

А.Р. Туков, И.Л. Шафранский, А.Н. Котеров,
М.Н. Зиятдинов, О.Н. Прохорова, А.М. Михайленко

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА СМЕРТИ ОТ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС – РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ДАННЫМ О ДОЗАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБЛУЧЕНИЯ

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Александр Романович Туков, email: atukov40@mail.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Оценка риска смерти от болезней системы кровообращения (БСК) у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (далее ликвидаторы) при использовании данных о дозах различных видов радиационного облучения.

Материал и методы: В работе использована информационная база Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ОРЧ), из числа работников предприятий и организаций атомной промышленности. В исследование оценки радиационного риска включены лица, имеющие данные о дозах внешнего аварийного облучения при работе в 30-км зоне Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), 1327 из них имеют данные о дозе профессионального облучения. В качестве статистической модели была выбрана Пуассоновская регрессия. При расчёте избыточного относительного риска на 1 Зв был использован пакет прикладных статистических программ EPICURE (модуль AMFIT).

Исследование охватывает период с 1987 по 2021 гг. В регистре за период наблюдения накоплено 304 023 человеко-лет. Большую часть регистра в 1986 г. составляют ликвидаторы-мужчины – 84,7 %, ликвидаторы-женщины составляют 15,3 %.

Результаты: Для расчёта радиационного риска по данным о дозах разных видов облучения, получены различные результаты избыточного относительного риска.

Только суммарная доза облучения (профессиональная, аварийная, медицинская, природная) может обеспечить корректные результаты расчёта радиационного риска смерти от радиационно-индуцированных заболеваний.

Перспективой исследования необходимо считать наполнение информационной базы ОРЧ данными о дозах всех видов облучения.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, ликвидаторы, болезни системы кровообращения, смертность, радиационный риск, атомная промышленность

Для цитирования: Туков А.Р., Шафранский И.Л., Котеров А.Н., Зиятдинов М.Н., Прохорова О.Н., Михайленко А.М. Оценка радиационного риска смерти от сердечно-сосудистых заболеваний ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС – работников предприятий атомной промышленности по данным о дозах различных видов облучения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2024. Т. 69. № 3. С. 53–56. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-3-53-56

A.R. Tukov, I.L. Shafranskii, A.N. Koterov,
M.N. Ziyatdinov, O.N. Prokhorova, A.M. Mikhaylenko

Evaluation of the Radiation Risk of Death from Cardiovascular Diseases among the Liquidators Involved in the Cleaning up of the Consequences of the Chernobyl Accident – Workers in the Nuclear Industry Sector

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Alexander Romanovich Tuko, email atukov40@mail.ru

ABSTRACT

Background: Assessment of the risk of death from circulatory system diseases due to radiation exposure in liquidators of the Chernobyl accident consequences (hereinafter referred to as liquidators) using data on doses of various types of exposure.

Material and methods: The work used the information base of the Industry Register of persons exposed to radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant (hereinafter referred to as the register), nuclear industry workers. The radiation risk assessment study included men - 12,706 liquidators who had data on external emergency radiation doses when working in the 30 km Chernobyl NPP zone, 1,327 of them had data on occupational radiation doses. Poisson regression was chosen as the statistical model of risk.

The study covers the period from 1987 to 2021. During the observation period, the register accumulated 304,023 person/years. The majority of the register in 1986 was made up of men – 84.7 %, women – 15.3 %.

Results: When data on doses of different types of radiation are used to calculate doses, different results of excess relative risk are obtained. Only the total radiation dose (occupational, emergency, medical, natural) can provide correct results for calculating the radiation risk of death from radiation-induced diseases.

Conclusion: The prospect of research should be considered to be filling the information base of the Industry Register with data on doses of all types of radiation.

Keywords: Chernobyl accident, liquidators, circulatory diseases, mortality, radiation risk, nuclear industry,

For citation: Tukov AR, Shafransky IL, Koterov AN, Ziyatdinov MN, Prokhorova ON, Mikhaylenko AM. Evaluation of the Radiation Risk of Death from Cardiovascular Diseases among the Liquidators Involved in the Cleaning up of the Consequences of the Chernobyl Accident – Workers in the Nuclear Industry Sector. Medical Radiology and Radiation Safety. 2024;69(3):53–56. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-3-53-56

Введение

Болезни системы кровообращения (БСК) являются главной причиной смертности во многих развитых странах, а их фоновый уровень очень высок [1, 2]. Согласно данным Росстата [3], в 2020 г. вклад указанных патологий в структуру общей смертности в России составлял порядка трети.

