

2. Киселёв А.Н., Чечеров К.П. Модель процесса разрушения реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. — 2001. — Т. 91, вып. 6. — С. 425–434.

3. Материалы в/ч 46179 с результатами самолетного определения концентрации радиоактивных веществ в воздухе над 4-ым блоком ЧАЭС и по различным маршрутам, а также с результатами определения среднесуточных выпадений РВ по различным территориям СССР в 1986 г.

4. Абагян А.А., Асмолов В.Г., Гуськова А.Г. и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. — 1986. — Том 61, вып. 5. — С. 301–320.

5. Dobrunin Yn.L., Khramtsov P.B. Data verification methodology and new data of Chernobyl source term // Radiation Protection Dosimetry. — 1993. — Vol. 50, № 2–4. — P. 307–310.

6. Боровой А.А., Гагаринский А.Ю. Курчатовский институт. Выброс радионуклидов из разрушенного блока Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. — 2001. — Т. 90, вып. 2. — С. 137–145.

7. Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А. и др. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных

сред / Под ред. Ю.А. Израэля. — Л.: Гидрометеоздат, 1990. — 296 с.

8. Kownacka L., Jaworwski Z. Rtical distribution of ^{131}I and radiocesium in the atmosphere over poland after Chernobyl accident // Acta Geophysica Polonica. — 1987. — Vol. 35, № 1.

9. Прох Л.З. Словарь ветров. — Л.: Гидрометеоздат, 1983. — 312 с.

10. Махонько К.П., Козлова Е.Г., Волокутин А.А. Динамика накопления радиойода на почве и реконструкция доз от его излучения на территории, загрязненной после аварии на Чернобыльской АЭС. Бюллетень «Радиация и Риск». — М. — Обнинск, 1996. — Вып. 7. — С. 140–191.

11. Yukio Takizawa, Touru A.B.E., And Shun-Ichi Hisamatsu. Effects of the Chernobyl reactor accident in the U.S.S.R. on Akita, Northern Japan // Reprinted from Acta Medica et Biologica. — 1988. — № 3–4.

12. Пазухин Э.М., Богатов С.А. Некоторые ошибки статьи А.Н. Киселёва и К.П. Чечерова «Модель процесса разрушения реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС» // Атомная энергия. — 2001. — Т. 92, вып. 5. — С. 419–420.

Поступила 15.03.2006

УДК 614.876(476)

ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ. РЕАЛЬНЫЕ И ВОЗМОЖНЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Я.Э. Кенигсберг, Ю.Е. Крюк

Национальная комиссия по радиационной защите
при Совете Министров Республики Беларусь
РНИУП «Институт радиологии»

Несмотря на отсутствие сегодня явных свидетельств увеличения радиационно-индуцированных патологий, исключая рак щитовидной железы, для пострадавшего населения вследствие аварии на ЧАЭС в вопросах эпидемиологического анализа еще рано ставить окончательную точку. Основными рекомендованными экспертами ВОЗ направлениями дальнейших исследований для жителей пострадавших территорий являются рак и доброкачественные заболевания щитовидной железы, злокачественные опухоли других локализаций, сердечно-сосудистые и цереброваскулярные заболевания, катаракты, психологический и когнитивный статус у детей, психические расстройства.

Ключевые слова: дозы облучения, ликвидаторы, рак щитовидной железы, стохастические эффекты.

IRRADIATION OF BELARUSSIAN POPULATION IN RESULT OF CHERNOBYL DISASTER. REAL AND POSSIBLE STOCHASTIC EFFECTS.

Ya.E. Kenigsberg, Yu.E. Kryuk

National Commission on Radiation Protection
of Council of Ministers of the Republic of Belarus
Republican Research Unitary Enterprise of Radiology Institute

Despite the absence of the evidence of the increased number of radiation-induced pathologies excluding thyroid cancer due to Chernobyl disaster, the issue of the epidemiological analysis has not been solved yet. The main directions for research recommended by WHO experts are thyroid cancer and benign illnesses of thyroid gland, malignant tumors of other localization, cardio-vascular and cerebrovascular diseases, cataracts, psychological and cognitive status in children, mental disorders.

