



Госкорпорация "Росатом"



Общественный совет
Госкорпорации "Росатом"



Библиотека Общественного совета
Госкорпорации "Росатом"



ОАО "Техснабэкспорт"



Российская научная комиссия
по радиологической защите при РАН



Национальный радиационно-
эпидемиологический регистр

В. К. Иванов

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА: РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Москва
2018

В. К. Иванов

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА: РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Москва
2018

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ПОКАЗАТЕЛИ РИСКА	8
КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУПП ПОВЫШЕННОГО РИСКА	9
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО РИСКА СРЕДИ ПЕРСОНАЛА, СОСТОЯЩЕГО НА ИНДИВИДУАЛЬНОМ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ В ГОСКОРПОРАЦИИ “РОСАТОМ”	13
ЛИТЕРАТУРА	16

ПРЕДИСЛОВИЕ



В базовом документе МАГАТЭ «Основные принципы безопасности» подчеркивается (Принцип 5), что «...для определения, действительно ли радиационные риски низки настолько, насколько это реально достижимо, все такие риски ... должны пройти оценку ... априори и должны периодически проходить последующую оценку на протяжении всего жизненного цикла установок и всей деятельности». Также в этом документе говориться (Принцип 6), что «...меры по контролю за радиационными рисками должны обеспечивать, чтобы ни одно физическое лицо не подвергалось непримлемому риску нанесения вреда».

В последние годы Госкорпорацией «Росатом» и Российской научной комиссией по радиологической защите при РАН ведутся интенсивные совместные работы по оценке текущих радиационных рисков персонала группы А с использованием современных заключений НКДАР ООН, рекомендаций МКРЗ и стандартов МАГАТЭ. Важно отметить, что в Международных основных нормах безопасности МАГАТЭ именно на работодателе возложена ответственность по «обеспечению получения всеми работниками адекватной информации о рисках для здоровья, связанных с их профессиональным облучением».

За прошедшие годы Общественный совет Госкорпорации «Росатом» неоднократно обращался к проблеме оценки безопасности профессионального облучения, были опубликованы книги, буклеты и методические материалы по этой теме. Критерии формирования групп повышенного риска использовались из действующих в стране Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Вместе с тем, после аварии на АЭС Фукусима Даичи в Японии МАГАТЭ пригласило ведущих экспертов мира в области радиационной защиты и подготовило новые критерии формирования групп повышенного риска.

Используя эти последние международные стандарты, было показано, что к группе повышенного риска можно отнести только 0,77% персонала группы А, что подтверждает высокий уровень радиационной защиты в атомной отрасли. Важно особо подчеркнуть, что разработанные к настоящему времени Российской научной комиссией по радиологической защите при РАН и Госкорпорацией «Росатом» технологии оценки индивидуального радиационного риска и полученные фактические данные являются основой для решения стратегической проблемы по оптимизации радиологической защиты персонала в ситуациях планируемого и аварийного облучения.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'В.К. Иванов'.

Председатель Российской научной комиссии по радиологической защите,
член-корреспондент РАН

В.К. Иванов

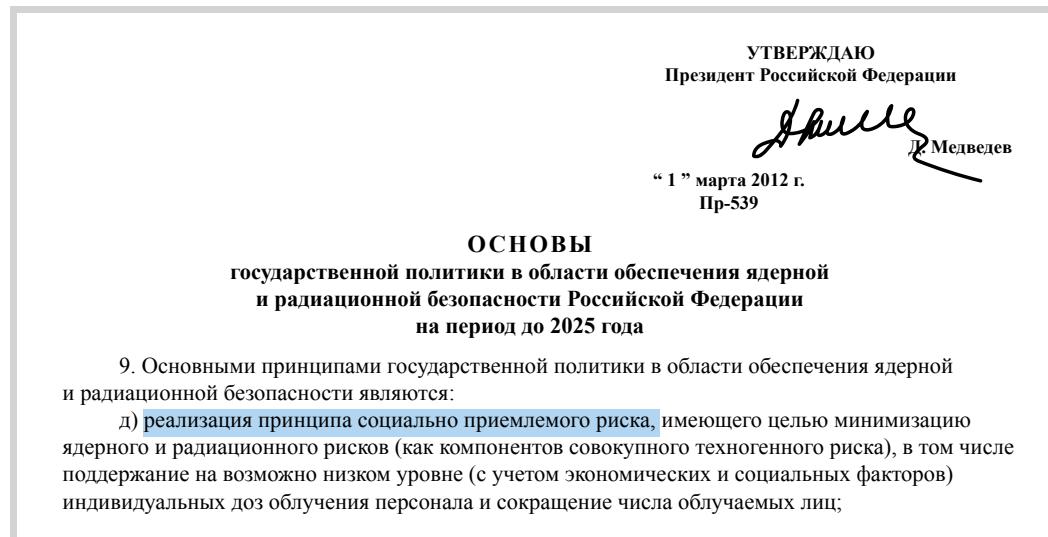
ВВЕДЕНИЕ

В Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации на период до 2025 года, утверждённых Президентом Российской Федерации, подчёркивается необходимость практической реализации «концепции социально приемлемого риска». В опубликованных недавно МАГАТЭ Международных основных нормах безопасности указывается (п. 3.110), что именно работодатель несёт ответственность за объективность оценки радиационного риска работника за весь период его профессиональной деятельности.