В США суммарный вклад этих болезней (Diseases of heart + Cerebrovascular diseases) в общую смертность в 2014 г. составил 29 % [3–5].

Актуальность изучения радиационных рисков БСК определяется для патологий со столь высоким фоновым уровнем смертности тем, что даже слабые и малые относительные риски для масс населения могут реализовываться в очень значительные абсолютные риски. Согласно данным Росстата, смертность в России от указанных патологий составляет порядка 1284 смертей на 100 тыс. населения обоего пола в 2020 г. Доказанный (статистически значимый) относительный риск величиной даже в 1,2 даст прибавку смертей для 1 млн. населения, равную 2568 чел в год.

Поэтому вопрос о влиянии радиационного облучения на частоту БСК даже при очень малых и малых рисках, как для населения, так и для различных профессиональных контингентов, приобретает особую актуальность, поскольку даже малое увеличение риска будет способно привести к значительным абсолютным рискам. Это отмечается в тематических документах НКДАР ООН [1].

Несмотря на более чем полувековое изучение влияния облучения на БСК (в эксперименте, после лучевой терапии, у лиц, пострадавших от атомных бомбардировок и др. [1, 2]), к нынешнему моменту отсутствует однозначное понимание зависимости «доза – эффект» применительно к названным патологиям, как для острого, так и для хронического радиационного воздействия [1, 2, 6, 7]. Ранее полагали, что основой в данном случае служат тканевые эффекты облучения, характеризующиеся порогом [2, 6], но в последние годы в отношении этого момента допускаются сомнения [1].

Доказаны эффекты воздействия радиации на органы системы кровообращения только при дозах порядка десятков грей [1, 2, 6, 7–9]. Для японской когорты кривая доза – эффект ниже 0,5 Гр характеризуется значительной неопределенностью [1, 2], причем для сердечной патологии порог составил 2,6 Гр, а для цереброваскулярных – 0,75 Гр [1]. В результате в сообщениях НКДАР-2006 [10] и в НКДАР-2010 [11], сказано, что «имеющихся научных данных недостаточно, чтобы установить причинно-следственную связь между ионизирующим излучением и сердечно-сосудистыми заболеваниями при дозах менее 1–2 Гр».

Для малых доз облучения (до 0,1 Гр радиации с низкой ЛПЭ) до настоящего времени никто не смог представить достоверный радиобиологический механизм эффекта, который мог бы обусловить смерть от БСК [12].

В публикации МКРЗ-118 [6] декларируется порог эффекта для сердечно-сосудистых заболеваний при дозе в 0,5 Гр, приводящей «к индукции БСК у 1 % облученной популяции спустя более десяти лет после экспозиции» [6], хотя подобные уровни риска вряд ли достоверны.

Сходной позиции относительно пороговой дозы в 0,5 Гр придерживается и National Council on Radiation Protection and Measurements, США (NCRP-171 [13]).

Все зарубежные исследования радиационного риска при БСК (обзоры и мета-анализы 2008–2023 гг., ведущий автор преимущественно M.P. Little), представленные в документе ICRP-118 [6], основываются на механическом объединении показателей для несопоставимых данных. В этих обзорах видны весьма малые величины реальных рисков.

Значения аналогичных рисков для работников ПО «Маяк» получаются преимущественно ниже, чем по результатам мета-анализов зарубежных исследований, за исключением цереброваскулярных патологий [14].

Невозможно отрицать, что БСК имеют весьма отчетливую лучевую атрибутивность, весь вопрос в том, с какими уровнями доз связана их индукция и каков порог [6]. Действительно существуют ли данные о том, что смертность от указанных патологий может возрастать при внешнем воздействии излучения с низкой ЛПЭ в дозах до 0,1 Гр, или же это просто декларации?

Материал и методы

База данных ОРЧ содержит сведения о заболеваемости и структуре болезней системы кровообращения (МКБ 10: I00–I99.9), причины смерти и другие медицинские сведения о ликвидаторах последствий аварии на Чернобыльской АЭС (табл. 1).