Key words: irradiation doses, liquidators, thyroid cancer, stochastic effects.

После крупнейшей в истории человечества катастрофы на Чернобыльской АЭС прошло 20 лет. Все эти годы ставились и решались огромной значимости и сложности проблемы по преодолению последствий катастрофы. Продолжающиеся в течение всего послеаварийного периода меры радиационной защиты обеспечили поддержание годовых доз облучения на законодательно установленных уровнях безопасности для подавляющего большинства жителей Беларуси, что гарантирует невозможность развития радиационных эффектов за счет текущих доз облучения. Однако применяемые в настоящее время защитные мероприятия не могут предотвратить вероятность проявления заболеваний, обусловленных облучением в ранний период чернобыльской аварии, прежде всего в так называемый «йодный период», в течение которого практически все население Беларуси подверглось воздействию радионуклидов йода. В результате были сформированы дозы внутреннего облучения щитовидной железы жителей республики, преимущественно за счет поступления в организм ^{131}I .

Проведенная широкомасштабная реконструкция средних доз облучения ЩЖ для более 9,5 млн. человек в 19 возрастных категориях, проживавших в 1986 году в 23 тыс. 325 населенных пунктах Республики Беларусь, показала, что практически все население Беларуси в зависимости от возраста облучения и региона проживания в различной степени подверглось воздействию радионуклидов йода. Усредненные по областям оценки средних доз облучения щитовидной железы от йода-131 в зависимости от года рождения свидетельствуют о том, что к основной облученной возрастной категории относятся дети младшего возраста. Наиболее высокие дозы были получены жителями Гомельской и Могилевской областей (табл. 1).

Распределение коллективных доз облучения от ^{131}I по областям и двум городам — г. Минску и г. Гомелю для двух возрастных групп представлены в таблице 2.

Участники ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ликвидаторы, аварийные рабочие) являются наиболее облученной когортой среди всех жителей Беларуси, подвергшихся аварийному облучению.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Черно-

быльской АЭС» к ликвидаторам относятся граждане, принимавшие участие в работах в 1986–1989 годах в пределах зоны эвакуации (отчуждения), а также работавшие в 1986–1987 годах в зонах первоочередного и последующего отселения (территория с плотностью загрязнения цезием-137 более 555 кБк/кв.м). Последняя категория ликвидаторов имеется только в Республике Беларусь, но отсутствует в законодательстве России и Украины.

Министерством здравоохранения СССР были установлены следующие предельно-допустимые дозы аварийного облучения для ликвидаторов: 1986 г. — 250 мЗв (до 21 мая для военнослужащих — 500 мЗв), 1987 г. — 100 мЗв, 1988 и 1989 гг. — по 50 мЗв.

К сожалению, индивидуальный дозиметрический контроль был налажен неудовлетворительно. Вплоть до середины июня попытки создать службу дозиметрического контроля были безуспешными. Только начиная с июля 1986 года индивидуальный дозиметрический контроль с использованием термомлюминесцентных либо пленочных дозиметров стали проводить для всех гражданских работников. В этой связи очень ограниченная часть ликвидаторов имеет надежные результаты измерения доз внешнего облучения.

