

Виктор Иванов

Ликвидаторы

Радиологические
последствия Чернобыля

Издательство «Центр содействия
социально-экологическим инициативам
атомной отрасли»
2010



Ликвидаторы

Радиологические
последствия Чернобыля



Библиотечка
Общественного совета
Госкорпорации «Росатом»

Публикации, выходящие в серии
«Библиотечка Общественного совета Росатома»,
призваны расширить знания читателей о радиации
и радиационной безопасности,
безопасном использовании атомной энергии
и перспективах развития атомной энергетики
в России и мире





В.К. Иванов

Ликвидаторы: радиологические последствия Чернобыля

**Москва
2010**

Оглавление

Предисловие	3
1. Регистры.....	4
2. Дозы облучения и прогноз радиологических эффектов	9
3. Лейкозы	12
4. Солидные раки.....	16
5. Неонкологические заболевания	20
6. Формирование групп потенциального риска	22
Основные выводы	24
Литература.....	25

Список сокращений и определений

БД – база данных

Гр – Грей, поглощенная доза облучения

Зв – Зиверт, эквивалентная доза облучения

ДИ – доверительный интервал

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии

МКБ-10 – Международная классификация болезней 10-го пересмотра

МКРЗ – Международная комиссия по радиологической защите

МРНЦ РАМН – Медицинский радиологический научный центр

Российской академии медицинских наук

НКДАР ООН – Научный комитет ООН по действию атомной радиации

ООН – Организация объединенных наций

РГМДР – Российский государственный медико-дозиметрический регистр

ЧАЭС – Чернобыльская атомная электростанция

Чел.-лет – человеко-лет

AR (Attributable Risk) – атрибутивный риск

EAR (Excess Absolute Risk) – избыточный абсолютный риск

ERR (Excess Relative Risk) – избыточный относительный риск

IARC – International Agency for Research Cancer

LSS (Life Span Study) – когорта переживших атомную бомбардировку в Японии

RR (Relative Risk) – относительный риск

SIR (standardized incidence ratio) – стандартизованное отношение
заболеваемости

SMR (standardized mortality ratio) – стандартизованное отношение
смертности



Виктор Иванов – председатель Российской научной комиссии по радиологической защите, член Общественного совета Госкорпорации «Росатом», член-корреспондент РАМН, Заслуженный деятель науки РФ

Предисловие

Приближается 25-я годовщина чернобыльской катастрофы. Ученые и общественность естественно уделяют повышенное внимание прежде всего доказанным (статистически значимым) отдаленным эффектам радиационного воздействия на ликвидаторов и население. Действительно, зависимость «доза-эффект» имеет очень высокий уровень неопределенности в интервале малых доз облучения (до 0,2 Зв). Именно в этом дозовом интервале находится подавляющее большинство лиц, подвергшихся облучению после Чернобыля. Ведущие международные организации: НКДАР ООН, МКРЗ, МАГАТЭ, ВОЗ оперируют в настоящее время так называемой линейной беспороговой моделью отдаленных радиологических эффектов. Это означает, что сколь угодно малые дозы облучения могут инициировать отдаленные онкорadiологические эффекты с ненулевой вероятностью. Поэтому одной из фундаментальных научно-практических задач постчернобыльских эпидемиологических исследований является действительно объективная и статистически установленная зависимость медицинских радиологических последствий от полученных доз облучения.

Настоящая работа посвящена обзору опубликованной литературы об отдаленных медицинских радиологических эффектах среди ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Основным критерием выбора литературы по данной проблеме явилась публикация выполненных исследований в ведущих отечественных и международных изданиях и журналах.

Таким критерием при рассмотрении научных публикаций в настоящее время пользуются многие международные организации, в частности НКДАР ООН. Действительно, использование такого дополнительного «фильтра» позволяет исключить из рассмотрения слабые работы, не прошедшие серьезного рецензирования на этапе публикации.

В представленной работе последовательно рассматриваются главные вопросы о медицинских последствиях аварии на Чернобыльской АЭС среди ликвидаторов: национальные регистры, дозы облучения и прогноз радиологических эффектов, фактические данные о радиационных рисках онкологических и неонкологических заболеваний, выявленные за почти 25-летний период после аварии.

1. Регистры

В июне 1986 г. Минздравом СССР была принята программа (Приказ № 883 МЗ РФ) по созданию Всесоюзного распределенного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС (ВРР), головная организация которого была образована на базе вычислительного центра НИИ медицинской радиологии АМН СССР (г. Обнинск). Граждане СССР, являвшиеся ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС, подлежали обязательной регистрации в ВРР. В создание ВРР были вовлечены все республики бывшего Советского Союза, большое число научных и практических учреждений. Основными поставщиками информации в ВРР были РИВЦы (Республиканские информационно-вычислительные центры) Министерств здравоохранения Белоруссии, Российской Федерации и Украины.

После распада СССР в новых независимых государствах на базе республиканских филиалов ВРР были созданы свои национальные системы мониторинга за изменением состоянием здоровья ликвидаторов [1]. Так, в начале 1992 г. в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 4.11.1991 г. № 173 «О медицинском обеспечении и реабилитации населения, подвергшегося радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» на базе ВРР в Медицинском радиологическом научном центре РАМН (МРНЦ РАМН – современное название НИИ медицинской радиологии) был создан Российский государственный медико-дозиметрический регистр (РГМДР). Главной целью его создания являлось обеспечение долговременного автоматизированного персонального учета лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС, их детей и последующих поколений, оценки состояния здоровья и его изменений.

Не останавливаясь на подробном описании РГМДР, ниже мы кратко осветим только некоторые наиболее важные характеристики системы, относящиеся к регистрации медико-дозиметрических данных по ликвидаторам. В первую очередь следует отметить, что РГМДР является уникальной медицинской информационно-аналитической системой как по масштабам (более 670 тыс. зарегистрированных граждан России, из которых более 190 тыс. – ликвидаторы), так и по территориальному охвату (персональные данные по каждому зарегистрированному в регистре ежегодно поступают в МРНЦ РАМН из всех субъектов Российской Федерации). На рис. 1 показано

распределение численности ликвидаторов, зарегистрированных в РГМДР, по субъектам РФ. Сбор индивидуальной медико-дозиметрической информации о ликвидаторах, состоящих на учете в системе РГМДР, осуществляется на районном и областном уровнях при проведении диспансеризации и в процессе обращения за медицинской помощью, а также при проведении специализированного обследования путем перевода необходимых данных из амбулаторных карт и других медицинских источников в специальные формы, называемые первичными бумажными документами (протоколы регистра). Они вводятся в компьютер и далее информация из областных филиалов регистра поступает в региональный центр, где формируется база данных региона. И на последнем этапе региональные базы данных передаются на государственный уровень (в МРНЦ РАМН г.Обнинск) – в основную базу данных РГМДР.

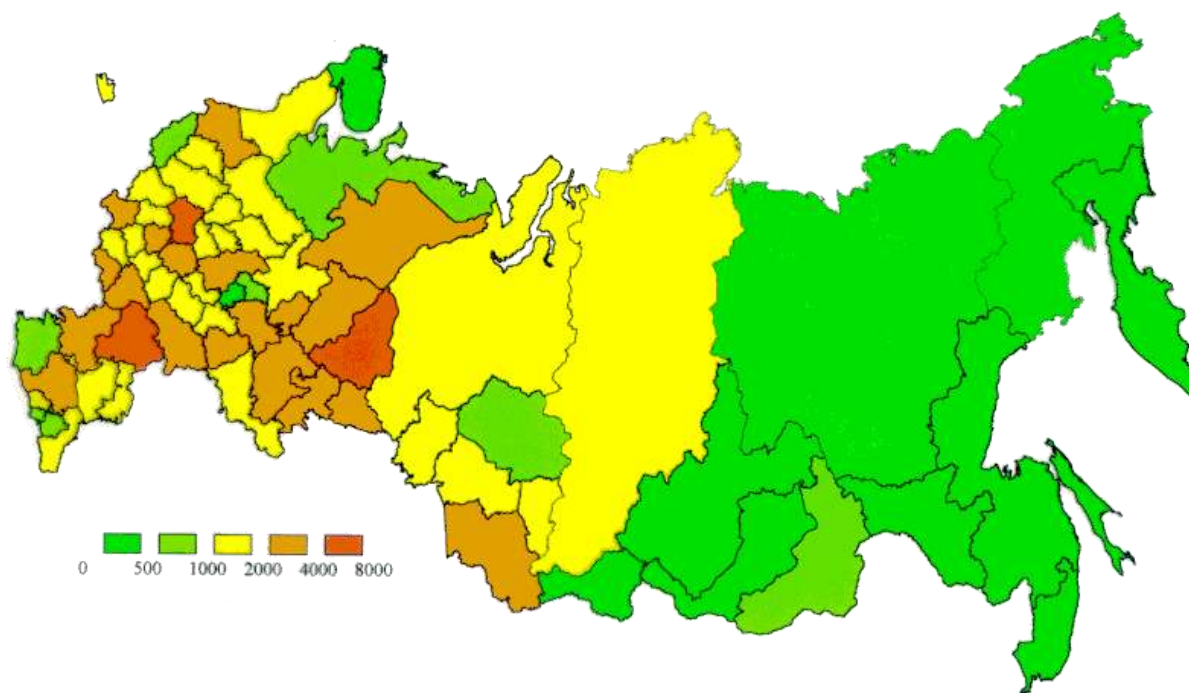


Рис. 1. Распределение численности ликвидаторов, зарегистрированных в РГМДР, по субъектам РФ.