Таблица 1

Число смертей ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на 01.01.2022 г. от болезней системы кровообращения и их структура (по МКБ-10: I00–I99.9)
Number of deaths from circulatory system diseases and their structure (according to ICD-10: I00–I99.9) of liquidators of Chernobyl NPP accident consequences as of 01.01.2022

Причина смерти	МКБ-10	Число диагнозов	Удельный вес %
Хроническая ишемическая болезнь сердца неуточнённая	I25,9	945	43,99
Цереброваскулярная болезнь неуточнённая	I67,9	217	10,10
Кардиомиопатия неуточнённая	I42,9	111	5,17
Гипертензивная [гипертоническая] болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности	I11,9	101	4,70
Острый инфаркт миокарда неуточнённый	I21,9	100	4,66
Инфаркт мозга неуточнённый	I63,9	84	3,91
Сердечная недостаточность неуточнённая	I50,9	82	3,82
Стенокардия неуточнённая	I20,9	79	3,68
Острая ишемическая болезнь сердца неуточнённая	I24,9	73	3,40
Генерализованный и неуточнённый атеросклероз	I70,9	46	2,14
Внутричерепное кровоизлияние неуточнённое	I61,9	43	2,00
Прочие болезни системы кровообращения		267	12,43
Всего		2148	100,00

Данные, представленные в табл. 1, указывают на то, что в структуре ведущих причин смерти от БСК (I00–I99.9) доминирующее положение – 43,99 % занимает хроническая ишемическая болезнь сердца неуточнённая

ная (125,9). Второе ранговое место занимает цереброваскулярная болезнь неуточнённая (167,9) – 10,1 %, кардиомиопатия неуточнённая (142,9) являлась причиной 5,17 % летальных исходов. Другие болезни системы кровообращения являлись причиной смерти менее чем в 5,0 % случаев.

В базе данных (БД) ОРЧ находится информация о 21356 ликвидаторах последствий аварии на ЧАЭС, собранная из 64 учреждений здравоохранения ФМБА России за более чем 35-летний период наблюдения. В структуре этого контингента основную часть составляют ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС 1986–1987 гг. – 84,7 % (табл. 2).

Более половины – 66,7 % составляют ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС в возрасте до 39 лет на момент посещения 30-км зоны ЧАЭС (табл. 3).

В структуре ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по возрастным группам на момент смерти или выбытия из регистра 70,9 % составляют лица старше 50 лет.

Данные о дозах внешнего облучения ликвидаторов различных годов пребывания в 30-км зоне ЧАЭС представлены в табл. 2. В Регистре имеются данные о полученных дозах в отношении 69,4 % ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС. Наибольшая обеспеченность данными отмечена в отношении ликвидаторов, работающих в 30-км зоне в 1988 г. – 74,3 %, наименьшая – 37,0 % у ликвидаторов, работающих в 30-км зоне в 1990 г.

Таблица 2

Обеспеченность ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС данными о дозах внешнего облучения (мужчины)
Availability of data on external radiation doses for liquidators of Chernobyl accident consequences (men)

Годы въезда	Всего ликвидаторов	Из них есть доза		Среднее значение, мЗв
		число ликвидаторов	удельный вес %	
1986–1990	18308	12706	69,4	55,3
1986	10692	7276	68,1	75,1
1987	4717	3372	71,5	33,7
1988	1852	1376	74,3	25,9
1989	793	564	71,1	17,0
1990	254	96	37,0	12,6

В табл. 3 представлены некоторые характеристики обобщённой базы данных Регистра по пяти дозовым группам – как доз ЧАЭС, так и суммарным (доза ЧАЭС+профдоза). Группы формировались из расчёта примерно равного количества лиц и с учётом полученных доз облучения.

Таблица 3

Обеспеченность ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС данными о дозах внешнего облучения (ЧАЭС; ЧАЭС+ профессиональные дозы) (мужчины)
Availability of data on external exposure doses for liquidators of Chernobyl accident consequences (Chernobyl NPP; Chernobyl NPP+ occupational doses) (men)

Дозовая группа (ЧАЭС)	Число ликвидаторов	Средняя доза	Дозовая группа (ЧАЭС+проф-облучение)	Число ликвидаторов	Средняя доза
0,1–4,9	2867	2,23	0,1–5,9	2925	2,6
5,0–12,9	2237	7,95	6,0–16,7	2224	10,3
13,0–35,1	2492	21,70	17,0–48,8	2468	30,4
36,0–98,8	2516	62,30	49,0–120,5	2482	80,3
99,0–1478,5	2554	181,80	121–1985,6	2567	228,4

В структуре суммарных доз, полученных ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км

зоне и в процессе профессиональной деятельности, 48% составляют дозы до 100 мЗв; 6 % ликвидаторов имеют дозы, превышающие 500 мЗв.