В результате проведения многолетних крупномасштабных радиационно-эпидемиологических исследований в Хирошиме и Нагасаки после атомной бомбардировки в 1945 г. этих японских городов было, в частности, установлено, что смертность облучённого в дозе 1 Зв населения возросла на 4-7% за счёт радиационно-обусловленных дополнительных онкологических заболеваний. Эта базовая оценка радиационного риска была использована при обосновании пределов доз годового облучения и вошла в действующие международные рекомендации [1] и национальные нормы радиационной безопасности. В российские Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) включены рисковые ограничения для персонала в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения (10^{-3} год $^{-1}$) и потенциального облучения ($2 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$), предложенные Международной комиссией по радиологической защите.

По данным системы мониторинга профессионального риска АРМИР [2] за 2016 г. радиационный риск определён для 99,4% персонала из 65988 человек, состоящих на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) в организациях Госкорпорации «Росатом». Превышение порогового значения 10^{-3} выявлено только у 1,2% персонала группы А. Текущее состояние системы АРМИР ежегодно отражается в Публичном годовом отчёте Госкорпорации «Росатом» [3].

Согласно исследованиям Международной организации труда и Всемирной организации здравоохранения в настоящее время ежегодно среди 1 млн работников примерно 200 несчастных случаев на производстве приводят к летальному исходу. Это означает, что вероятность такого события для работника составляет примерно $2 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$, что совпадает с величиной предельного значения обобщённого риска потенциального облучения.



**МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОСНОВНЫЕ НОРМЫ
БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ**

Нормы безопасности МАГАТЭ
для защиты людей и охраны окружающей среды

Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности ядерного топлива и ядерных установок. ЕС, FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, UNEP, WHO

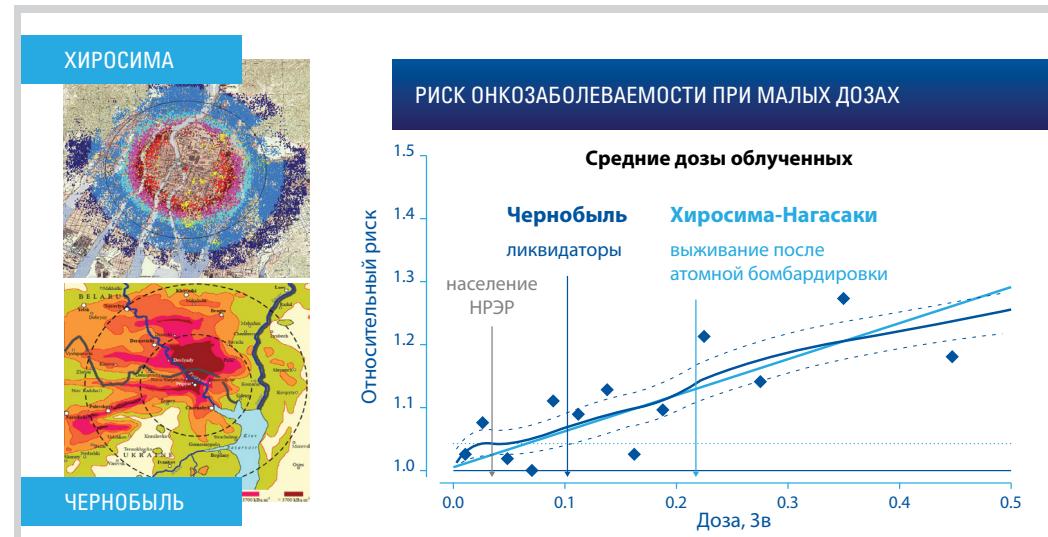
Общие требования безопасности, часть 3
№ GSR Part 3

IAEA
Международное агентство по атомной энергии

Требование 26.
Информация, инструктаж и подготовка

3.110. Наниматели (работодатели) в сотрудничестве с зарегистрированными лицами и лицензиатами:

а) обеспечивают получение всеми работниками адекватной информации о рисках для здоровья, связанных с их профессиональным облучением





**НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
(НРБ-99/2009)**

Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации
Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы

2.6.1. Ионизирующее излучение. Радиационная безопасность

Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09

Издание официальное

МОСКАУСКАЯ ОБЛАСТЬ
2009

**НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
(НРБ-99/2009)**

В условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения пределы доз облучения в течение года устанавливаются исходя из следующих значений индивидуального пожизненного риска:

- для персонала – $1,0 \times 10^{-3}$;
- для населения – $5,0 \times 10^{-5}$.