На рис. 2 представлена динамика численности зарегистрированных, выбывших (нарастающий итог), умерших (нарастающий итог) и состоящих на учете в РГМДР ликвидаторов. Как видно из графика, общее число зарегистрированных в РГМДР ликвидаторов активно росло в первые годы после аварии, с 1989 по 1994 гг. годовой прирост числа зарегистрированных превышал 5%, но с 2002 г. годовой прирост не превышает 1%. Как видно из того же рисунка, в отличие от неубывающей кривой, характеризующей численность зарегистрированных ликвидаторов, кривая численности состоящих на учете

имеет свой максимум в 1999 г. (180 090 человек), и с этого момента начинается постоянное снижение численности (за счет процессов выбытия и смертности). К настоящему моменту общее число состоящих на учете в РГМДР сократилось до 135 460 человек.

Таким образом, на 1.12.2009 г. в РГМДР зарегистрировано 190 917 ликвидаторов (из которых умерло 36 445 человек – 19,0%). Из них мужчин-ликвидаторов в РГМДР зарегистрировано 184 408 человек, а женский контингент насчитывает 6 509 человек, что составляет соответственно 96,6% и 3,4% от общего числа, внесенных в регистр.

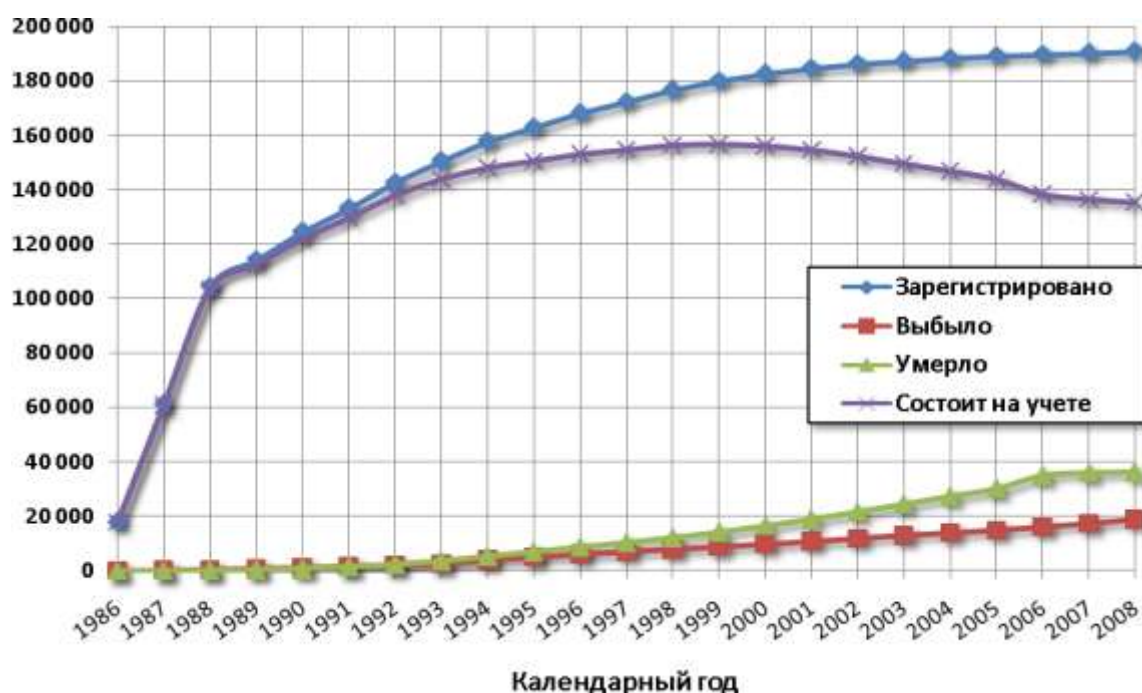


Рис. 2. Динамика численности зарегистрированных, выбывших, умерших и состоящих на учете в РГМДР ликвидаторов.

Основными региональными центрами (ведомственными регистрами), с точки зрения общей численности зарегистрированных в РГМДР, являются Центральный (зарегистрировано 31 987 ликвидатора, что составляет 16,75% от общего числа лиц в регистре в целом), Северо-Кавказский (30 583, 16,02%), Уральский (23 453, 12,28%) и Поволжский (21 278, 11,15%) регионы, а также регистр Госкорпорации Росатом (18605, 9,75%). В таблице 1 региональные центры и ведомственные регистры размещены в порядке убывания общего числа зарегистрированных в них ликвидаторов.

Таблица 1

Распределение ликвидаторов, зарегистрированных в РГМДР, по регионам (ведомствам) и полу

Регион (министерство/ведомство)	Всего	%	Мужчины	%	Женщины	%
РЕГИСТР в целом	190 917	100,00	184 408	100,00	6 509	100,00
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ регион	31 987	16,75	30 956	16,79	1 031	15,84
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ регион	30 583	16,02	30 175	16,36	408	6,27
УРАЛЬСКИЙ регион	23 453	12,28	23 123	12,54	330	5,07
ПОВОЛЖСКИЙ регион	21 278	11,15	20 710	11,23	568	8,73
Госкорпорация Росатом	18 605	9,75	15 852	8,60	2 753	42,30
ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ регион	11 187	5,86	10 961	5,94	226	3,47
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ регион	10 848	5,68	10 541	5,72	307	4,72
ВОЛГО-ВЯТСКИЙ регион	10 760	5,64	10 592	5,74	168	2,58
ЦЕНТР.-ЧЕРНОЗЕМНЫЙ регион	10 438	5,47	10 245	5,56	193	2,97
СЕВЕРНЫЙ регион	6 131	3,21	6 029	3,27	102	1,57
Минобороны РФ	4 221	2,21	4 181	2,27	40	0,61
МВД РФ	4 069	2,13	4 031	2,19	38	0,58
ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ регион	2 636	1,38	2 408	1,31	228	3,50
ОАО "РЖД"	2 520	1,32	2 480	1,34	40	0,61
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ регион	1 234	0,65	1 169	0,63	65	1,00
ФСБ РФ	967	0,51	955	0,52	12	0,18

Полнота наблюдения за динамикой состояния здоровья (follow-up) является одной из основных характеристик состоятельности регистров как информационного базиса для проведения эпидемиологических исследований. На рис. 3 представлена динамика охвата ежегодными медицинскими осмотрами ликвидаторов, зарегистрированных в РГМДР, в наиболее представительных региональных центрах (в которых суммарно зарегистрировано более 65% от общего числа ликвидаторов) и регистре в целом. Как видно из рисунка, на всем периоде наблюдения (1994-2008 гг.) уровень охвата ликвидаторов медицинскими осмотрами во всех анализируемых региональных центрах и в регистре в целом находится на достаточно высоком уровне (в среднем выше 70%), хотя в последние годы (начиная с 2005 г.) наметилась тенденция к некоторому снижению.

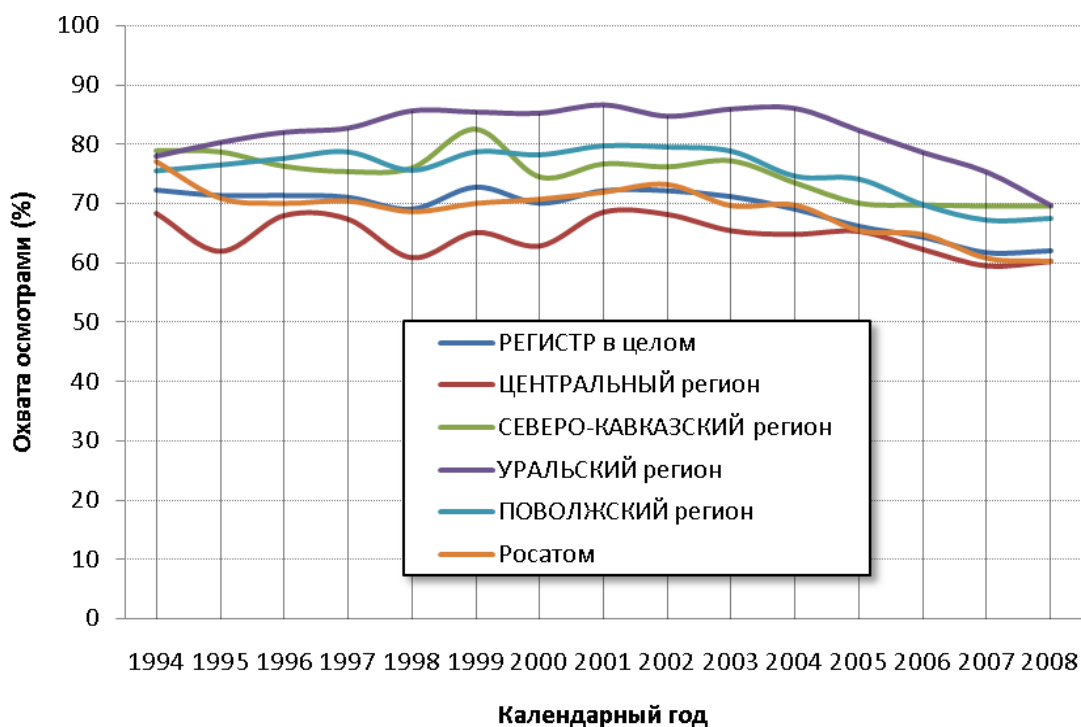


Рис. 3. Динамика охвата ежегодными медицинскими осмотрами ликвидаторов, зарегистрированных в РГМДР, в наиболее представительных региональных центрах и регистре в целом.

