 42USC7384).

Formation of radiation risk groups in the system ARMIR:  
version 1.0 and version 2.0



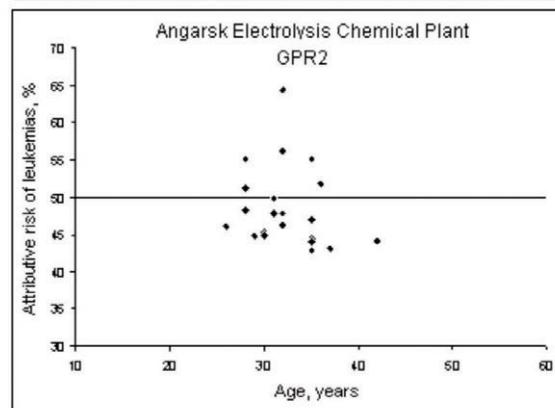
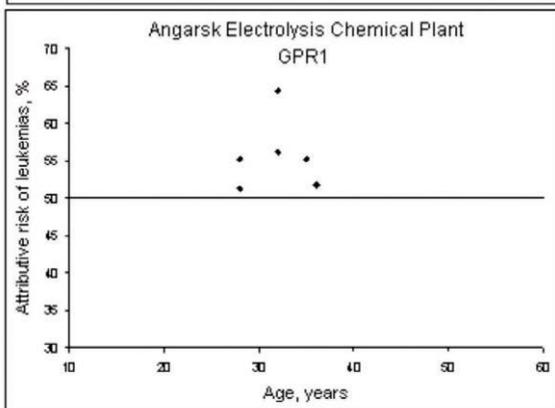
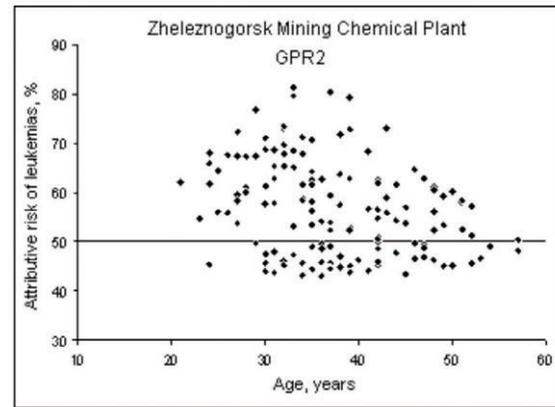
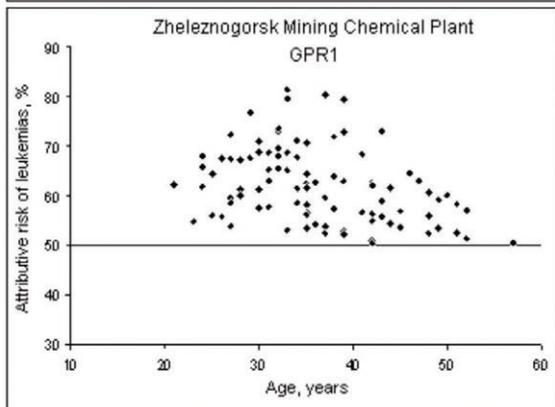
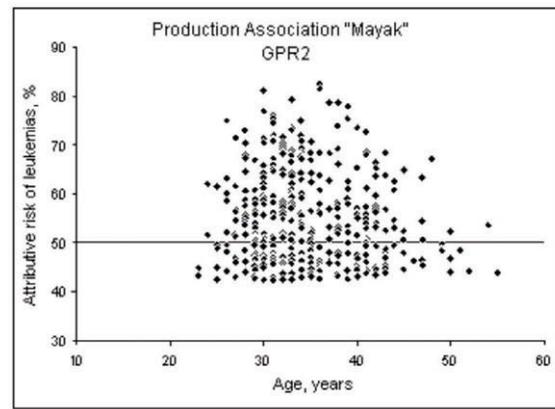
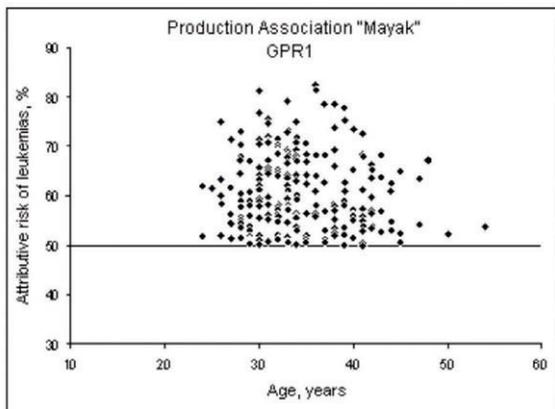
---