В табл. 4 представлена информация о средних, минимальных и максимальных дозах внешнего облучения, полученных в ходе ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и на рабочих местах предприятий и организаций атомной промышленности.

Таблица 4

Сравнительное распределение внешних доз в зависимости от места облучения
Comparative distribution of external doses depending on the place of exposure

Место получения дозы	Средняя доза (мЗв)	Минимальная доза (мЗв)	Максимальная доза (мЗв)
ЧАЭС	55,3	0,1	1478,50
Предприятия и организации атомной промышленности	180,8	0,1	1832,40
Взвешенная сумма доз	70,5	0,2	1847,72

Для оценок риска смерти от наиболее частых болезней системы кровообращения по данным, объединённым в возрастные, дозовые и другие группы, был использован пакет прикладных статистических программ EPICURE (модуль AMFIT), широко применяемый в современной радиационно-эпидемиологической практике [15]. Программа AMFIT является признанным стандартом для проведения радиационно-эпидемиологических исследований. Оценки избыточного относительного риска (ИОР) на 1 Зв среди персонала предприятий и организаций атомной промышленности были выполнены с использованием этой программы. Модель избыточного относительного риска в общем виде представлена как:

$$\lambda_d = \lambda_0 \times (1 + \beta \times d), \quad (1)$$

где λ_d – показатель наблюдаемой смертности,
 λ_0 – показатель спонтанной смертности,
 β – избыточный относительный риск,
 d – доза облучения

Функция правдоподобия строится, исходя из предположения, что число случаев заболевания являются независимыми пуассоновскими случайными величинами с математическим ожиданием, определяемым как произведение функционала заболеваемости на число человеко-лет.

Результаты

Результаты оценки радиационных рисков с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок приведены в табл. 5. Как следует из таблицы, избыточный относительный риск имеет место только для смертности от всех причин БСК и смертности от ишемической болезни сердца (I20–I25,9) как при дозе, полученной при ликвидации аварии на ЧАЭС, так и для суммарных доз.

Следует отметить достоверность ИОР/13Зв для случая дозовых нагрузок, полученных в результате работ по ликвидации аварии на ЧАЭС (смертность от некоторых БСК). Имеет место расхождение в значениях избыточного относительного риска на единицу дозы при использовании только данных по дозам, полученным в результате ликвидации аварии на ЧАЭС и при суммарных дозах (все БСК нозологии).

Ещё раз подчеркнём, использование суммарных доз внешнего облучения, как профессиональных, так и по-

Таблица 5

Оценки радиационных рисков смерти от всех болезней органов системы кровообращения и отдельных нозологий

Estimates of radiation risks of death from all circulatory system diseases and individual nosologies

Причина смерти	ИОР/1 Зв	Доверительный интервал (95 %)
Все нозологии (МКБ 10: I00-I99.9)		
ЧАЭС доза	0,64	0,19–1,17
ЧАЭС+профдоза	0,09	–0,26–0,45
Ишемическая болезнь сердца (МКБ 10: I20-I25.9)		
ЧАЭС доза	0,7	0,05–1,6
ЧАЭС+профдоза	0,46	–0,007–1,04
Гипертоническая болезнь (МКБ 10: I10-I15.9)		
ЧАЭС доза	–1,25	–4,8–1,8
ЧАЭС+профдоза	–0,93	–3,14–1,26
Цереброваскулярные болезни (МКБ 10: I60-I69.9)		
ЧАЭС доза	–1,28	–3,3–1,0
ЧАЭС+профдоза	–1,31	–2,37–0,52

лученных в результате работ по ликвидации аварии на ЧАЭС, даёт несколько завышенные оценки значения риска на 1 Зв, поскольку исследуемые дозовые нагрузки значительно ниже 1 Зв, что приводит к искажению значения коэффициента риска.