По результатам ежегодного медицинского наблюдения на ликвидаторов в соответствии с приказами Минздрава России заполняются специализированные первичные документы (протоколы регистра):

- Регистрационная карта, которая содержит паспортно-регистрационные данные, информацию о пребывании в зоне радиационного воздействия, полученной дозовой нагрузке и хронических заболеваниях, имевшихся до аварии на ЧАЭС или до момента прибытия в зону;
- Кодировочный талон, который содержит данные о заболеваниях, выявленных при диспансеризации или при обращении за лечением в текущем году, проведенных и назначенных методах лечения или оздоровления, состоянии здоровья на конец года, данных о связи заболевания с радиационным воздействием (по заключению межведомственного экспертного совета), инвалидности или смерти. Все заболевания кодируются в соответствии с Международным классификатором болезней (МКБ-10);
- Регистрационная карта онкологического заболевания (РКОЗ) лица, подвергшегося воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС, на основе которой формируется специализированный канцер-подрегистр ликвидаторов;

- Карта причин смерти (КПС) лица, подвергшегося воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС, на основе которой формируется специализированный подрегистр причин смерти ликвидаторов.

Данные из регистрационных карт и кодировочных талонов формируют основную базу данных РГМДР, а РКОЗ и КПС формируют специализированные регистры, предназначенные для углубленного изучения медицинских последствий аварии на ЧАЭС, а также для верификации диагнозов, внесенных в поля кодировочных талонов основной базы данных.

2. Дозы облучения и прогноз радиологических эффектов

В таблице 2 показаны итоговые данные о дозах внешнего облучения ликвидаторов из бывших республик СССР [2-11]. Рассмотрим более подробно ситуацию с дозами облучения ликвидаторов в 1986 г. Наибольшая средняя доза (186 мГр) получена ликвидаторами из Украины, наименьшая доза (60 мГр) – ликвидаторами из Белоруссии. Необходимо отметить, что многие ликвидаторы из Белоруссии выполняли работы в Гомельской и Могилевской областях и не участвовали в работах в 30-км зоне ЧАЭС.

На рис. 4, 5 показаны характеристики доз облучения ликвидаторов из Российской Федерации [12-16]. Следует особо отметить, что ежедневные дозы некоторых ликвидаторов достигали 10 мГр/день.

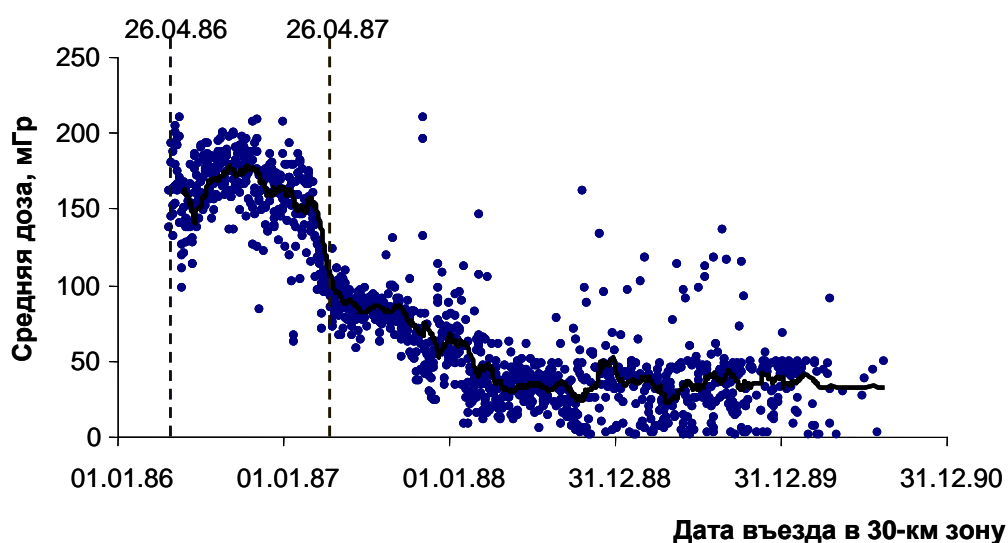


Рис. 4. Индивидуальные дозы внешнего облучения ликвидаторов аварии.

Таблица 2

Дозы внешнего облучения ликвидаторов

	Период (годы)	1986	1987	1988	1989	1990	неизвестен	1986-1990
Беларусь	Численность	68000	17000	4000	2000	0	-	91000
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	8	12	20	16	-	-	9
	Средняя доза (мГр)	60	28	20	20	-	-	51
Россия	Численность	87772	65811	24160	8626	1805	-	188174
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	62,0	78,6	83,4	77,0	72,2	-	71,3
	Средняя доза (мГр)	149	89	35	34	39	-	107
Украина	Численность	141340	49365	20819	12979	3938	778	229219
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	28,9	60,1	65,4	70,8	63,4	-	42,5
	Средняя доза (мГр)	186	127	57	49	51	-	151
Эстония	Численность	2936	1089	561	108	1	137	4832
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	87,8	84,7	80,0	91,7	0,0	2,9	83,9
	Средняя доза (мГр)	109	111	32	45	-	44	99
Латвия	Численность	3338	1757	732	169	19	50	6065
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	78	80	71	78	68	-	77
	Средняя доза (мГр)	146	106	31	45	55	-	117
Литва	Численность	2440	3151	1006	246	3	114	6960
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	69	80	64	79	67	21	73
	Средняя доза (мГр)	144	108	43	50	28	107	109
Все страны	Численность	305826	138173	51278	24128	5766	1079	526250
	Доля лиц с зарегистрированной дозой (%)	35	64	71	69	66	-	48
	Средняя доза (мГр)	146	96	43	41	47	-	117

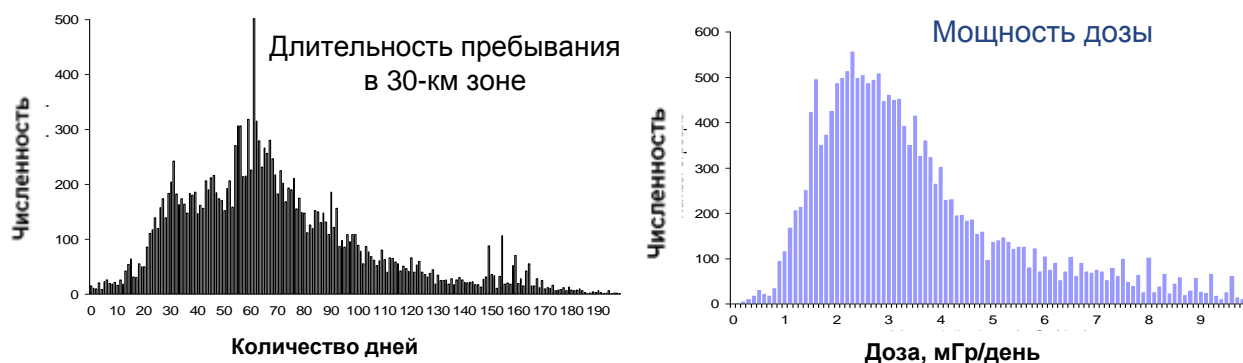


Рис. 5. Радиационное воздействие на ликвидаторов аварии.

Крайне актуальным является вопрос о факторе неопределенности в дозиметрических данных [17-19].

По степени надежности дозиметрические данные для ликвидаторов можно разделить на три основные группы в зависимости от использованного метода оценки дозы:

- экспозиционная или поглощенная доза, полученная с использованием индивидуального дозиметра – максимальная погрешность около 50% при условии правильного его использования;

- групповая доза, приписанная лицам, входившим в группу, которая выполняла какую-либо работу в зоне, по показаниям индивидуального дозиметра, находившегося у одного из членов группы – максимальная неопределенность дозы по группе могла достигать 300%;

- маршрутная доза, которая оценивалась по средней мощности экспозиционной дозы в зоне проведения работ и времени пребывания в ней группы лиц – максимальная неопределенность дозы по группе могла достигать 500%.

Прогноз отдаленных радиологических эффектов по когорте ликвидаторов был сделан впервые ведущими экспертами на международной конференции в Вене (1996 г.), приуроченной к 10-й годовщине Чернобыля [20]. При этом радиационные риски на единицу дозы были взяты по данным Хиросимы-Нагасаки, а дозовые и половозрастные распределения – по фактическим данным о ликвидаторах. Было показано, что атрибутивный риск AR (доля радиационно-обусловленных раков среди всех выявленных) составит: по солидным ракам – 5%, по лейкозам – 20%. Было отмечено также, что величина AR по лейкозам в первые 10 лет после аварии может достигать 79%.

Рассмотрим далее фактические данные о радиационных рисках ликвидаторов, опубликованные в ведущих научных журналах.

3. Лейкозы

Радиационные риски лейкозов на единицу дозы превышают соответственный показатель по солидным ракам в 5-7 раз. В связи с этим получение объективных данных зависимости «доза-эффект» по лейкозам является в настоящее время объективным индикатором степени радиационного воздействия.

По этой проблеме в ведущих отечественных и международных журналах опубликовано ограниченное число научных работ. Рассмотрим основные выводы.