**МОНИТОРИНГ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ
ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИЙ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»**

ПУБЛИЧНЫЙ ГОДОВОЙ ОТЧЕТ

**КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
2016 ГОДА:**

для **64 611** человек
определен индивидуальные радиационные риски
с помощью системы АРМИР

	2014	2015	2016
Доля сотрудников, стоящих на индивидуальном дозиметрическом контроле отрасли, включенных в систему АРМИР	91,0 %	94,3 %	97,9 %
Доля сотрудников, находящихся в зоне повышенного риска	1,26 %	1,36 %	1,22 %

СРЕДНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ РИСК - $7,0 \times 10^{-5}$
 МАКСИМАЛЬНЫЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ РИСК - $6,4 \times 10^{-3}$

ПОКАЗАТЕЛИ РИСКА

Всесоюзная организация здравоохранения оценила основные факторы, определяющие состояние здоровья населения. К ним, в частности, с долей 18-20% отнесено состояние окружающей среды. Совместное влияние социальных условий и генетического статуса оценено в 70-74%.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ	
ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ	
Социальные условия	50-52%
Генетический статус	20-22%
Состояние окружающей среды	18-20%
Состояние системы здравоохранения	7-12%

Основным неблагоприятным эффектом воздействия ионизирующей радиации на здоровье человека является, как известно, увеличение риска возникновения онкологического заболевания. В зависимости от конкретной ситуации принято использовать ряд основных и дополнительных (характеризующих радиационное воздействие) показателей риска.

В отсутствие облучения основным показателем риска является показатель фоновой или спонтанной онкологической заболеваемости λ_0 (обычно это число онкологических заболеваний в год на 100 тыс. человек). Воздействие радиации приводит к увеличению риска λ_0 на дополнительную величину λ_R . Таким образом, полный риск заболевания λ будет суммой фонового и радиационного риска:

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_R. \quad (1)$$

Фоновые показатели заболеваемости зависят от возраста u и пола s : т.е. $\lambda_0(u, s)$, а радиационный риск в общем случае зависит от дозы облучения D , текущего возраста u , пола s и возраста на момент облучения g : $\lambda_R(u, s, D, g)$. Отсюда формула (1) примет вид:

$$\lambda(u, s, D, g) = \lambda_0(u, s) + \lambda_R(u, s, D, g). \quad (2)$$

Международная комиссия по радиологической защите использует для радиогенного риска λ_R аббревиатуру EAR – (Excess Absolute Risk, избыточный абсолютный риск).

Важной характеристикой воздействия радиации на уровень онкологической заболеваемости является также величина атрибутивной доли ARF:

$$ARF = \frac{EAR}{\lambda_0 + EAR} \cdot 100\%. \quad (3)$$

В облучённой популяции атрибутивная доля есть отношение числа радиационно-обусловленных заболеваний ко всему количеству заболеваний. Эта величина также получила название «этиологической доли» [4].