Заключение

В настоящее время актуальность в анализе радиационного риска приобретает использование суммарных доз облучения. Исследование показало, что использо-

вание данных о различных видах облучения (внешняя доза облучения, полученная участниками ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и их профессиональная доза) для расчёта избыточного относительного риска на 1 Зв дали различные результаты, поэтому для получения корректных результатов оценки радиационного риска смерти необходима суммарная доза облучения (профессиональная, аварийная, медицинская, природная), как этого требуют директивные документы: «Для оценки состояния радиационной безопасности используется показатель радиационного риска. В наибольшей степени этот риск характеризует суммарная накопленная эффективная доза от всех видов облучения» – Федеральный закон «Ядерная и радиационная безопасность» от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ Статья 7. Оценка состояния радиационной безопасности и радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий.

Ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС в отдалённые сроки после проведенных работ нуждаются в общепринятых подходах медицинского обслуживания, направленных на профилактику и лечение таких наиболее распространённых заболеваний, как болезни системы кровообращения.

Полученные результаты, хотя они и предварительные, могут быть использованы при разработке регламентов радиационной безопасности лиц, имеющих отношение к работе с источниками ионизирующего излучения.

Дальнейшее исследование предполагает увеличение статистической мощности анализа путем увеличения периода наблюдения, а также проведения работы, направленной на снижение неопределённостей в оценках доз и на улучшение полноты и качества эпидемиологических данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. UNSCEAR 2019. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Evaluation of Selected Health Effects and Inference of Risk Due to Radiation Exposure. New York. 2020;21–192.
2. Baselet B, Ramadan R, Benotmane A. Selected Endothelial Responses after Ionizing Radiation Exposure. Endothelial Dysfunction – Old Concepts and New Challenges. Ed.: Lenasi H. IntechOpen, 2018. P. 365–390. DOI: 10.5772/intechopen.72386.
3. Здравоохранение в России. 2021: Стат.сб. Росстат. М., 2021. 171 с. [Health Care in Russia. Statistical Collection. Moscow Publ., 2021. 171 p. (In Russ.)]
4. Kochanek K, Murphy S L, Xu J, Tejada-Vera B. Deaths: Final Data for 2014. National Vital Statistics Reports. 2016; 65(2). 122 p.
5. Arias E, Xu J, Tejada-Vera B, Bastian B. U.S. State Life Tables, 2019. National Vital Statistics Reports. 2019;(18):18.
6. ICRP Publication 118. ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Annals of the ICRP. Ed Clement C.H. Amsterdam – New York; Elsevier, 2012. 325 p.
7. Little M, Azizova T, Richardson D, et al. Ionising Radiation and Cardiovascular Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. Brit. Med. J. 2023;380:81. DOI:10.1136/bmj-2022-072924.
8. Bernstein J, Dauer L, Dauer Z. Cardiovascular Risk from Low Dose Radiation Exposure. Review and Scientific Appraisal of the Literature. 3002018408. Technical Report. Palo Alto (CA): Electric Power Research Institute (EPRI). Final Report, 2020. 144 p.
9. McGale P, Darby S. Low Doses of Ionizing Radiation and Circulatory Diseases: a Systematic Review of the Published Epidemiological Evidence. Radiat. Res. 2005;163(3):247–257. DOI: 10.1667/rr3314.
10. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex B Epidemiological Evaluation of Cardiovascular Disease and Other Non-Cancer Diseases Following Radiation Exposure. United Nations. New York, 2008. P. 325–383.
11. UNSCEAR 2010. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Fifty-Seventh Session, Includes Scientific Report: Summary of Low-Dose Radiation Effects on Health. United Nations. New York, 2011. 106 p.
12. Wakeford R. Does Low-Level Exposure to Ionizing Radiation Increase the Risk of Cardiovascular Disease? Hypertension. 2019;73(6):1170–1171. DOI: 10.1161/HYPERTENSION.119.11892.
13. NCRP Commentary No 27. Implications of Recent Epidemiologic Studies for the Linear-Nonthreshold Model and Radiation Protection. National Council on Radiation Protection and Measurements: Bethesda, MD, 2018. 87 p.
14. Azizova T, Haylock R, Moseeva M., et al. Cerebrovascular Diseases Incidence and Mortality in an Extended Mayak Worker Cohort 1948–1982. Radiat. Res. 2014;182(5):529–544. DOI:10.1667/RR13680.1.
15. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A., McConney M.E. Epicure: User's Guide. HiroSoft International Corporation. Seattle, WA 98112, USA, 1993. 329 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.01.2024. Принята к публикации: 27.02.2024.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.01.2024. Accepted for publication: 27.02.2024.