Впервые сравнение прогнозных и фактических данных о заболеваемости ликвидаторов лейкозами было опубликовано в 1997 г. [21]. Эти данные Российского государственного медико-дозиметрического регистра (РГМДР) показаны на рис. 6. Какие главные выводы можно сделать? Во-первых, прогноз и фактические данные находятся в хорошем согласии в пределах погрешностей. Во-вторых, как следует из прогноза, и что четко видно из данных регистра, пик радиогенных лейкозов наблюдался через 4-5 лет после катастрофы с величиной атрибутивного риска (AR) 45-60%. Это означает радиационную обусловленность каждого второго случая лейкоза, выявляемого в настоящее время у ликвидаторов. Несмотря на то, что с течением времени доля радиогенных лейкозов у ликвидаторов должна постоянно уменьшаться, продолжение исследований в этом направлении остается одной из приоритетных задач РГМДР.

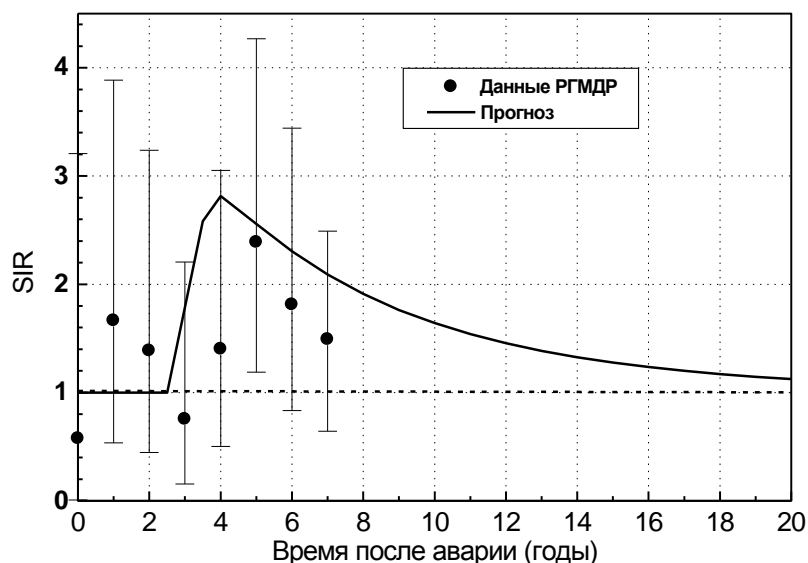


Рис. 6. Фактические данные и прогноз динамики SIR заболеваемости лейкозами в когорте ликвидаторов.

На втором этапе исследований по этой проблеме была рассмотрена заболеваемость лейкозами среди ликвидаторов за период с 1986 по 2001 гг. [22, 23].

В эпидемиологический анализ были включены ликвидаторы, проживающие в европейской части России (71870 человек), о которых в Регистре имелась индивидуальная информация, касающаяся полученных доз внешнего облучения (средняя доза 107 мГр). Рассматривались два периода: 1986-1996 гг. и 1997-2001 гг. При сравнении заболеваемости лейкозами 2 групп ликвидаторов (получивших дозу внешнего облучения до 150 мГр и более 150 мГр) оказалось, что в первые 10 лет наблюдения заболеваемость лейкозами (за исключением хронических лимфолейкозов) во 2-й группе была в 2,2 раза выше, чем в 1-й, но в 1997-2001 гг. различий между группами не выявлено (таблица 3).

Таким образом, можно сделать два основных вывода: во-первых, к группе риска следует отнести только ликвидаторов, получивших дозу более 150 мГр; во-вторых, риск радиационной индукции лейкозов реализовался в течение первых 10 лет после чернобыльской катастрофы.

Таблица 3
Радиационные риски лейкозов у ликвидаторов (1986-2001 гг.)

Период наблюдения	1986-1996 гг.				1997-2001 гг.			
	0-	45-	90-	150-300	0-	45-	90-	150-300
Дозовые группы (мГр)	0-	45-	90-	150-300	0-	45-	90-	150-300
Средние дозы (мГр)	17	67	103	208	17	65	104	208
Число заболеваний лейкозами	8	4	5	19	4	3	3	5
Число человеко-лет наблюдения	126 750	93 915	121 634	174 437	79 970	56 459	68 741	94 847
Относительный риск (90% ДИ)	1.0 -	0.7 (0.2, 1.8)	0.7 (0.2, 1.6)	1.7 (0.9, 3.6)	1.0 -	1.1 (0.3, 3.7)	0.9 (0.2, 3.1)	1.1 (0.4, 3.3)
Сравнение двух групп (90% ДИ)	1 -			2.2 (1.3, 3.8)	1 -			1.1 (0.4, 2.6)
Избыточный относительный риск (на Гр) (90% ДИ)	5.3 (0.0, 22.0)				0.1 (-3.4, 13.2)			

И, наконец недавно, РГМДР опубликовал данные о заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов за период наблюдения с 1986 по 2007 гг. [24]. Стандартизованное отношение заболеваемости (SIR) лейкозами среди ликвидаторов после 2000 г. не отличается значимо от 1, т.е. частота этой патологии у ликвидаторов соответствует аналогичному показателю у мужского населения страны (рис. 7). Таким образом, можно сделать общий вывод о том,

что прогнозные и фактические данные РГМДР находятся в хорошем согласии. Это означает, что радиационно обусловленные лейкозы среди ликвидаторов были реализованы фактически в первые 10-12 лет после аварии на Чернобыльской АЭС.

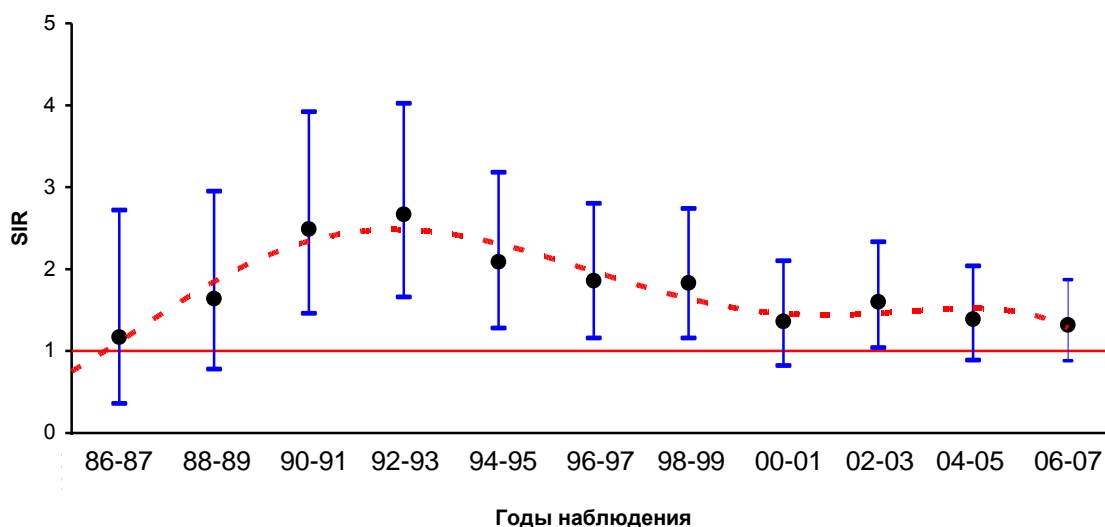


Рис. 7. Стандартизованное отношение заболеваемости (SIR) лейкозами среди ликвидаторов.

Рассмотрим данные о заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов из Украины [25-28]. Эти данные представлены в таблице 4.

Таблица 4
Радиационные риски лейкозов среди ликвидаторов из Украины

Доза облучения, мГр	Число лейкозов	Радиационный риск (95% доверительный интервал)
0 – 1,9	17	1
2,0 – 19,9	17	1,28 (0,59-2,75)
20,0 – 149,9	20	1,71 (0,80-3,64)
150,0 – 3220,0	17	2,50 (1,17-5,33)

Как видно из этой таблицы, по украинским данным получено подтверждение выводов РГМДР, опубликованных в 1997 г. [21]. Действительно, среди ликвидаторов, получивших дозы более 150 мГр, частота лейкозов в 2,5 раза выше, чем в контрольной группе.

В работе [29] был проведен анализ радиационных рисков среди ликвидаторов из Белоруссии, России и Балтийских стран. Рассмотрено 117 гемобластозов, в том числе 69 лейкозов. На рис. 8 приведены данные о

дозовой зависимости, где показаны точечные риски и различные модели аппроксимации. Как видно из этого рисунка, основную роль в оценке дозовой зависимости играют ликвидаторы, получившие дозы облучения более 150 мГр. Величина избыточного относительного риска $ERR/100 \text{ мГр} = 0,6$ при 90% ДИ: -0,01; 2,58. Что касается небольшого количества других, опубликованных по этой теме работ, то они главным образом носят эмпирический характер и не меняют основных выводов базовых статей, рассмотренных нами ранее.