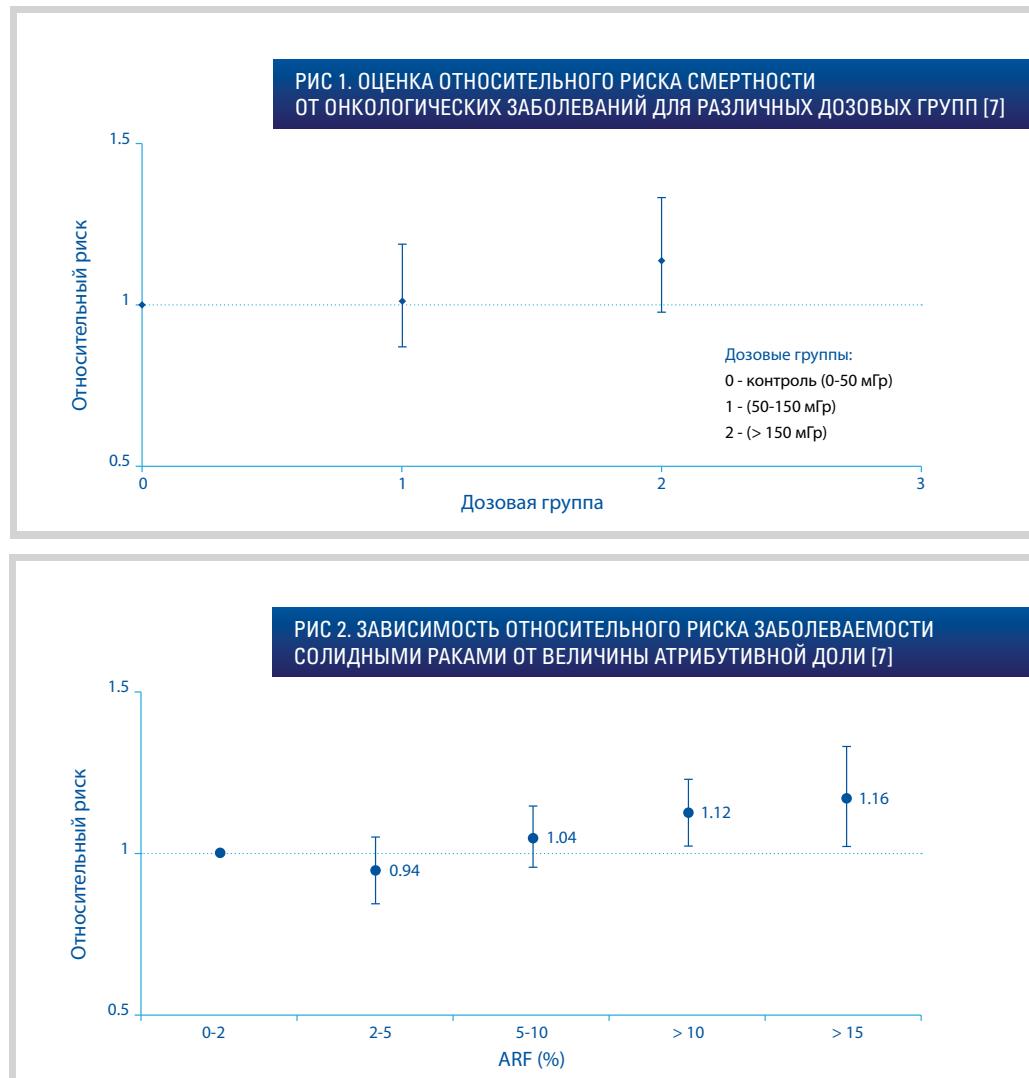
Для конкретного облучённого человека атрибутивная доля интерпретируется как величина шансов, что рак был вызван облучением. В ведущих ядерных странах используются следующие граничные значения атрибутивной доли [5]: в Японии $ARF > 10\%$, в Англии – более 20%, в США верхняя граница 99% доверительного интервала величины ARF должна быть более 50%.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ ГРАНИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ АТРИБУТИВНОГО РАДИАЦИОННОГО РИСКА		
Япония	$\geq 10\%$	(спецдиспансеризация хибакусей)
Англия	$\geq 20\%$	(компенсационные выплаты)
США	$\geq 50\%$	(с учетом фактора неопределенности, компенсационные выплаты)

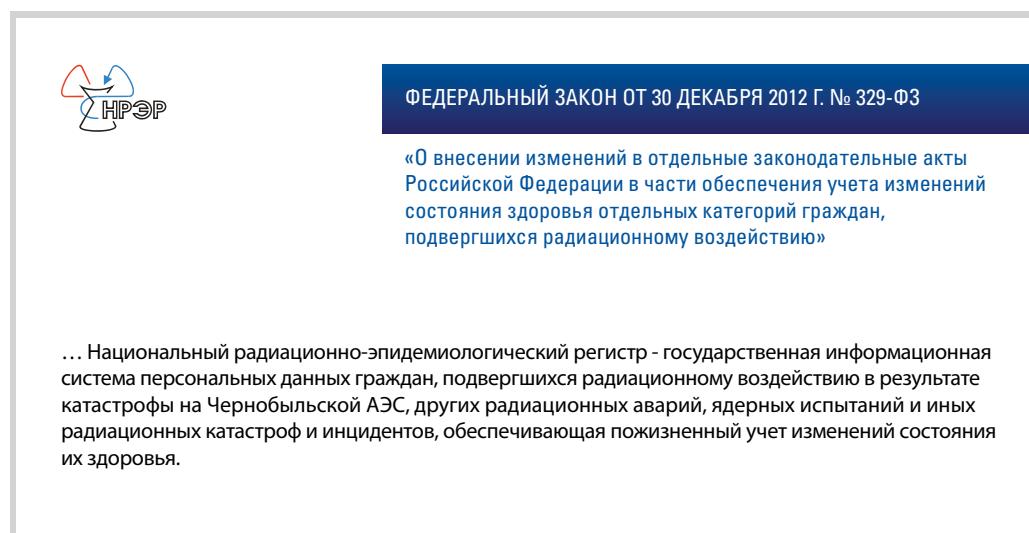
КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУПП ПОВЫШЕННОГО РИСКА

После аварии на АЭС Фукусима Даichi МАГАТЭ организовало ряд крупных экспертных совещаний, по итогам которых в 2015 г. было опубликовано пятитомное издание. Четвёртый том этого издания [6] полностью посвящён проблеме радиологических последствий аварии на АЭС Фукусима Даichi, включая оценку радиационных рисков на основе результатов, полученных в ходе исследований других крупных радиационных аварий. На рис. 1 и 2, взятых из публикации МАГАТЭ, проиллюстрированы основные результаты этих исследований.