Всего к ликвидации последствий аварии было привлечено около 600000 человек, из них в национальные чернобыльские регистры были первоначально включены 63000 человек в Беларуси, 148000 — в России, 170000 — в Украине, 17705 — в Латвии, Литве и Эстонии. Средняя эффективная доза ликвидаторов 1986–1989 гг. составила 43 мЗв (Беларусь) при доле лиц, для которых дозы известны, равной 14%, 107 мЗв и 63% (Россия), 126 мЗв и 56% (Украина). С годами общая численность ликвидаторов, имеющих официальные документы, увеличивалась, росло и их количество, внесенное в регистры. По состоянию на 01.01.1996 г. в Беларуси статус ликвидаторов имели 113000 человек, из них 91000 человек были внесены в чернобыльский регистр. Анализ данных регистра показал, что около 9% ликвидаторов имеют официальные записи о дозах облучения, которые колеблются в широком диапазоне. Максимальные дозы внешнего облучения получили ликвидаторы 1986 г. — средняя доза составила 60 мГр при 95% перцентиле, равном 138 мГр (табл. 3).

Таблица 1

**Средние дозы облучения щитовидной железы от ^{131}I у жителей Беларуси
в зависимости от года рождения и региона проживания на момент аварии, Гр**

	Год рождения																	
	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Область/столица	0,025	0,102	0,120	0,136	0,152	0,167	0,185	0,195	0,212	0,251	0,291	0,330	0,293	0,324	0,386	0,449	0,499	0,556
Брестская	0,025	0,021	0,025	0,024	0,031	0,035	0,038	0,041	0,044	0,052	0,061	0,069	0,061	0,067	0,080	0,093	0,104	0,116
Гомель	0,118	0,102	0,120	0,136	0,152	0,167	0,185	0,195	0,212	0,251	0,291	0,330	0,293	0,324	0,386	0,449	0,499	0,556
Гомельская*	0,134	0,115	0,135	0,129	0,169	0,188	0,207	0,218	0,237	0,281	0,325	0,368	0,326	0,361	0,431	0,499	0,561	0,624
Гродненская	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,007	0,008	0,010	0,011	0,013	0,014
Минск	0,024	0,020	0,024	0,027	0,030	0,033	0,036	0,038	0,042	0,049	0,058	0,065	0,058	0,064	0,077	0,089	0,099	0,110
Минская*	0,005	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009	0,010	0,012	0,013	0,012	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023
Могилевская	0,027	0,023	0,027	0,028	0,035	0,038	0,042	0,045	0,049	0,057	0,067	0,076	0,067	0,074	0,088	0,103	0,114	0,127
Витебская	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,008	0,009	0,008	0,009	0,011	0,013	0,014	0,016

Примечание: * — область, не включая столицу

Таблица 2

Коллективные дозы облучения от ^{131}I для двух возрастных групп

Регион	Коллективные дозы для детей и подростков (0–18 на момент аварии), чел·Гр	Коллективные дозы для взрослых (19 лет и старше на момент аварии), чел·Гр
Брестская	21129	24042
Витебская	1164	1560
г. Гомель	36998	38236
Гомельская	112812	171939
Гродненская	3329	4453
г. Минск	15063	19244
Минская	6404	8121
Могилевская	22328	27694

Таблица 3

Распределение доз, полученных белорусскими ликвидаторами

Период работ	Количество ликвидаторов	Процент лиц с известной дозой	Внешняя доза ^a , мГр			
			Среднее значение	Медиана	75-й перцентиль	95-й перцентиль
1986	68 000	8	60	53	93	138
1987	17 000	12	28	19	29	54
1988	4 000	20	20	11	31	93
1989	2 000	16	20	15	30	42
1986–1989	91 000	9	46	25	70	125

Примечание: ^a — для удобства внешняя доза выражается в мГр.

Разрешение на эвакуацию населения Беларуси из зоны, прилегающей к ЧАЭС, было получено от 3 Управлений Министерства здравоохранения СССР вечером 2 мая 1986 г. Основным критерием принятия решения об эвакуации была мощность дозы гамма-излучения, превышающая 0,2 мГр/час (20 мР/час). Кроме того, проводившаяся эвакуация определялась также возможностью мощного парового взрыва вследствие интенсивного разогрева активной зоны реактора, начавшегося после 29 апреля 1986 г. Предполагаемый разогрев мог привести к разрушению железобетонного основания реактора и попаданию расплавленной массы в воду подреакторных помещений. Выброс радиоактивных материалов в

случае такого парового взрыва мог привести, по мнению ряда специалистов, к развитию детерминированных эффектов облучения у населения в радиусе 30 км от реактора. Относительная симметричность розы ветров в районе ЧАЭС также являлась обоснованием необходимости эвакуации из радиально очерченной 30-км зоны.