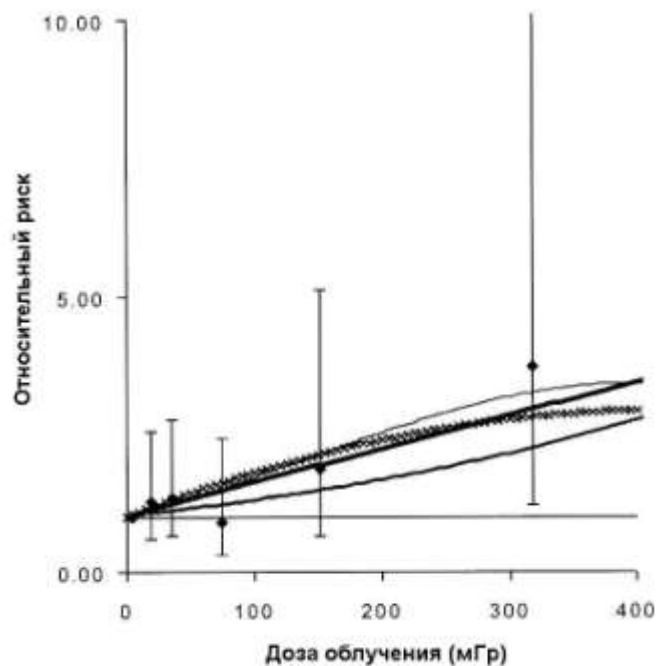


Рис. 8. Дозовая зависимость заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов.

Таким образом, можно сделать основной вывод из приведенных эпидемиологических исследований о том, что к группе радиационного риска заболеваемости лейкозами следует отнести ликвидаторов, получивших дозу внешнего облучения более 150 мГр. По данным РГМДР радиационные риски лейкозов среди ликвидаторов были реализованы в течение 10-12 лет после аварии на Чернобыльской АЭС.

4. Солидные раки

В настоящее время в ведущих отечественных и международных журналах опубликовано ограниченное число работ, посвященных оценке онкозаболеваемости и онкосмертности среди ликвидаторов [30-33].

Рассмотрим данные РГМДР по этому вопросу [34-40]. Анализ онкосмертности среди ликвидаторов 1986-1987 гг. въезда в 30-км зону Чернобыльской АЭС был проведен по когорте в 47820 человек, для которых средняя доза внешнего облучения составила 128 мГр. На рис. 9, 10 показано распределение ликвидаторов по возрастным и дозовым группам. В таблице 5 приводится структура смертности ликвидаторов по основным классам заболеваний.

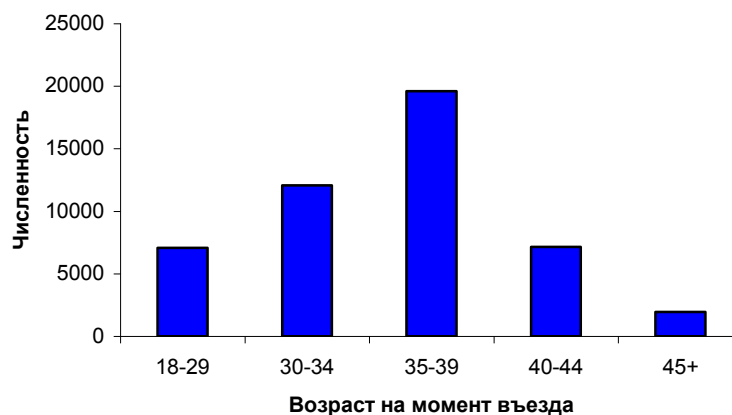


Рис. 9. Распределение ликвидаторов по возрастным группам.

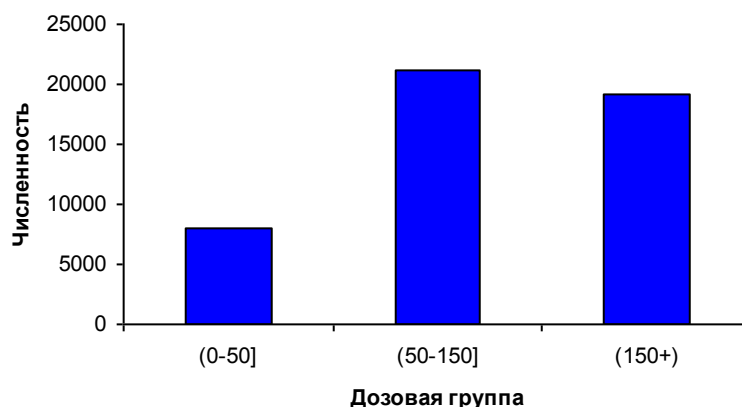


Рис. 10. Распределение ликвидаторов по дозовым группам.

Таблица 5

Структура смертности ликвидаторов по основным классам заболеваний

Класс заболеваний	МКБ-10	Наблюдаемое	
		кол-во случаев	%
Все		10896	100
Инфекционные и паразитарные болезни	A, B	272	2,5
Злокачественные новообразования (солидные)	C00-C80	1393	12,8
Болезни системы кровообращения	I	4306	39,5
Болезни органов дыхания	J	623	5,7
Болезни органов пищеварения	K	729	6,7
Травмы и отравления	S, T	2782	25,5
Другие		791	7,3

Как видно из таблицы 5, наибольшее количество смертей зарегистрировано от болезней системы кровообращения (4306 случаев). Также большое количество смертей зарегистрировано от травм и отравлений (2782 случая). Следует отметить и смертность от злокачественных солидных новообразований (1393 случая). Смертность от этих трех причин составляет 77,8% от общего числа смертей.

На рис. 11 показана динамика стандартизованного отношения смертности (SMR) по причинам онкологических заболеваний. Как видно, за период наблюдения с 1991 по 2006 гг. частота онкозаболеваемости не превышает аналогичного показателя для мужского населения России. Вместе с тем, оценка избыточного относительного риска (ERR) показала – $ERR=0,42 \text{ Гр}^{-1}$ 95% ДИ (0,14; 0,72). Значимый радиационный риск при отсутствии значимого отличия в частоте онкосмертности известен в эпидемиологии как «эффект здорового рабочего».

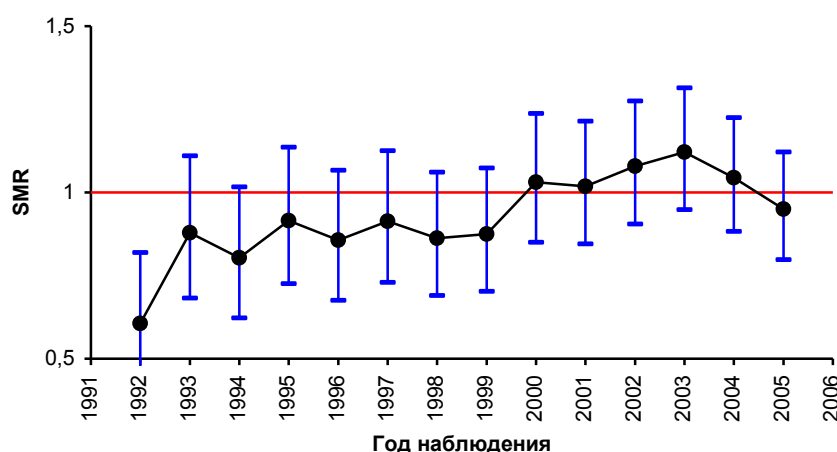


Рис. 11. Динамика SMR по причинам онкологических заболеваний.

Рассмотрим вопрос о рисках онкологической заболеваемости среди ликвидаторов. На рис. 12 показана динамика стандартизованного отношения заболеваемости (SIR). Как видно из этого рисунка, частота онкозаболеваемости среди ликвидаторов превышает аналогичный показатель в контрольной группе. Избыточный относительный риск $ERR=0,75/Гр$ (95% ДИ: 0,23-1,27) подтверждает наличие дозовой зависимости.

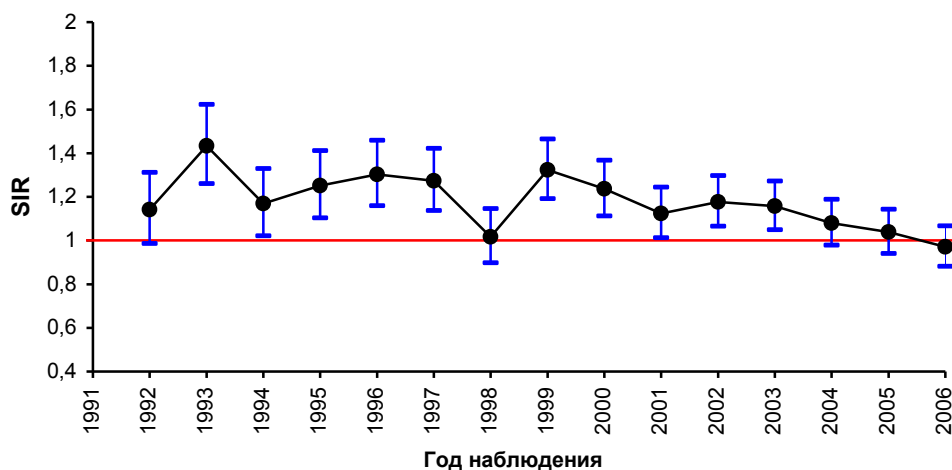


Рис. 12. Динамика SIR по всем солидным ракам.

В заключение анализа данных РГМДР важно подчеркнуть, что к группе риска по солидным ракам следует отнести ликвидаторов, получивших дозы внешнего облучения более 150 мГр (рис. 13).