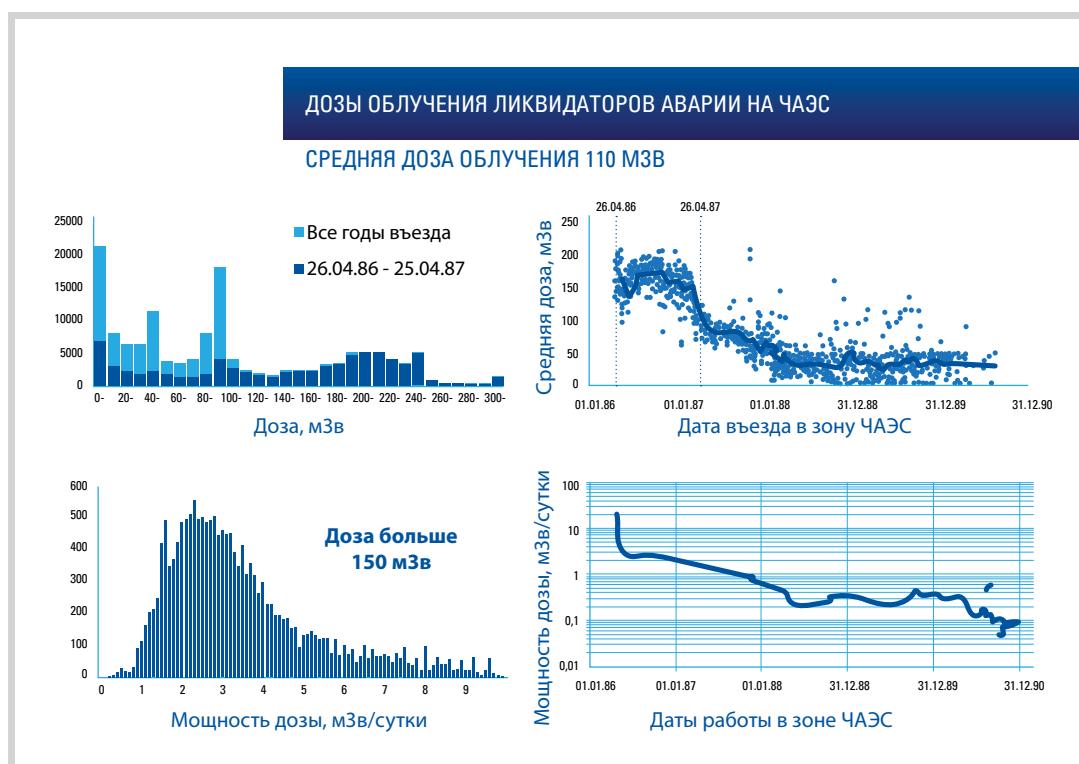
На рис. 1 показана оценка относительного риска смертности от онкологических заболеваний для участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Как следует из рисунка, в зону статистически значимого радиационного риска попадают лица, имеющие дозы внешнего облучения более 150 мЗв. Из рис. 2 следует, что для этой когорты лиц относительный риск радиационно-обусловленных раков статистически значимо возрастает при атрибутивной доле более 10%. Указанные итоговые выводы экспертов МАГАТЭ основаны на многолетней работе Национального радиационно-эпидемиологического регистра, созданного в Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС [7].