Таким образом, в 1986 г. отселено (эвакуировано) 108 населенных пунктов с числом жителей 24600.

Оценки доз облучения щитовидной железы с использованием радиоэкологической модели для 23892 человек из когорты эвакуированного населения Беларуси представлены в таблице 4.

Таблица 4

Дозы облучения щитовидной железы от поступившего ^{131}I , полученные эвакуированными жителями белорусских деревень

Возраст на момент аварии	Средняя доза, Гр	Число лиц, проживавших на момент аварии	Коллективная доза облучения, чел·Гр
до 1 года	2,03	422	858
1–2	1,91	869	1658
3–7	1,39	1871	2605
8–12	0,95	1848	1749
13–17	0,55	1699	932
Взрослые	0,46	17183	7884
Все	0,65	23892	15686

Распределение индивидуальных доз внешнего облучения, полученных эвакуи-

рованными жителями Беларуси, представлено в таблице 5.

Таблица 5

Распределение эвакуированных по дозовым интервалам

Доза, мЗв	0–50	50–100	100–200	200–400	>400
Количество людей	21347	2286	800	244	28

Основные величины облучения населения Беларуси были накоплены в течение первых

10 лет после аварии. С течением времени ежегодный прирост постоянно сокращается (табл. 6).

Таблица 6

Коллективные накопленные эффективные дозы облучения за два временных этапа: 1986–1995 гг. и 1986–2005 гг. (для территорий с плотностью выпадения цезия-137 в 1986 году свыше 37 кБк/м²; за исключением доз облучения щитовидной железы)

Период	Коллективная эффективная доза, чел-Зв		
	внешняя	внутренняя	суммарная
1986–1995	9636	5504	15140
1986–2005	11900	6800	18700

Ликвидаторы аварии представляют уникальную когорту, длительное наблюдение за которой позволяет изучать проблему воздействия небольших доз облучения на здоровье.

Данные по увеличению заболеваемости ликвидаторов лейкозами, раком щитовидной железы, другими солидными раками имеют противоречивый характер. Не зафиксировано увеличения заболеваемости лейкозами и раком щитовидной железы у эстонских ликвидаторов. В когорте российских ликвидаторов отмечено увеличение заболеваемости лейкозами с достоверным коэффициентом избыточного относительного риска (ERR/Gy 4,3 с 95% доверительным интервалом 0,83; 7,75). В другом исследовании российских ликвидаторов величина ERR/Gy для лейкозов, исключая хронический лимфолейкоз, составила 6,7 с 95% доверительным интервалом 0,8; 23,5. Достоверный риск заболевания лейкозами отмечен только для ликвидаторов, получивших дозы облучения более 150 мГр. При исследовании украинских ликвидаторов было выявлено увеличение заболеваемости лейкозами среди работавших в 1986 г. по сравнению с ликвидаторами 1987 г.

Пока не имеется достоверных данных об увеличении заболеваемости раком щитовидной железы у ликвидаторов, которые

были бы получены в аналитических радиационно-эпидемиологических исследованиях. Неоднократно сообщалось об увеличении заболеваемости раком щитовидной железы среди ликвидаторов, однако при этом не приводились величины доз облучения щитовидной железы, что не дает возможности определить зависимость доза-эффект и рассчитать коэффициенты радиационного риска. Можно предполагать, что ликвидаторы в течение «йодного периода» могли получить значимые дозы облучения щитовидной железы за счет ингаляции радионуклидов йода. Ожидается, что проводимые в настоящее время международные проекты позволят внести ясность в эту проблему.