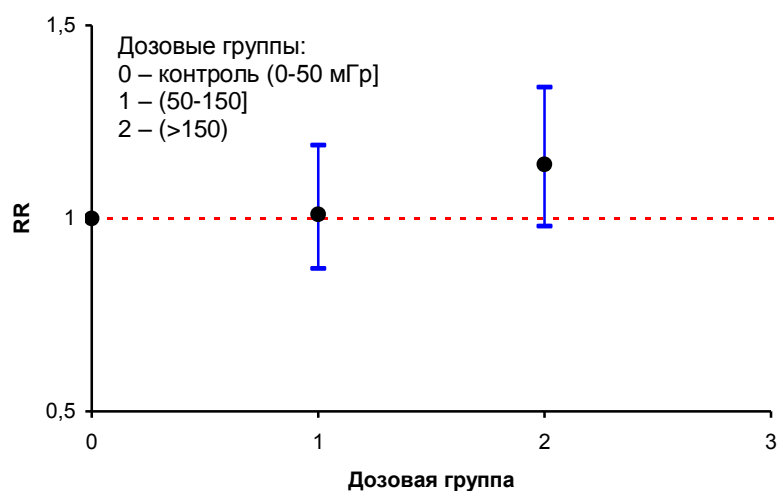


Рис. 13. Оценки относительного риска (RR) для солидных раков по дозовым группам (точки: $RR=1,01$ для средней дозы 94,3 мГр и $RR=1,14$ для средней дозы 210 мГр; вертикальные отрезки – 95% доверительные интервалы; горизонтальная пунктирная линия $RR=1$ – контроль (0-50 мГр)).

Приведенные данные РГМДР находятся в хорошем согласии с выводами по частоте онкологических заболеваний среди ликвидаторов из Украины и других стран – бывших советских республик [41-45].

В анализе заболеваемости раком щитовидной железы (РЩЖ) ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС установлено значительное повышение частоты заболеваемости РЩЖ (SIR=3,47, 95% ДИ: 2,80; 4,25) среди ликвидаторов по отношению к стандартизованному по возрасту мужскому населению страны. Показано, что наиболее высокую частоту заболеваемости РЩЖ (SIR=6,62, 95% ДИ: 4,63; 9,09) имеют ликвидаторы, принимавшие участие в работах в 30-км зоне Чернобыльской АЭС в апреле-июле 1986 г. Не установлено статистически значимой зависимости частоты заболеваемости РЩЖ среди ликвидаторов от дозы внешнего облучения. Поскольку максимальная частота заболеваемости РЩЖ выявлена среди ликвидаторов, принимавших участие в восстановительных работах в апреле-июле 1986 г., делается предположение о возможном влиянии инкорпорированного облучения щитовидной железы радионуклидами ^{131}I как фактора риска.

Как видно из таблицы 1, Российский государственный медико-дозиметрический регистр включает когорту ликвидаторов (18 605 человек), которые до аварии на Чернобыльской АЭС работали на предприятиях атомной отрасли СССР. Эпидемиологические данные по этой когорте представляют особый интерес [43]. Действительно, эти данные отличаются высокой степенью надежности – ликвидаторы из «средмаша» в подавляющем большинстве имели индивидуальные дозиметры, что обеспечивало высокую точность в оценках полученных доз облучения, а, следовательно, и радиационных рисков. С другой стороны, их средняя доза облучения при ликвидации последствий аварии была примерно 50 мЗв, что очень близко к значению накопленной дозы действующим персоналом Госкорпорации «Росатом», состоящим в настоящее время на индивидуальном дозиметрическом контроле (56 мЗв). В результате проведенных исследований было установлено:

- частота онкозаболеваемости ликвидаторов из «средмаша» не превышает ожидаемого контрольного (спонтанного) уровня;
- зависимость «доза-эффект» для этой когорты отсутствует (рис. 14).

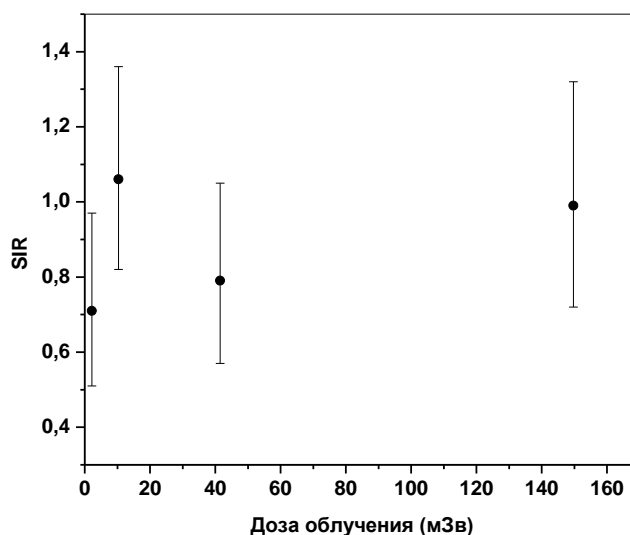


Рис. 14. Зависимость стандартизованного отношения заболеваемости (SIR) от дозы облучения.

Понятно, что полученные результаты эпидемиологических исследований имеют первостепенное значение для регулирования современных норм радиационной безопасности и подтверждают выводы НКДАР ООН об отсутствии доказанных радиационных рисков в диапазоне доз облучения до 100 мЗв.

5. Неонкологические заболевания

Проблема объективной оценки радиационных рисков неонкологических заболеваний приобрела особое значение в последние годы. Прежде всего, получены окончательные выводы по этому вопросу в Хиросиме-Нагасаки. Если через EAR обозначить величину избыточного абсолютного риска (т.е. число дополнительных заболеваний на 100 тыс. человек), то

$$EAR = \lambda \cdot ERR,$$

где λ – спонтанный уровень заболеваемости, ERR – избыточный относительный риск.

Что главное было получено в Хиросиме-Нагасаки? Было показано, что величина ERR на единицу дозы облучения для неонкологических заболеваний системы кровообращения (инфаркт, инсульт) примерно в 4-5 раз меньше, чем для онкологических заболеваний. Одновременно, значение λ (спонтанного уровня заболеваемости) по неонкологическим заболеваниям этого класса в 3-4

раза больше аналогичного показателя по онкологическим заболеваниям. Таким образом, в терминах числа дополнительных заболеваний на 100 тыс. человек (избыточного абсолютного риска) последствия радиационного воздействия по отдаленным онкологическим и неонкологическим заболеваниям достаточно сопоставимы.

По данным РГМДР установлен статистически значимый риск цереброваскулярных заболеваний среди ликвидаторов ($ERR=0,39$; 95% ДИ: 0,004; 0,77) [46, 47]. На рис. 15, 16 показана полученная зависимость относительного риска цереброваскулярных заболеваний от дозы облучения и мощности дозы (ежедневной дозы).

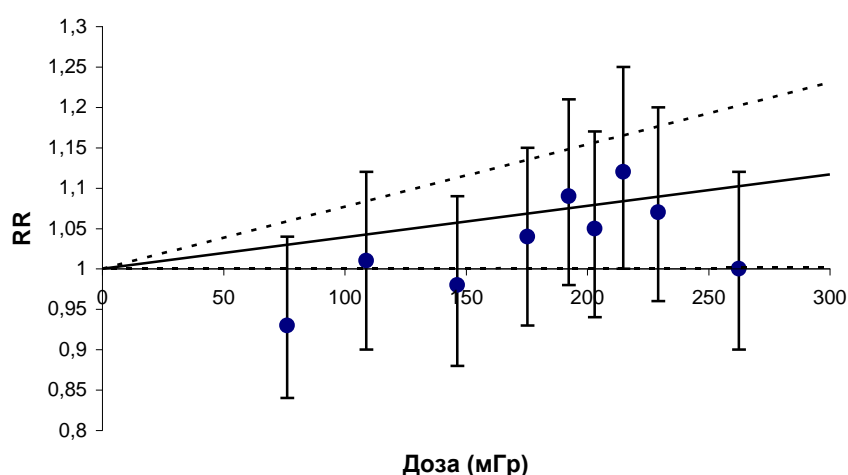


Рис. 15. Зависимость относительного риска (RR) для цереброваскулярных заболеваний от дозы облучения.

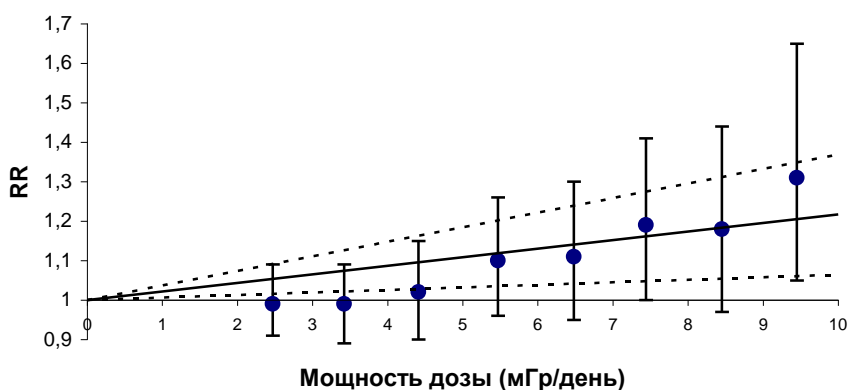


Рис. 16. Зависимость относительного риска (RR) для цереброваскулярных заболеваний от мощности дозы.

Приведенные данные по оценке радиационных рисков неонкологических заболеваний (системы кровообращения) носят в настоящее время предварительный характер и нуждаются в уточнении после проведения в дальнейшем крупномасштабных эпидемиологических исследований.

6. Формирование групп потенциального риска

Одной из основных задач по минимизации медицинских последствий Чернобыля является обеспечение оказания высокотехнологичной адресной клинико-диагностической помощи лицам, отнесенным к группе повышенного потенциального риска. Рассмотрим решение этой важной задачи для когорты ликвидаторов [48]. Ранее было установлено, что величина избыточного относительного риска среди ликвидаторов по солидным ракам равна $ERR=0,7/Гр$.