Let us now consider four options. We assume that the attributive risk threshold is 50%. If the individual attributive risk value exceeds this threshold (option 1), the worker is included in the risk group. If the individual attributive risk value is less than 50%, the worker is not included in the group (option 2). Options 3 and 4 are representative of the US approach. In both cases, the attributive risk value is a point, for example, below the threshold. Calculation of the 99% confidence interval of the attributive risk, however, indicates that the upper confidence interval limit of the attributive risk for option 3 exceeds the threshold level of 50% and therefore the worker is assigned to the group of potential risk.

By way of example, let us consider the results of formation groups of increased risk (GIR) for leukemias among the male workforce with dosimetry records. The radiation risk of leukemias is known to be 4-5 times higher than that of other malignant diseases (solid cancers) per unit dose. At the same time, it is common knowledge that the spontaneous incidence of leukemias (not linked to radiation exposure) is 20-30 times lower than for solid cancers, i.e. leukemia is uncommon disease. That is why, the threshold value in the ARMIR system is taken to be 50% for leukemia.

In the ARMIR (version 1.0) the group of potential risk (leukemias) is designated as GPR 1, while GPR 2 is the group of potential risk with allowance for uncertainty in the ARMIR (version 2.0). The attributive risk threshold in this case is 50%. As might be expected, GPR2 exceeds GPR1 in its size. GPR2 (US standard) includes all persons from GPR1 (UK standard) plus new workers, for whom in spite of the point estimate of the attributive risk being lower than 50%, the 99% confidence interval is more than 50%. It may be worth noting that GPR2 (US standard) does not include workers whose point estimate of the attributive risk is less than 40%.

Formation of groups of potential risk using system ARMIR  
(GPR1 – version 1.0; GPR 2 – version 2.0)



## ARMIR: version 3.0

As mentioned above, the ARMIR versions 1.0 and 2.0 are based computer technologies for setting up groups of potential risk in keeping with the present-day international standards.

After setting up GPRs, the number of possible radiological effects (cancers) among the entire workforce and in the formed group of potential risk is to be calculated. It stands to reason that if the predicted incidence rate in GPR exceeds significantly that for the entire workforce, the technology of GPR formation can be considered to be adequate.

Let us take a specific example for the Zheleznogorsk Mining Chemical Plant (ZMCP) personnel monitored for radiation exposure through the use of personal dosimeters. A total of 1875 persons from the ZMCP have been entered into the ARMIR. Previously (ARMIR, versions 1.0 and 2.0), the group of potential risk was formed. By the social acceptability criterion (ARMIR, version 1.0, AR is more than 10% for solid cancers and more than 50% for leukemias) this group contains 174 persons, i.e. 9.3% of the entire workforce. One of the main goals of ARMIR (version 3.0) was to predict the number of radiation-induced cancers over life time for the entire workforce (1875 persons) and GPR (174 persons).

For the workforce in general the number of radiation-induced cancers over life time is 10 cases, for GPR – 3 cases. As a next step, the rates are estimated:  $10/1875=0,53 \cdot 10^{-2}$  and  $3/174=1,72 \cdot 10^{-2}$ . The ratio of these rates provides the methodology “efficiency coefficient” in terms of forming the groups of potential risk. In this particular case, the coefficient is 3.3.

