

РИСК СМЕРТИ ОТ ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС – РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.Р.Туков¹, И.Л.Шафранский¹, О.Н.Прохорова¹, М.В.Калинина¹

¹ ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

Резюме. Цель исследования – оценка радиационного риска смерти от гипертонической болезни у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) – работников атомной промышленности с использованием доз от различных видов облучения.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось с использованием данных Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС – работников атомной промышленности. В анализ была включена информация о 12659 ликвидаторах (все – мужчины), 1327 из которых имели дозу профессионального облучения. Оценены грубые относительные риски смерти от гипертонической болезни для пяти дозовых групп с использованием внутреннего контроля. На основе файла стратифицированных данных проведена процедура Пуассоновской регрессии с использованием модуля AMFIT программы Epicure и рассчитана величина избыточного относительного риска смерти от гипертонической болезни, а также исследован характер дозовой зависимости избыточной относительной смертности.

Результаты исследования их анализ. Получены прямые оценки радиогенного риска смерти от гипертонической болезни. Не обнаружено увеличения смертности от гипертонической болезни на единицу дозы как для дозовых нагрузок, полученных при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, так и для суммарных доз. Результаты исследования могут быть использованы при разработке регламентов радиационной безопасности лиц, работающих с источниками ионизирующего излучения.

Ключевые слова: AMFIT, EPICURE, авария на Чернобыльской АЭС, гипертоническая болезнь, Госкорпорация «Росатом», ликвидаторы – работники атомной промышленности, относительный риск, отраслевой регистр, период исследования, радиация, риск смерти

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Туков А.Р., Шафранский И.Л., Прохорова О.Н., Калинина М.В. Риск смерти от гипертонической болезни у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС – работников атомной промышленности // Медицина катастроф. 2021. №3. С. 47-51. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-47-51>

RISK OF DEATH FROM HYPERTENSION AMONG CHERNOBYL ACCIDENT LIQUIDATORS – NUCLEAR INDUSTRY WORKERS

A.R.Tukov¹, I.L.Shafranskiy¹, O.N.Prokhorova¹, M.V.Kalinina¹

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

Abstract. The aim of the study was to assess the radiation risk of death from hypertension in liquidators of the Chernobyl nuclear power plant accident consequences – workers of the nuclear industry – using doses from various types of irradiation.

Materials and methods of the study. The study was conducted using data from the Industry Register of Persons exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident – workers of the nuclear power industry. Information on 12659 liquidators (all male) was included in the analysis. 1327 of them got occupational radiation doses. Crude relative risks of death from hypertension were estimated for five dose groups using internal controls. Based on the stratified data file, a Poisson regression procedure was performed using the AMFIT module of Epicure program and the excess relative risk of death from hypertension was calculated and the nature of the dose-dependent excess relative mortality was investigated.

Results of the study and their analysis. Direct estimates of radiogenic risk of death from hypertension were obtained. No increase in mortality from hypertensive disease per unit dose was found for both the doses received during the liquidation of the Chernobyl accident consequences and for the total doses. The results of the study can be used in the development of radiation safety regulations for persons working with sources of ionizing radiation.

Key words: AMFIT, Chernobyl accident, EPICURE, hypertension, industry register, liquidators, nuclear industry workers, radiation, relative risk, risk of death, Rosatom State Corporation, study period

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Tukov A.R., Shafranskiy I.L., Prokhorova O.N., Kalinina M.V. Risk of Death from Hypertension among Chernobyl Accident Liquidators – Nuclear Industry Workers. *Meditsina katastrof* = Disaster Medicine. 2021;3:47-51 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-47-51>

Контактная информация:

Туков Александр Романович – кандидат медицинских наук; заведующий лабораторией
Адрес: Россия, 123098, Москва, ул. Живописная, 46
Тел.: +7 (499) 190-94-81
E-mail: atukov40@mail.ru

Contact information:

Aleksandr R. Tukov – Cand. Sc. (Med.); Head of the Laboratory
Address: 46, Zhyvopisnaya str., Moscow, 123098, Russia
Phone: +7 (499) 190-94-81
E-mail: atukov40@mail.ru

В последнее время возник интерес к вопросам влияния ионизирующего излучения (ИИ) на заболеваемость и смертность от неонкологической соматической патологии. Причина – появление большого количества клинических доказательств повреждающего воздействия радиации на сердечно-сосудистую систему (ССС).