Наличие в когорте ликвидаторов индивидуальной информации о полученных дозах внешнего облучения позволяет предложить технологию формирования групп потенциального риска. В рамках этой технологии проводится оценка величины атрибутивного риска (AR) по следующей формуле для каждого ликвидатора:

$$AR_{инд} = \frac{ERR \cdot D_{инд}}{1 + ERR \cdot D_{инд}},$$

где $D_{инд}$ – индивидуальная доза внешнего облучения.

Как видно из рис. 17, относительный риск индукции зарегистрированных в работе солидных раков превышает контроль при величине $AR > 10\%$ (в качестве контроля взят относительный риск, равный единице при малой величине атрибутивного риска, $AR < 2\%$).

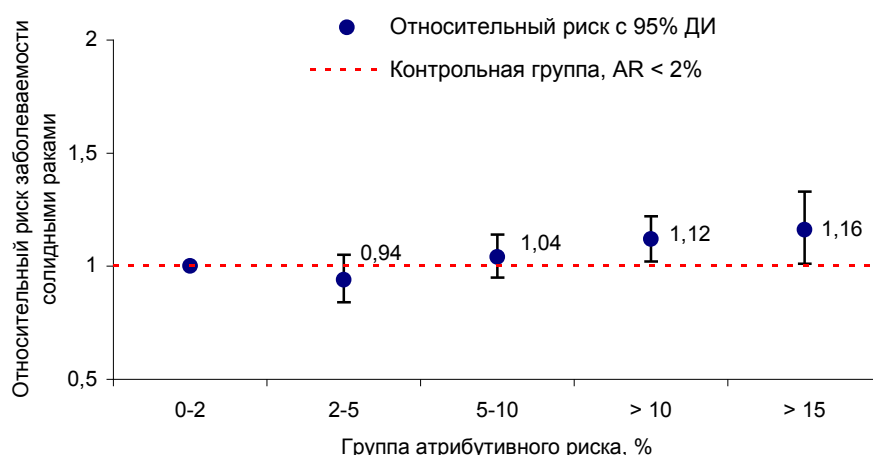


Рис. 17. Относительный риск заболеваемости солидными раками при различных значениях атрибутивного риска.

Таким образом, были сформированы две группы риска: группа потенциального риска – 29545 человек, для которых $AR_{инд} > 10\%$ (доза > 150 мГр), и группа высокого потенциального риска – 5892 человека, для которых $AR_{инд} > 15\%$ (доза > 235 мГр).

Предложенная технология позволяет наиболее эффективно использовать современные дорогостоящие технологии ранней диагностики при минимизации отдаленных радиологических эффектов среди ликвидаторов.

Как известно, 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 (рис. 18). 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 [49-51].

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%

Рис. 18. Онкосмертность в Хиросиме-Нагасаки.

Основные выводы

1. В настоящей работе сделан обзор научной литературы о медицинских радиологических эффектах среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, опубликованной в ведущих отечественных и международных изданиях в области радиационной эпидемиологии.

2. Среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС возможно ожидать увеличение частоты онкологических заболеваний примерно на 3% по отношению к спонтанному уровню (рис. 19).

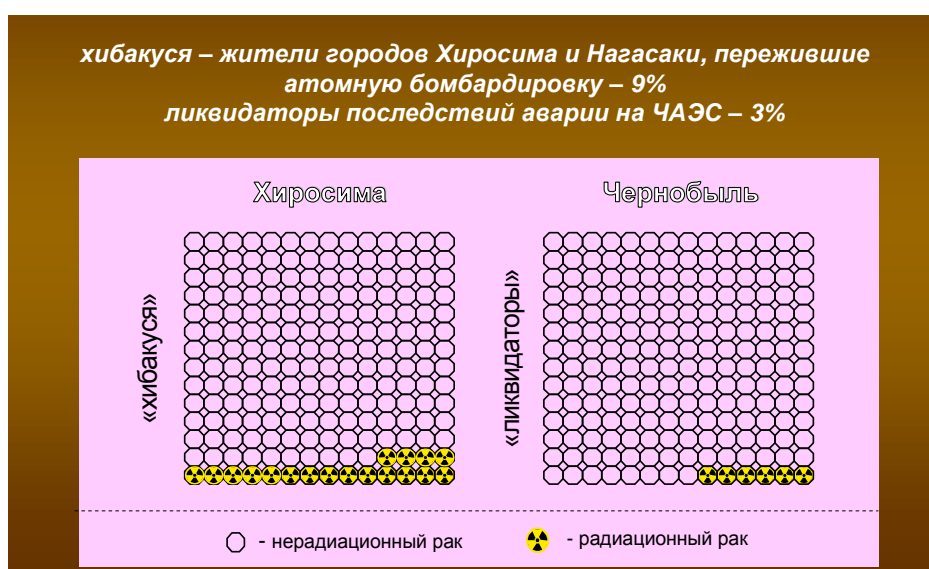


Рис. 19. Доля радиационно-обусловленных среди всех онкологических заболеваний.

3. К группе потенциального радиологического риска следует отнести, прежде всего, участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, получивших дозы внешнего облучения более 150 мГр. По данным РГМДР численность указанной группы составляет 21,5% от численности всех ликвидаторов (190917 человек).

4. Анализ медицинских последствий чернобыльской аварии, их динамика и прогноз свидетельствуют о том, что проблема минимизации этих последствий и повышения эффективности медицинской помощи лицам, подвергшимся радиационному воздействию, сохраняет актуальность не только на ближайшие годы, но и на длительную перспективу.

Литература

1. Источники и эффекты ионизирующего излучения. Отчет Научного комитета ООН по действию атомной радиации 2000 года Генеральной Ассамблее ООН с научными приложениями. Том II: Эффекты (Часть 3) / Пер. с англ., под ред. акад. РАМН Л.А. Ильина и проф. С.П. Ярмоненко. М.: РАДЭКОН, 2002. 352 с.
2. Kenigsberg Ya., Kruk Yu. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
3. Kenigsberg Ya., Kruk Yu. In: 20 Years after the Chernobyl Catastrophe: the Consequences in the Republic of Belarus and their Overcoming (Eds. V.E.Shevchuk and V.L.Gurachevsky). National report. Committee on the Problems of the Consequences of the Catastrophe at the Chernobyl NPP under the Belarusian Council of Ministers, Minsk, 2006.
4. Kesminiene A.Z., Kurtinaitis J., Rimdeika G.J. A study of Chernobyl clean-up workers from Lithuania //Acta Med. Lituanica 1997. V. 2. P. 55-61.
5. Kurtinaitis J. Lithuanian study of clean-up workers (in collaboration with NGO "Chernobyl Movement"). Unpublished data, 1998-2002.
6. National Institute for Health Development, Estonia. Department of Epidemiology and Biostatistics. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers. Unpublished data, 2006.
7. Rahu M., Rahu K., Auvinen A. et al. Cancer risk among Chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998 //Int. J. Cancer. 2006. V. 119, N 1. P. 162-168.
8. Russian National Medical and Dosimetric Registry. http://www.nrer.ru/main_eng.html (2006).
9. Stengrevics A. Communication to the UNSCEAR Secretariat (2006).
10. State Chernobyl Registry of Ukraine (2005).
11. Tekkel M., Rahu M., Veidebaum T. et al. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: I. Design and questionnaire data //Radiat. Res. 1997. V. 147, N 5. P. 641-652.
12. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Иванов С.И. Ликвидаторы чернобыльской катастрофы: радиационно-эпидемиологический анализ медицинских последствий. М.: Галанис, 1999. 312 с.
13. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Ivanov S.I., Souchkevitch G.N. Low doses of ionizing radiation: health effects and assessment of radiation risks for emergency workers of the Chernobyl accident /Editors G.N.Souchkevitch, M.N.Repacholi. Geneva: World Health Organization, 2001.
14. Иванов В.К., Максютов М.А., Бирюков А.П., Горский А.И., Корело А.М. Состояние базы данных РГМДР на 1 декабря 2000 г. //Радиация и риск. 2001. Спецвыпуск. 214 с.
15. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Чечин О.И. Чернобыльский регистр России: оценка и прогноз //Природа. 1998. № 3. С. 3-7.
16. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Ivanov S.I., Pokrovsky V.I. Medical radiological consequences of the Chernobyl catastrophe in Russia: estimation of radiation risks. St. Petersburg: Nauka, 2004. 388 p.
17. Pitkevitch V.A., Ivanov V.K., Tsyb A.F., Maksyoutov M.A., Matiash V.A., Shchukina N.V. Exposure levels for persons involved in recovery operations after the Chernobyl accident. Statistical analysis based on the data of the Russian National Medical and Dosimetric Registry (RNMDR) //Radiat. Environ. Biophys. 1997. V. 36, N 3. P. 149-160.
18. Питкевич В.А., Иванов В.К., Чекин С.Ю., Цыб А.Ф. К вопросу о лучевых нагрузках на участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, занесенных в Российский государственный медико-дозиметрический регистр //Радиационная биология. Радиоэкология. 1996. Т. 36, Вып. 5. С. 747-757.