### Methodology “efficiency coefficient” in respect to the groups of potential radiation risk

Radiation-induced diseases	Facility			
	Production Association “Mayak”	Zheleznogorsk Mining Chemical Plant	Angarsk Electrolysis Chemical Plant	Chepetsky Mechanical Works
Leukemias	1,5	1,8	1,6	1,2
Solid cancers	2,7	3,3	3,4	1,8
Lung cancer	1,9	3,4	3,2	1,6

Thus the “efficiency coefficient” in all cases is above 1, which is indicative of the validity of the established groups of potential risk. Returning to the ZMCP example, it may be noticed that the size of the GPR is only 9.3% of the entire workforce and a possible

number of radiation-induced cancer in this group is 30% of predictable number of radiation-induced cancers for the entire workforce. Considering that the GPR size is 10 times smaller the entire personnel, costly advanced technologies can be used for early diagnosis of malignancy among them.

Let us now turn to the economic side of the ARMIR technology. Let  $M$  be the number of radiation-induced cancers, and  $D$  be the cost (in rubles) of losing one worker. Then financial losses of the organization resulting from the workers leaving due to occupational cancer diseases are determined as the product  $M \cdot D$ . On the other hand, the cost of diagnostic procedures is  $N \cdot R$ , where  $N$  is the number of workers,  $R$  is the cost (rubles) of a diagnostic procedure. With the understanding that the cost of medical procedures should not be higher than the monetary losses associated with the personnel leaving, the value of  $R$  can be found as:  $R \leq (M/N) \cdot D$ .

We apply this method to the ZMCP personnel. For the entire personnel  $N=1875$  persons,  $M=10$  persons. Then  $R_1 \leq 5,3 \cdot 10^{-3} \cdot D$ . For the group of potential risk:  $N=174$  persons,  $M=3$  persons. Hence  $R_2 \leq 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot D$ . With the assumption that the value of  $D$ , the cost of losing one worker, is 5 million rubles, based on the cost-effectiveness condition  $R_1 \leq 26$  thousand rubles and  $R_2 \leq 85$  thousand rubles. Given a significant monetary margin, obviously, state-of-the-art medical technologies for early diagnosis of possible malignancy can be used for the group of potential risk.

Thus, ARMIR (version 3.0) provides a means for enhancing the effectiveness of medical insurance. These issues become of higher relevance in the light of ratification by our country of the Vienna Convention of 21 May 1963 on Civil Liability for Nuclear Damage.

## ARMIR: version 4.0

This version of ARMIR is aimed at addressing the optimization of radiation protection of nuclear workers with a view to manage worker's exposure at individual level.

The primary idea is that the risk group size should not be increasing, as a minimum. Therefore, at individual level the population of the group of increased risk and number of candidates who can join the group in the current year should be determined. While the attributive risks used as criteria for the workers to be entered into the GIR are: 50% for leukemias, 10% for solid cancer and 20% for lung cancer, for candidates these criteria are certainly lower: 45% for leukemias, 9% for solid cancers and 18% for lung cancer. The

ARMIR system, version 4.0, calculates the radiation dose management coefficient ( $K_m$ ):  $K_m = D_+ / D_0$ , where  $D_0$  is the annual dose over the past reporting year;  $D_+$  is the expected dose at which the worker does not exceed the specified attributive risk.

#### ARMIR data (version 4.0)

	Solid cancers			Leukemias		
	GIR	Candidates	Workers with $K_m < 1$	GIR	Candidates	Workers with $K_m < 1$
Production Association "Mayak"	462	75	10	535	192	87
Angarsk Electrolysis Chemical Plant	2	3	0	39	30	24
Chepetsky Mechanical Works	161	29	4	135	77	18

For example, at the Chepetsky mechanical works (ChMW) the expected exposure should be reduced for 22 workers ( $K_m < 1$  for 4 persons with respect to solid cancers;  $K_m < 1$  for 18 persons for leukemias). There are 1294 persons at ChMW monitored for radiation exposure through the use of personal dosimeters, of them the exposure should be lowered for 22 persons, which makes only 1.7% of the entire personnel.

The system ARMIR (version 4.0) provides a basis for addressing this issue, facilitating the optimization of radiological protection at each particular facility of the State Corporation "Rosatom".

#### ARMIR: version 5.0

As mentioned above, the system ARMIR consists of embedded versions, which means that version 5.0 is addition to version 4.0, version 4.0 is addition to version 3.0 etc.