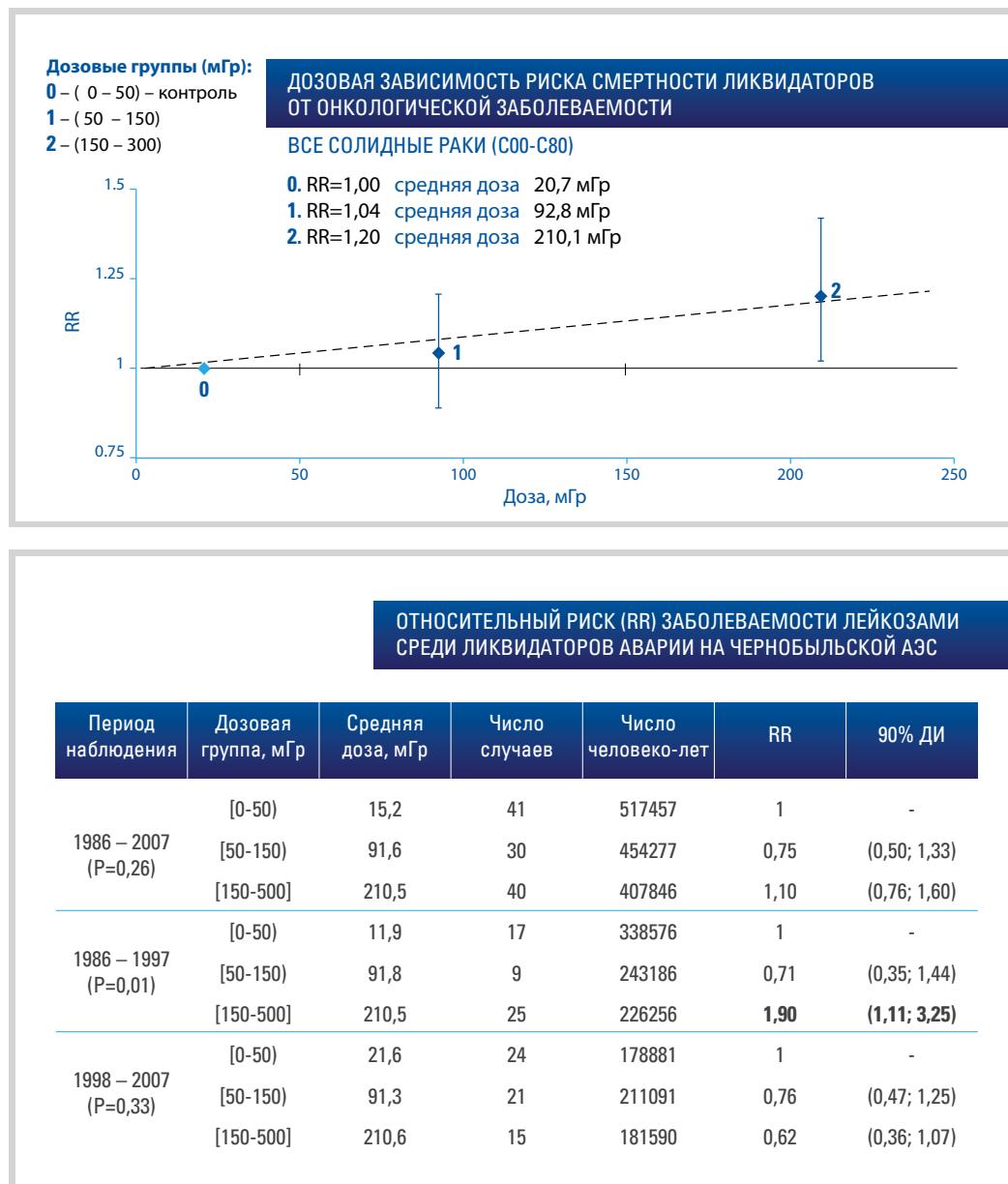


Рассмотрим более подробно выводы Национального радиационно-эпидемиологического регистра, функционирующего в стране в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2012 г. № 329-ФЗ.



Как было показано выше, среди «хихакусей» (жителей городов Хиросима и Нагасаки, переживших в 1945 г. атомную бомбардировку) в результате крупномасштабных радиационно-эпидемиологических исследований, продолжающихся более 60 лет, не удалось установить статистически значимых радиационных рисков при малых и средних дозах облучения (до 150 мЗв). Статистическая мощность Национального радиационно-эпидемиологического регистра России (777435 человек) в 7 раз выше японского показателя. Поэтому ставилась задача уточнить радиационные риски при малых дозах, полученных в Японии. Была выполнена на основе всех международных стандартов дозовая оценка частоты онкозаболеваемости и онкосмертности среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, проживающих в Российской Федерации. Основной вывод состоит в том, что для диапазона доз облучения до 150 мЗв радиационный риск онкозаболеваемости и онкосмертности статистически не значим. Эти выводы были взяты за основу МАГАТЭ при определении возможных групп повышенного радиационного риска после аварии на АЭС Фукусима Даичи.





Таким образом, учитывая новые рекомендации МАГАТЭ [6] и действующие Нормы радиационной безопасности [8] можно сформулировать следующие критерии отнесения работника к критической группе:

1. Накопленная доза облучения CD более 150 мЗв;
2. Абсолютный радиационный риск EAR более 10^{-3} ;
3. Атрибутивная доля риска ARF более 10%.

На основании приведённых выше критериев сформируем 4 группы повышенного риска (ГПР):

- 1 ГПР – CD > 150 мЗв, EAR $\leq 10^{-3}$, ARF $\leq 10\%$;
- 2 ГПР – CD > 150 мЗв, EAR $\leq 10^{-3}$, ARF > 10%;
- 3 ГПР – CD > 150 мЗв, EAR > 10^{-3} , ARF $\leq 10\%$;
- 4 ГПР – CD > 150 мЗв, EAR > 10^{-3} , ARF > 10%.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО РИСКА СРЕДИ ПЕРСОНАЛА, СОСТОЯЩЕГО НА ИНДИВИДУАЛЬНОМ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ В ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Рассмотрим проблему формирования групп повышенного риска среди персонала Госкорпорации «Росатом».