19. Питкевич В.А., Иванов В.К., Цыб А.Ф., Максютов М.А., Матяш В.А., Щукина Н.В. Дозиметрические данные Российского государственного медико-дозиметрического регистра для ликвидаторов //Радиация и риск. 1995. Спецвыпуск 2. С. 3-44.
20. Cardis E., Anspaugh L., Ivanov V.K., Likthariev I., Mabuchi K., Okeanov A.E., Prisyazhniuk A. Estimated long term health effects of the Chernobyl accident //One decade after Chernobyl: summing up the consequences of the accident: International Conference. Background paper, session 3. Vienna, 1996.
21. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Gorsky A.I., Maksyutov M.A., Rastopchin E.M., Konogorov A.P., Korelo A.M., Biryukov A.P., Matiash V.A. Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995) //Radiat. Environ. Biophys. 1997. V. 36. P. 9-16.
22. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Gorsky A.I., Maksyutov M.A., Khait S.E., Preston D., Shibata Y. Elevated leukemia rates in Chernobyl accident liquidators. Rapid responses //Br. Med. J. 15 April 2003. Available: <http://www.bmj.com/cgi/eletters/319/7203/145/a>.
23. Иванов В., Цыб А. Медицинские радиологические последствия Чернобыля: данные Национального регистра //Врач. 2005. № 6. С. 58-59.
24. Иванов В.К., Кашеев В.В., Чекин С.Ю., Максютов М.А., Туманов К.А. Оценка радиационных рисков заболеваемости лейкозами среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (период наблюдения 1986-2007 годы) //Радиация и риск. 2009. Вып. 18, № 3. С. 23-31.
25. Romanenko A., Bebesko V., Hatch M., Bazyka D., Finch S., Dyagil I., Reiss R., Chumak V., Bouville A., Gudzenko N., Zablotska L., Pilinskaya M., Lyubarets T., Bakhanova E., Babkina N., Trotsiuk N., Ledoschuk B., Belayev Y., Dybsky S., Ron E., Howe G. The Ukrainian-American Study of Leukemia and Related Disorders among Chernobyl Cleanup Workers from Ukraine: I. Study Methods //Radiation Research. 2008. V. 170. P. 691-697.
26. Chumak V.V., Romanenko A.Ye., Voilleque P.G., Bakhanova E.V., Gudzenko N., Hatch M., Zablotska L.B., Golovanov I.A., Luckyanov N.K., Sholom S.V., Kryuchkov V.P., Bouville A. The Ukrainian-American Study of Leukemia and Related Disorders among Chernobyl Cleanup Workers from Ukraine: II. Estimation of Bone Marrow Doses //Radiation Research. 2008. V. 170. P. 698-710.
27. Romanenko A.Ye., Finch S.C., Hatch M., Lubin J.H., Bebesko V.G., Bazyka D.A., Gudzenko N., Dyagil I.S., Reiss R.F., Bouville A., Chumak V.V., Trotsiuk N.K., Babkina N.G., Belyayev Yu., Masnyk I., Ron E., Howe G.R., Zablotska L.B. The Ukrainian-American Study of Leukemia and Related Disorders among Chernobyl Cleanup Workers from Ukraine: III. Radiation Risks //Radiation Research. 2008. V. 170. P. 711-720.
28. Howe G.R. Leukemia Following the Chernobyl Accident //Health Physics. 2007. V. 93, N 5. P. 512-515.
29. Kesminiene A., Evrard A.-S., Ivanov V.K., Malakhova I.V., Kurtinaitis J., Stengrevics A., Tekkel M., Anspaugh L.R., Bouville A., Chekin S., Chumak V.V., Drozdovitch V., Gapanovich V., Golovanov I., Hubert P., Illichev S.V., Khait S.E., Kryuchkov V.P., Maceika E., Maksyutov M., Mirkhaidarov A.K., Polyakov S., Shchukina N., Tenet V., Tserakhovich T.I., Tsykalo A., Turov A.R., Cardis E. Risk of Hematological Malignancies among Chernobyl Liquidators //Radiation Research. 2008. V. 170. P. 721-735.
30. Rahu M., Rahu K., Auvinen A., Tekkel M., Stengrevics A., Hakulinen T., Boice J. D., Inskip P.D. Cancer risk among Chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998 //Int. J. Cancer. 2006. V. 119, N 1. P. 162-168.
31. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Petrov A.V., Maksyutov M.A., Shilyaeva T.P., Kochergina E.V. Thyroid cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: absence of dependence of radiation risks on external radiation dose //Radiat. Environ. Biophys. 2002. V. 41, N 3. P. 195-198.

32. Shalimov S., Prsyazhnyuk A., Gristchenko V. et al. Chernobyl and cancer. Onco-epidemiological aspects of problem //J. Acad. Med. Sci. Ukraine. 2006. V. 12, N 1. P. 98-109.
33. Kesminiene A., Cardis E., Tenet V. et al. Studies of cancer risk among Chernobyl liquidators: materials and methods //J. Radiol. Prot. 2002. V. 22, N 3A. P. A137-A141.
34. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Горский А.И., Максютов М.А., Чекин С.Ю., Петров А.В., Туманов К.А., Кашеев В.В. Онкозаболеваемость и онкосмертность среди участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС: оценка радиационных рисков //Радиационная биология. Радиоэкология. 2006. Т. 46, № 2. С. 159-166.
35. Иванов В.К., Туманов К.А., Кашеев В.В., Цыб А.Ф., Марченко Т.А., Чекин С.Ю., Максютов М.А., Петров А.В., Бирюков А.П. Смертность ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС: анализ дозовой зависимости //Радиация и риск. 2006. Т. 15, № 1-2. С. 11-21.
36. Чекин С.Ю., Кашеев В.В., Туманов К.А. Заболеваемость раком щитовидной железы среди ликвидаторов: оценка радиационных рисков //Радиация и риск. 2006. Т. 15, № 3-4. С. 174-181.
37. Иванов В.К., Чекин С.Ю., Кашеев В.В., Максютов М.А., Цыб А.Ф. Смертность ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС: анализ дозовой зависимости (когортные исследования, 1992-2006) //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 2-4. С. 15-26.
38. Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Kashcheyev V.V., Maksoutov M.A., Tsyb A.F. Mortality of the Chernobyl emergency workers: analysis of dose response by cohort studies covering follow-up period of 1992-2006 //Radiation Health Risk Sciences. Proceedings of the First International Symposium of the Nagasaki University Global COE Program "Global Strategic Center for Radiation Health Risk Control" /Nakashima M., Takamura N., Tsukasaki K., Nagayama Y., Yamashita S. (Eds.). Tokyo: Springer, 2009. P. 95-102.
39. Ivanov V.K. Late cancer and noncancer risks among Chernobyl emergency workers of Russia //Health Physics. 2007. V. 93, N 5. P. 470-479.
40. Ivanov V.K., Gorski A.I., Maksoutov M.A., Tsyb A.F., Souchkevitch G.N. Mortality among the Chernobyl emergency workers: estimation of radiation risks (preliminary analysis) //Health Phys. 2001. V. 85, N 5. P. 514-521.
41. Иванов В.К., Чекин С.Ю., Кашеев В.В., Максютов М.А., Туманов К.А. Заболеваемость раком щитовидной железы среди ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС: период наблюдения 1986-2003 гг. //Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47, № 5. С. 517-522.
42. Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Maksoutov M.A., Tumanov K.A. Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia //Radiat. Environ. Biophys. 2008. V. 47, N 4. P. 463-467.
43. Ivanov V., Ilyin L., Gorski A., Tukov A., Naumenko R. Radiation and epidemiological analysis for solid cancer incidence among nuclear workers who participated in recovery operations following the accident at the Chernobyl NPP //J. Radiat. Res. 2004. V. 45, N 1. P. 41-44.
44. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Rastopchin E.M., Gorsky A.I., Maksoutov M.A., Vayser V.I., Suspitsin Y.V., Fedorov Y.V. Cancer incidence among nuclear workers in Russia based on data from the Institute of Physics and Power Engineering: a preliminary analysis //Radiat. Res. 2001. V. 155. P. 801-808.
45. Ivanov V.K., Gorsky A.I., Kashcheev V.V., Maksoutov M.A., Tumanov K.A. Latent period in induction of radiogenic solid tumors in the cohort of emergency workers //Radiat. Environ. Biophys. 2009. V. 48, N 3. P. 247-252.
46. Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin S.Yu., Kruglova Z.G., Petrov A.V., Tsyb A.F. Radiation-epidemiological analysis of incidence of non-cancer diseases among the Chernobyl liquidators //Health Phys. 2000. V. 78, N 5. P. 495-501.

47. Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin S.Yu., Petrov A.V., Biryukov A.P., Kruglova Z.G., Matyash V.A., Tsyb A.F., Manton K.G., Kravchenko J.S. The risk of radiation-induced cerebrovascular disease in Chernobyl emergency workers //Health Physics. 2006. V. 90, N 3. P. 199-207.
48. Кащеева П.В., Чекин С.Ю., Саенко А.С. Формирование групп потенциального риска среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС //Радиация и риск. 2008. Т. 17, № 4. С. 46-54.
49. Preston D.L., Pierce D.A., Shimizu Y., Callings H.M., Fujita S., Funamoto S., Kodama K. Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimates //Radiat. Res. 2004. V. 162. P. 377-389.
50. Preston D.L., Shimizu Y., Pierce D.A., Suyama A., Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997 //Radiat. Res. 2003. V. 160. P. 381-407.
51. Richardson D.B., Sugiyama H., Nishi N., Sakata R., Shimizu Y., Grant E.J., Soda M., Hsu W., Suyama A., Kodama K., Kasagi F. Ionizing radiation and leukemia mortality among Japanese atomic bomb survivors, 1950-2000 //Radiat. Res. 2009. V. 172. P. 368-382.