ARMIR, version 5.0, provides assessment of the individual radiation risks not only in terms of the relative (attributive) risk, but also in terms of the absolute risk. Actually, by the Decree of the Chief State Sanitary Physician of RF (No 47 of 7 July 2009) registered by the Ministry of Justice (No 14534 of 14 August 2009), new radiation safety standards have been put in force (NRB-99/2009) of 1 September 2009. Item 2.3 of these guidelines says that "at normal operation of ionizing radiation sources the annual radiation dose limits are set based on the following values of life-time individual risk:

- for workers –  $1,0 \cdot 10^{-3}$ ;
- for members of the public –  $5,0 \cdot 10^{-5}$ .

The level of trivial risk is set to be  $10^{-6}$ .

In this context, the objective of the ARMIR system (version 5.0) is to provide capability for assessing the individual radiation risk for each worker having dosimetry records in the State Corporation “Rosatom”, both in terms of relative and absolute risk.

In the NRB the risk for nuclear workers is set to be  $10^{-3}$ . What does it mean? This risk level has actually been proposed by the ICRP. It is known that for “safe industrial operations” the mean rate of injuries and accidents resulting in deaths is about 100 cases per 1 million people. According to the data of the International Labor Organization (ILO), this rate is 110 cases in Russia, 112 cases in Belarus, 186 cases in Tajikistan. This gives us the risk coefficient of  $10^{-4}$ . The risk coefficient proposed by the ICRP for nuclear industry workers is  $10^{-3}$  and this value was incorporated in the Russian current standards of radiation safety.

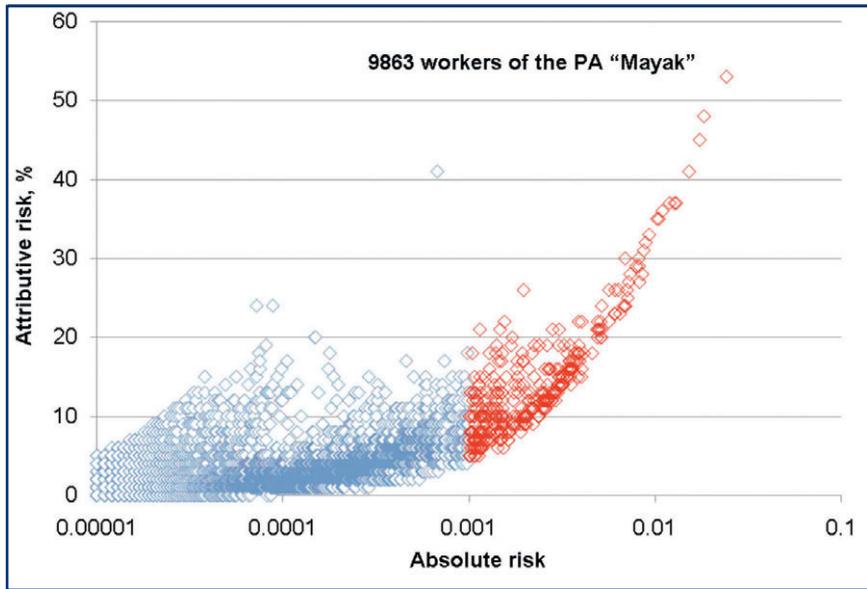
Given chronic exposure, the total excess absolute risk of cancers EAR is found as a sum of risks  $EAR_{SOL}$  for solid cancers and  $EAR_{LEU}$  for leukemias:

$$EAR(u, s) = \int_{\tau_0}^{\tau_1} (EAR_{SOL}(\tau, u, D'(\tau), s) \cdot \xi(\tau) + EAR_{LEU}(\tau, u, D'(\tau), s) \cdot \zeta(\tau)) d\tau ,$$

where  $u$  is the age for which risk is estimated,  $s$  is the gender,  $\tau_0$  is the time of beginning of exposure,  $\tau_1$  is the time of end of exposure,  $D'(\tau)$  is the change in the dose rate in time,  $\xi(\tau)$  is the function accounting for the choice of the latent period for solid cancers,  $\zeta(\tau)$  is the function accounting for the choice of the latent period for leukemia.