На рис. 3 показано распределение персонала Госкорпорации «Росатом», имеющего накопленные дозы более 150 мЗв, по величине абсолютного и атрибутивного риска, а в табл. 1 и 2 приведены основные характеристики указанных выше групп повышенного риска на 2016 г.

Важно отметить, что для всего персонала группы А, включая и работников из групп повышенного риска, среднее значение абсолютного риска равно $7 \cdot 10^{-5}$, что много ниже порогового значения НРБ-99/2009 – 10^{-3} , а среднее значение атрибутивного риска составляет только 1,44%. Эти данные убедительно свидетельствуют о достаточно высоком уровне радиологической защиты персонала в отрасли.

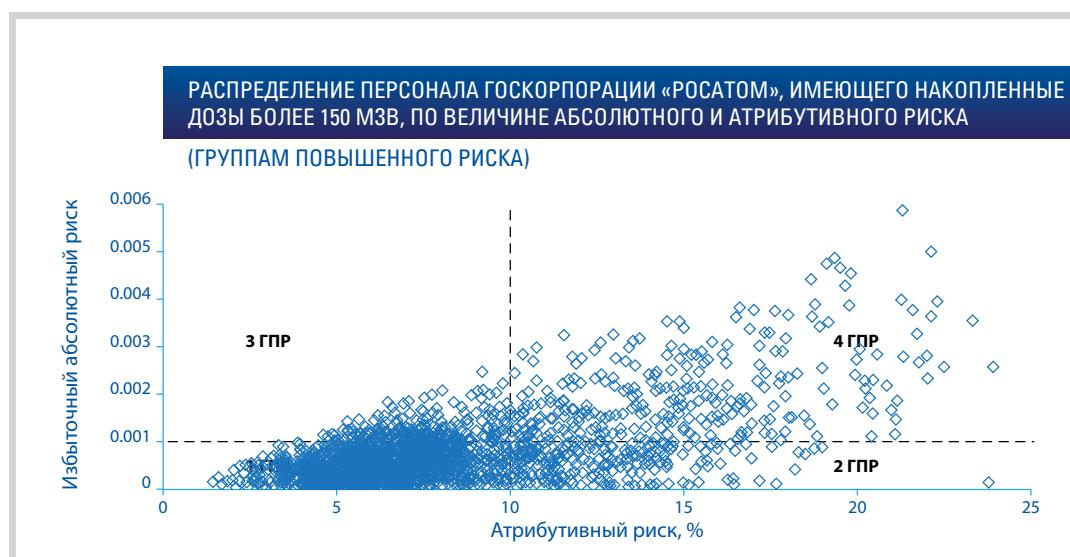


ТАБЛИЦА 1.
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУПП ПОВЫШЕННОГО РИСКА

Группа повышенного риска	Численность (чел.)	Доля от всего персонала группы А (%)	Средний возраст (лет)	Средний стаж на ИДК (лет)	Среднее значение абсолютного риска	Среднее значение атрибутивного риска (%)
1 ГПР	2323	3,54	53,7	28,5	0,000488	6,11
2 ГПР	357	0,54	45,7	24,8	0,000520	12,14
3 ГПР	290	0,44	64,3	38,8	0,001279	7,96
4 ГПР	502	0,77	58,7	35,6	0,001835	14,04
ВСЕ ГРУППЫ	3472	5,29	54,5	30,0	0,000752	8,03
ВЕСЬ ПЕРСОНАЛ	65614	100,00	43,3	12,3	0,000070	1,44

ТАБЛИЦА 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП ПОВЫШЕННОГО РИСКА
ПО ДИВИЗИОННАМ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Дивизион	Всего на ИДК (чел.)	Численность групп повышенного риска (чел.)				
		1 ГПР	2 ГПР	3 ГПР	4 ГПР	все группы
Электроэнергетический	27327	1650	269	189	445	2553
Топливный	9818	73	7	2	1	83
Горнорудный	3863	80	20	0	0	100
Ядерный оружейный комплекс	15005	302	40	34	28	404
Заключительной стадии жизненного цикла	4548	57	9	7	16	89
Блок по управлению инновациями	3863	156	12	56	12	236
Инжиниринговый	90	0	0	0	0	0
Машиностроительный	394	5	0	2	0	7
Радиационные технологии	402	0	0	0	0	0
Прочие	304	0	0	0	0	0
Росатом	65614	2323	357	290	502	3472

Вместе с тем, как видно из табл. 1, численность групп повышенного риска составляет 3472 человека (5,29% от численности всего персонала группы А). В 4 ГПР включено только 502 человека (0,77% от численности всего персонала, состоящего на ИДК). В этой группе выявлены максимальные средние значения абсолютного и атрибутивного рисков – $1,835 \cdot 10^{-3}$ и 14,04% соответственно. Обращает на себя внимание 2 ГПР, где среднее значение атрибутивного риска 12,14%, хотя средний возраст только 45,7 лет.