Касательно индивидуальных рисков других видов заболеваний раком существует слишком мало информации по ликвидаторам. По некоторым отчетам, однако, есть свидетельства суммарного увеличения всех видов солидных раков среди российских ликвидаторов. Высказано предположение, что это может быть ассоциировано с полученной дозой облучения, что, в свою очередь, пока не имеет четких доказательств.

Таким образом, ликвидаторы, несомненно, являются наиболее облученной категорией среди всего пострадавшего населения и исследования в этой когорте потенциально

имеют наивысшую статистическую мощность для определяемых эффектов.

Для жителей пострадавших территорий, подвергшихся воздействию радионуклидов йода в раннем аварийном периоде, основным

эффектом радиационного воздействия явился рак щитовидной железы. Избыточный риск в когорте облученных йодом-131 в различном возрасте на момент аварии в зависимости от пола представлен в таблице 7.

Таблица 7

**Избыточный риск рака щитовидной железы
в зависимости от возраста на момент аварии и пола**

EAR ($10^4 \cdot \text{Чел} \cdot \text{Годы} \cdot \text{Гр}^{-1}$) (95% ДИ)			ERR (Гр) $^{-1}$ (95% ДИ)		
Мужчины	Женщины	Все	Мужчины	Женщины	Все
0–18 лет					
2,7 (2,2; 3,2)	3,4 (2,8; 4,1)	3,0 (2,6; 3,4)	8,2 (5,0; 11,4)	78 (–55; 210)	14 (9; 19)
19 лет и старше					
0,4 (–0,6; 1,5)	2,5 (1,9; 4,7)	1,7 (0,3; 3,2)	3,9 (–0,9; 5,9)	2,4 (0,8; 5,6)	3,8 (0,1; 9,8)

В целом, по результатам работ для белорусской популяции атрибутивный риск рака щитовидной железы среди детской когорты — 76,5 % и для взрослых — 15,6%.

Хотя исследования рака щитовидной железы имели первостепенное значение, внимание также уделялось возможности потенциального роста заболеваемости лейкемией среди облученного населения. Для Беларуси отмечена наивысшая годовая заболеваемость среди облученных внутриутробно в 1987 году для жителей двух наиболее пострадавших областей — Гомельской и Могилевской, однако при этом количество выявленных заболеваний было мало и результаты не имели статистической значимости.

Избыточная заболеваемость лейкемией не отмечалась ни разу среди облученных детей и подростков на протяжении различных периодов после аварии как для жителей всей Беларуси, так и для наиболее облученной категории. На сегодняшний день результаты только одного аналитического исследования отмечали достоверный рост заболеваемости лейкемией в детской когорте. Достоверные результаты были получены среди мальчиков и юношей с дозой облучения свыше 10 мГр в двух временных периодах между 1993 и 1997 гг. и 1987–1992 гг. Однако исследователи ограничились очень малой выборкой случаев без объяснений принципа использованного отбора.

Проведенное международное исследование, объединившее данные по детской заболеваемости лейкемией в Беларуси, России и 33 других регионах Европы по поиску зависимости с облучением в результате Чернобыльской катастрофы, показало, что в целом в послеаварийный период общая заболеваемость лейкозами увеличилась, но выявить зависимость этого увеличения от полученной дозы не удалось. Однако следует заметить, что итогом этого исследования стало также и то, что была показана бесперспективность проведения такого изучения в отдельно взятом регионе ввиду малой статистической мощности результатов.

Избыточная заболеваемость лейкемией среди взрослой когорты облученных не была зафиксирована ни разу. Некоторое увеличение заболеваемости с 1990 года было отмечено для жителей трех наиболее загрязненных регионов Украины. Однако это увеличение наблюдалось только для лиц 65 лет и старше, что скорее связано с возрастными показателями, чем с эффектом облучения. В целом по территории Украины за послеаварийный период заболеваемость лейкозами выросла с 5,1 на 100000 до 11,0 на 100000, но для жителей пострадавших регионов уровень роста заболеваемости не имел существенных отличий.