The group of increased risk is formed of the workers monitored for radiation exposure through the use of personal dosimeters and characterized by  $EAR \geq 10^{-3}$ .

A study of this sort was performed for the workers of the PA “Mayak”. The individual risks were estimated for 9863 persons having individual dosimetry records. The higher absolute risk ( $EAR \geq 10^{-3}$ ) was determined for 315 persons, which makes 3.2% of the entire personnel. It is worth noting that the average length of work with ionizing radiation sources for them was 42 years. As it is, this group is made up of veterans who began working at the PA “Mayak” in the 50-60-s last century.



There are very important data obtained for the first time. In particular, of 315 persons exceeding the risk of  $10^{-3}$  year<sup>-1</sup> (NRB-99/2009) only 52 persons show the attributive risk more than 20% for solid cancer, while this particular attributive risk value is the criterion for forming the groups of increased potential risk, as provided by the international standards.

**INDIVIDUAL RADIOLOGICAL RISKS FOR THE WORKFORCE OF THE STATE CORPORATION “ROSATOM”**

In accordance with the current IAEA standards, employer should provide to all workers adequate information on health risks, whether normal exposure or potential exposure.

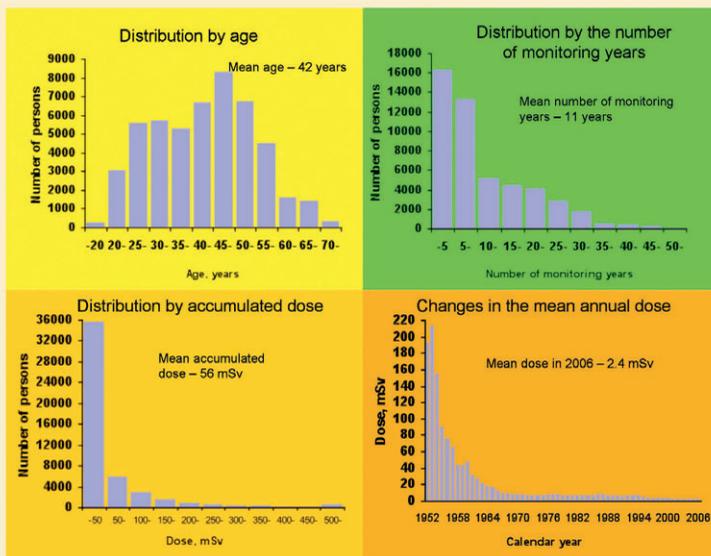
**I.27. Employers, in co-operation with registrants and licensees, shall:**

**a) provide to all workers adequate information on the health risks due to their occupational exposure whether normal exposure or potential exposure ...**

p. 47

At his point, the ARMIR technology has been implemented in the lead organizations of the State Corporation “Rosatom”. Estimates of the individual radiological risks have been derived for 52438 persons monitored for radiation exposure through the use of personal dosimeters (72% of all the workers monitored).

## CHARACTERIZATION OF THE NUCLEAR INDUSTRY WORKERS MONITORED FOR EXPOSURE TO RADIATION THROUGH THE USE OF PERSONAL DOSIMETERS (52,438 PERSONS)