Как видно из табл. 2, 2553 человека из групп повышенного риска (73,5%) относятся к электроэнергетическому дивизиону, 404 человека (11,6%) – к ядерному оружейному комплексу и 236 работников (6,8%) – к блоку по управлению инновациями.

В табл. 3 показаны средние годовые дозы в группах повышенного риска за 2016 г. и пятилетний период с 2012 по 2016 гг. Как видно из этой таблицы, дозовые нагрузки в группах повышенного риска значительно выше, чем у остального персонала из группы А. Действительно, коллективная доза персонала группы А в 2016 г. составила 108,9 чел.-Зв. Учитывая, что численность групп повышенного риска составляет только 5,29% от всего персонала, можно было бы ожидать, что их коллективная доза при равномерных дозовых нагрузках будет 5,8 чел.-Зв. Однако, как легко оценить по данным из табл. 1 и 3, фактическая коллективная доза групп повышенного риска в 2016 г. равна 15,4 чел.-Зв, что в 2,7 раза выше ожидаемого значения.

ТАБЛИЦА 3.
ТЕКУЩАЯ ДОЗОВАЯ НАГРУЗКА В ГРУППАХ ПОВЫШЕННОГО РИСКА

Группа повышенного риска	Средняя доза за 2016 г. (мЗв)	Средняя доза за 2012-2016 гг. (мЗв)
1 ГПР	4,2	23,3
2 ГПР	7,3	39,6
3 ГПР	2,4	15,4
4 ГПР	4,7	26,5
ВЕСЬ ПЕРСОНАЛ, КРОМЕ ГПР 1-4	1,5	6,8
ВЕСЬ ПЕРСОНАЛ	1,7	7,8

В НРБ-99/2009 отмечается (п. 2.2): «Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года». Учитывая достаточно высокую производительность труда в Госкорпорации «Росатом» (рост 9% в 2016 г. по сравнению с 2015 г.), уменьшение коллективной дозы в группе повышенного риска позволит достичь выраженного экономического эффекта за счёт предотвращённой потери чел.-лет жизни, выраженной в денежном эквиваленте, который устанавливается отдельными документами федерального уровня в размеже не менее 1 годового душевого национального дохода на каждый 1 чел.-года жизни. Приведённые выше данные демонстрируют наличие возможностей для оптимизации радиологической защиты персонала [9].

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОСНОВНЫЕ НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ			
МАГАТЭ, 2011			
СИТУАЦИИ	КАТЕГОРИИ		
	Профессиональное облучение	Облучение населения	Медицинское облучение
	ПЛАНИРУЕМОЕ ОБЛУЧЕНИЕ		
	АВАРИЙНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ		ОТСУТСТВУЮТ
СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ		ОТСУТСТВУЮТ	

В опубликованных недавно Международных основных нормах безопасности МАГАТЭ определены 3 категории облучения (профессиональное облучение, облучение населения, медицинское облучение) и 3 ситуации облучения (существующее облучение, планируемое облучение и аварийное облучение). В настоящем Буклете описан риск-ориентированный подход в оценке радиационного риска существующего облучения среди персонала. Вместе с тем понятно, что предложенная технология и фактические данные по персоналу группы А Госкорпорации «Росатом» будут положены в основу решения фундаментальной проблемы по оптимизации радиационной защиты в условиях планируемого и аварийного облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 //Ann. ICRP. 2007. V. 37, N 2-4.
2. Иванов В.К., Корело А.М., Панфилов А.П., Райков С.В. АРМИР: система оптимизации радиологической защиты персонала. М.: Изд-во «Перо», 2014. 302 с.
3. Публичный годовой отчёт Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», 2015.
4. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Р2.2.1766-03. М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003.
5. Approaches to attribution of detrimental health effects to occupational ionizing radiation exposure and their application in compensation programmes for cancer: a practical guide. Occupational Safety and Health Series, No. 73 /Eds.: S. Niu, P. Deboodt, H. Zeeb. Geneva: International Labour Organization, 2010. 99 p.
6. The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5: Radiological Consequences. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. 245 p.
7. Медицинские радиологические последствия Чернобыля: прогноз и фактические данные спустя 30 лет /Под общей ред. чл.-корр. РАН В.К. Иванова, чл.-корр. РАН А.Д. Каприна. М.: ГЕОС, 2015. 450 с.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
9. Иванов В.К., Корело А.М., Чекин С.Ю., Панфилов А.П., Михеенко С.Г., Усольцев В.Ю. Риск-ориентированный подход к оптимизации радиологической защиты персонала группы А Госкорпорации «Росатом»: формирование критических групп //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 3. С. 19-27.

Подписано в печать 12.04.2018
Формат 210x297 мм
Бумага мелованная
Гарнитура Myriad Pro, PartnerCondensed TT
Тираж 300 экз.