Вместе с тем, на базе данных когорты лиц, переживших атомную бомбардировку в Японии (LSS), показано, что в анализе смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) ни для одной дозовой страты из категории общей дозы не было предъявлено статистически значимого значения риска относительно контрольного контингента (менее 0,2 Гр) и даже добавление дополнительных корректирующих факторов не изменило этот результат [1]. Оценки избыточного относительного риска на Гр (ERR/Gy) соответствовали уровню, не превышающему риск.

Что касается российских ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), существует точка зрения, что низкая зависимость популяционных рисков соматических заболеваний от величины дозы радиации, полученной в 30-километровой (30-км) зоне ЧАЭС, возможно, связана с ошибочной оценкой дозы радиационного воздействия, полученной ликвидаторами, а также из-за функциональной нестабильности изменения диагностических показателей во времени [2, 3]. По данным Российского государственного медико-дозиметрического регистра (РГМДР), избыточный относительный риск сердечно-сосудистых заболеваний на Зв (ИОР/Зв) имеет величину 0,4 – достоверно отличен от нуля, а для смертности от ССЗ составляет 0,2 – недостоверно [4].

По данным украинских исследователей, несмотря на то, что клиническая характеристика функционального состояния сердечно-сосудистой системы и сопутствующие заболевания у ликвидаторов были почти аналогичны тем, что наблюдались в контрольной группе, начало гипертонической болезни у них наступало раньше – в 55,9 лет – против 59,8 лет в контрольной группе [5]. Также показано, что у лиц, принимавших участие в ликвидации аварии на ЧАЭС в возрасте 40 лет и старше на момент аварии, облучение в малых дозах вызывало развитие гипертонической болезни. Уровень смертности у этих лиц с более высокими дозами облучения был достоверно выше ($p < 0,05$), чем у лиц с более низкими дозами облучения. Основными причинами смертности от болезни системы кровообращения в исследуемых когортах являлись цереброваскулярные болезни, артериальная гипертензия, болезни артерий, артериол и капилляров [6, 7].

Также представляют интерес оценки, сделанные по данным национальных регистров рабочих, занятых в сфере ядерной энергетики, и шахтёров, добывающих урановую руду (Германия). По данным NRRW (Англия) и их немецких коллег оценки ИОР/Гр для смертности от ССЗ значимо не отличаются от нуля, что также корреспондируется с данными Т.В.Азизовой по когорте рабочих ПО «Маяк» [8–12].

M.P.Little представил результаты оценки ИОР/Зв на данных когорты LSS для смертности от ССЗ, которые составили 0,17 (0,08–0,26) – [13]. Анализ данных IARC по исследованию смертности рабочих ядерного цикла 15 стран позволил получить более низкие оценки для заболеваемости

в отдельных нозологиях (ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь, инфаркты, эмболии), которые в целом были близки к нулю. Его анализ данных заболеваемости ликвидаторов последствий Чернобыльской аварии дал следующие результаты для ИОР/Зв: гипертоническая болезнь – 0,26; ишемическая болезнь сердца (ИБС) – 0,41, другие патологии сердечно-сосудистой системы – 0,26. За исключением последнего, первые 2 коэффициента достоверно отличаются от нуля. В работе по мета-анализу данных, представленных исследователями многих стран, получено значение ИОР/Зв для смерти от ИБС величиной 0,10 [14].

Большую работу по анализу данных смертности работников предприятий ядерного цикла провели Е.Кардис и соавторы [15]. Риск смерти от всех болезней, исключая онкологические заболевания, составил 0,24 на 1 Зв; для болезней сердечно-сосудистой системы – 0,09 на 1 Зв. Для обоих коэффициентов доверительный интервал (ДИ) включает ноль.

К сожалению, представленные выше исследования были сделаны с использованием данных о дозах одного вида облучения, и поэтому их результаты не могут быть надёжными. В связи с этим актуальным является проведение исследований по оценке риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний или смерти от них с использованием суммарных доз от разных видов облучения.

Цель исследования – оценка радиационного риска смерти от гипертонической болезни у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС – работников атомной промышленности с использованием доз от различных видов облучения.

Материалы и методы исследования. В работе использованы данные о работниках предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом», участвовавших в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В анализ включена информация о 12659 ликвидаторах (мужчины), состоящих на учёте в Отраслевом регистре лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС и имеющих данные о верифицированных дозах внешнего облучения. Средний возраст ликвидаторов на момент участия в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС – 36,6 года; 80% ликвидаторов находились в возрастной группе 30–40 лет.