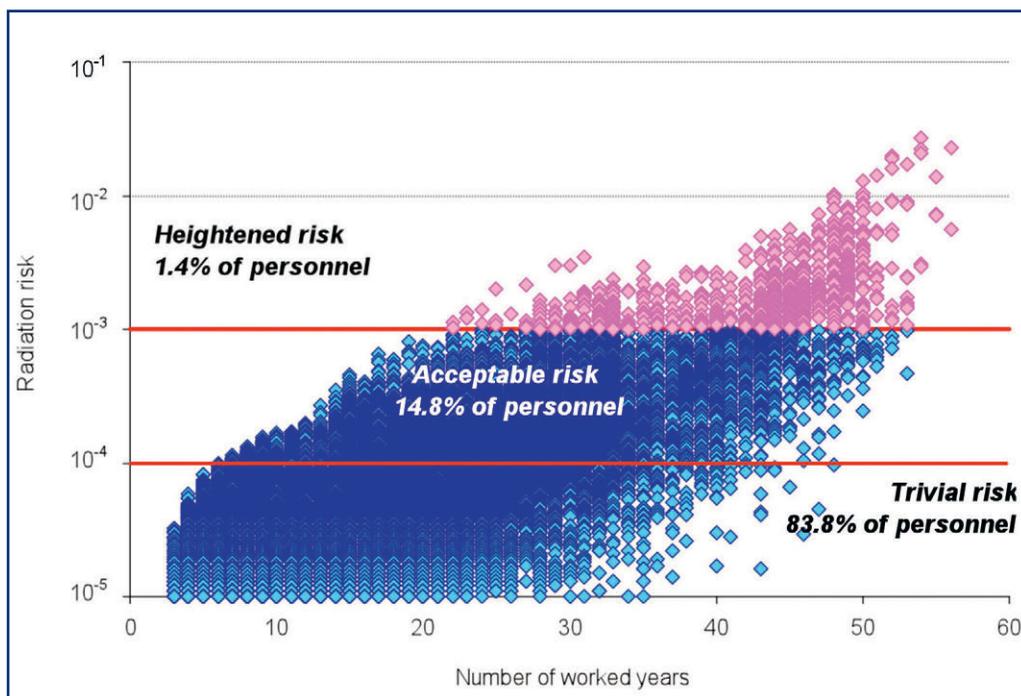
Occupational radiation risks for the State Corporation “Rosatom” workers entered in the system ARMIR

Facility	Number of persons in ARMIR	Number of persons with radiation risk	
		$10^{-4} - 10^{-3}$ «acceptable»	more than $10^{-3}$ «heightened»
Production Association “Mayak” (Ozersk)	9900	1795	372
Urals Electrochemical Plant (Novouralsk)	768	6	0
Zelenogorsk Electrochemical Plant	1871	0	0
Zheleznogorsk Mining Chemical Plant	1911	424	63
Angarsk Electrolysis Chemical Plant	2347	62	4
Sibirsky Chemical Plant (Seversk)	2048	455	90
Science and Research Institute of Nuclear Reactors (Dmitrovgrad)	2534	435	9
Institute of Physics and Power Engineering (Obninsk)	1125	382	72
Machine Building Plant (Electrostal)	2538	182*	0*
Chepetsky Mechanical Works (Glazov)	1393	456	39
10 NPPs of Concern “Energoatom”	26003	3514	106
<b>TOTAL</b>	<b>52438</b>	<b>7711</b>	<b>755</b>

\* For the Machine Building Plant results are tentative.

- The performed calculations have shown that:
- increased risk (more than  $10^{-3}$ ) occurs for 755 persons, which makes 1.4% of the entire personnel;
  - acceptable risk ( $10^{-4}$  –  $10^{-3}$ ) – 7711 persons (14.8% of the entire personnel);
  - trivial risk (less than  $10^{-4}$ ) – 43972 persons (83.8% of the entire personnel).

Distribution of the State Corporation “Rosatom” personnel by radiation risk and length of employment