Таким образом, существенных доказательств наличия достоверного роста заболеваемости лейкемией у пострадавшего населения вследствие Чернобыльской катастрофы как в детской группе, так и для взрослых на сегодняшний день нет. Существует только предположение возможного риска роста заболеваемости данной патологией у облученных внутриутробно.

Достаточно сложно обсуждать сегодня радиационный риск остальных видов солидных раков, исключая рак щитовидной железы, для пострадавшего населения, ввиду недостаточно длинного еще латентного периода, прошедшего с момента аварии для развития данных патологий. Свидетельства исследований роста всех солидных раков на территории пострадавших регионов России показали, что существует увеличение числа раковых заболеваний органов дыхания, однако достоверность данного увеличения не зафиксирована.

Рак молочной железы наиболее показателен в том смысле, что является достаточно чувствительным к дозам внешнего облучения, при этом можно предполагать высокие дозы облучения у кормящих в тот период женщин. Однако не существует однозначно достоверных доказательств роста данной патологии у лиц, проживавших на пострадавших территориях. Единственное свидетельство отмеченного увеличения рака молочной железы у женщин в возрасте пред менопаузой, проживавших на территории с высокой плотностью выпадения радионуклидов одного из загрязненных районов Украины.

Таким образом, несмотря на отсутствие сегодня явных свидетельств увеличения радиационно-индуцированных патологий, исключая рак щитовидной железы, для пострадавшего населения вследствие аварии на ЧАЭС в вопросах эпидемиологического анализа еще рано ставить окончательную точку. Основными рекомендованными экспертами ВОЗ направлениями дальнейших исследований для жителей пострадавших территорий являются рак и доброкачественные заболевания щитовидной железы, злокачественные опухоли других локализаций, сердечно-сосудистые и цереброваскулярные заболевания, катарак-

ты, психологический и когнитивный статус у детей, психические расстройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation: In. 2v. / Unsear 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. — New York, United Nations, 2000. — Vol. 1–2.
2. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment» (EGE). — Vienna, 2005.
3. *Ivanov V. et al.* Medical Radiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Russia. Estimation of Radiation Risks. St. Petersburg, Nauka, 2004.
4. *Smith J., Beresford N.* Chernobyl Catastrophe and Consequences. — Springer, 2005.
5. Chernobyl's Legacy: Health Environmental and Socio-economical Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. Chernobyl Forum. — Vienna, 2005.
6. *Hatch M. et al.* The Chernobyl Disaster: Cancer following the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant // *Epidemiological Reviews*. — 2005. — Vol. 27. — P. 56–66.
7. Chernobyl: Message for the 21st Century. Eds. Yamashita S. et al. International Congress Series 1234 // Elsevier Press, 2002.
8. *Буглова Е.Е.* Риск радиационно-индуцированных злокачественных новообразований у населения Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС. — Мн., 2002.
9. Я.Э. Кенигсберг, Ю.Е. Крюк. Облучение щитовидной железы жителей Беларуси вследствие чернобыльской аварии: дозы и эффекты / Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2004. — 121 с.
10. *Кенигсберг Я.Э., Крюк Ю.Е.* Облучение Белорусских участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии и возможности выявления стохастических эффектов / II Международная научно-практическая конференция «Преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: состояние и перспективы» Сборник научных трудов / Под ред. Шевчука В.Е., Гурачевского В.Л., Капитоновой Э.К. — Мн.: Комчernoбыль, Миздрав, НАНБ, 2004. — С. 62–66.
11. *Кенигсберг Я.Э., Крюк Ю.Е.* Ионизирующая радиация и риски для здоровья. — Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2005. — 70 с.
12. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Health» (EGH). WHO. — Geneva, 2005.
13. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общ. ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова — М., 2001. — 752 с.