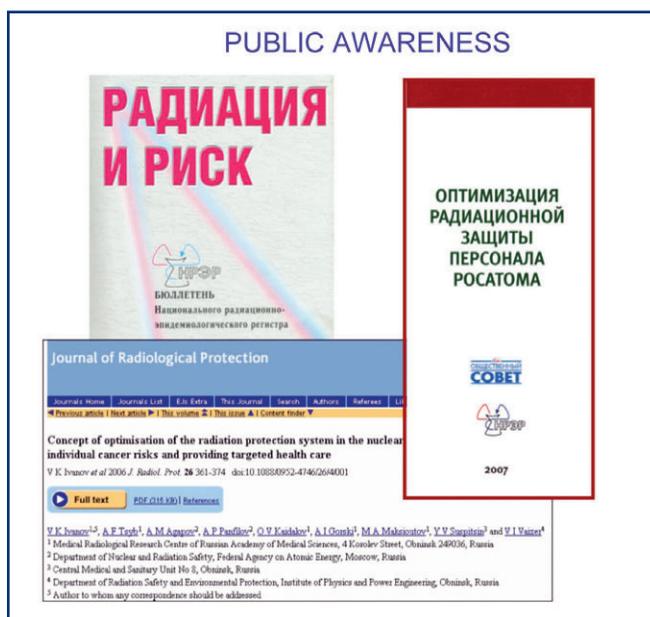


It should be noted that the group of increased risk (755 persons) is characterized by the mean cumulative dose of 563 mSv, the mean age of 64 years and the mean length of working with ionizing radiation sources of 42 years. This group includes, among others, those who were engaged in the process of building the nuclear industry, half of the group of increased risk are the workers of the PA “Mayak” (372 of 755 persons).

It should be stressed that the group of increased risk comprises the workers having the risk higher than  $10^{-3}$ . These risks are related to the radiation dose accumulated over the entire past time of professional activity, the major part of the dose incurred in the ini-

tial unsafe stage of the nuclear industry formation, when the system of radiological monitoring was just emerging. In the latest years, the radiation risks associated with radiation doses for the same workers are trivial.

Major results of the ARMIR implementation have been presented in the principal national and international journals and brought to the attention of non-governmental organizations [1-9].



It should be emphasized that thus far the State Corporation “Rosatom” is the only major nuclear company in the world which has evaluated radiological risks for 72% of the workforce monitored for exposure through the use of personal dosimeters in line with the IAEA recommendations.

The work was supported by the management of the State Corporation “Rosatom” (E.V.Evstratov), Department of Nuclear and Radiation Safety, Organization of Licensing and Authorizing Activity of the State Corporation “Rosatom” (A.M.Agapov, A.P.Panfilov) and radiation safety services of the lead nuclear industry organizations (PA “Mayak”, E.K.Vasilenko; ChMW, E.D.Palichev; AECF, A.A.Kozlov; ZMCP, V.A.Rusanov; UECP, S.A.Glazunov; IPPP, V.I.Vaiser).

## REFERENCES

1. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Panfilov A.P., Agapov A.M.** Optimization of radiation protection: “dose matrix”. M.: Medicine, 2006. 304 p.
2. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Agapov A.M., Panfilov A.P., Kaidalov O.V., Gorski A.I., Maksioutov M.A., Suspitsin Y.V., Vaizer V.I.** Concept of optimization of the radiation protection system in the nuclear sector: management of individual cancer risks and providing targeted health care //Journal of Radiation Protection. 2006. V. 26. P. 361-374.
3. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Panfilov A.P., Agapov A.M., Kaidalov O.V., Korelo A.M., Maksioutov M.A., Chekin S.Yu., Kashcheyeva P.V., Saenko A.S.** Estimation of individual radiation risk with occupational chronic exposure //Radiation and Risk. 2008. V. 17, N 3. P. 16-28.
4. **Ivanov V.K., Panfilov A.P., Vasilenko E.K., Glazunov S.A., Kozlov S.A., Rusanov V.A.** ARMIR: version 2.0 //ANRI. 2007. N 2(49). P. 41-44.
5. **Ivanov V.K., Panfilov A.P., Vasilenko E.K., Kozlov S.A., Rusanov V.A., Palichev E.D.** ARMIR: version 3.0 //ANRI. 2009. N 2. P. 49-51.
6. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Panfilov A.P., Agapov A.M., Kaidalov O.V., Korelo A.M., Maksioutov M.A., Chekin S.Y., Kashcheyeva P.V.** Estimation of individualized radiation risk from chronic occupational exposure in Russia //Health Physics. 2009. V. 97, N 2. P. 107-114.
7. **Ivanov V.K., Agapov A.M.** Optimization of the radiation protection system in the nuclear industry of Russia //Bulletin of Atomic Energy. 2008. N 5-6. P. 76-79.
8. Report on Safety. State Corporation on Atomic Energy “Rosatom”. M.: Publishers “Komtekhpriint”, 2008. 56 p.
9. Report on Safety. State Corporation on Atomic Energy “Rosatom”. M.: Publishers “Komtekhpriint”, 2009. 65 p.