В настоящее время в связи с тем, что ни один медико-дозиметрический регистр не соответствует требованиям Норм радиационной безопасности 1999 г. (НРБ/99) – наличие суммарной дозы облучения для расчёта радиационного риска – отсутствует возможность проведения корректных исследований по оценке риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний при малых дозах облучения на существующих регистрах – как в нашей стране, так и за рубежом.

Концерн «Росэнергоатом» предоставил Государственному научному центру – Федеральному медицинскому биофизическому центру им. А.И.Бурназяна Федерального медико-биологического агентства (ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России) данные о дозах профессионального облучения работников основного производства 10 АЭС,

находящихся на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) и участвовавших в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В разработку включены данные о дозах профессионального облучения работников Балаковской, Белоярской, Билибинской, Калининской, Кольской, Курской, Ленинградской, Нововоронежской, Ростовской и Смоленской АЭС.

Кроме того, данные о профессиональных дозах облучения работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» были получены от учреждений здравоохранения ФМБА России.

Дозы профессионального облучения были представлены по годам их работы с радиоактивными веществами (РВ) и источниками ионизирующего излучения, начиная с первого года работы и кончая 2015 г. Рассчитаны были также кумулятивные дозы, которые были привязаны к участникам ликвидации аварии, включённым в Отраслевой регистр.

Данные о дозах внешнего облучения у ликвидаторов в годы их пребывания в 30-км зоне ЧАЭС представлены в табл. 1.

В табл. 2 даны некоторые характеристики обобщённой базы данных Регистра по 5 дозовым группам – как по дозам на ЧАЭС, так и по суммарным дозам. Группы формировались из примерно равного числа лиц и с учётом полученных доз облучения.

В структуре суммарных доз, полученных ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне и в процессе профессиональной деятельности, 48% составляли дозы до 100 мЗв; 6% ликвидаторов имели дозы, превышавшие 500 мЗв.

В табл. 3 представлена информация о средних, минимальных и максимальных дозах внешнего облучения, полученных ликвидаторами в различных местах работы.

В исследовании рассчитывался 95%-ный доверительный интервал (ДИ-95%) показателей.

Таблица 1/ Table No. 1

Дозы внешнего облучения у ликвидаторов (мужчины и женщины) последствий аварии на ЧАЭС

Provision of Liquidators (Men and Women) of the Consequences of the Chernobyl Accident with Data on External Exposure Doses

| Годы въезда в 30-км зону Years entrance to the 30-km zone | Число ликвидаторов, чел. Amount liquidators, people | В том числе с дозой, чел./% Of these there is a dose, people/% | Среднее значение дозы, мЗв Average value, mSv |
|--|--|---|--|
| 1986–1990 | 18450 | 12698/68,8 | 55,3 |
| 1986 | 10790 | 7276/67,4 | 74,8 |
| 1987 | 4738 | 3365/71,0 | 33,1 |
| 1988 | 1868 | 1389/74,4 | 25,7 |
| 1989 | 798 | 571/71,6 | 16,8 |
| 1990 | 266 | 97/36,5 | 11,9 |

Дозы внешнего облучения у ликвидаторов (мужчины) последствий аварии на ЧАЭС

Provision of Liquidators (Men) of the Consequences of the Chernobyl Accident with Data on External Exposure Doses

| Дозовая группа – ЧАЭС Dose group – ChNPP | Число ликвидаторов, чел. Number of liquidators, people | Средняя доза, мЗв Average dose, mSv | Дозовая группа – проф. Dose group – professional | Число ликвидаторов, чел. Number of liquidators, people | Средняя доза, мЗв Average dose, mSv |
|---|---|--|---|---|--|
| 0,1–4,9 | 2864 | 2,23 | 0,1–5,9 | 2922 | 2,6 |
| 5,0–12,9 | 2237 | 7,95 | 6,0–16,7 | 2222 | 10,3 |
| 13,0–35,1 | 2490 | 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 | 2552 | 181,80 | 121–1985,6 | 2565 | 228,4 |

Для оценок риска по объединённым в возрастные, дозовые и другие группы данным был использован пакет прикладных статистических программ EPICURE (модуль AMFIT), широко применяемый в современной радиационно-эпидемиологической практике [16]. В этом пакете реализована методика оценки радиационных рисков. Программа AMFIT является признанным стандартом для проведения радиационно-эпидемиологических исследований. Оценки радиационного риска среди персонала предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» были выполнены с использованием этой программы. Модель избыточного относительного риска в общем виде представлена по формуле 1:

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

где λ_d – показатель заболеваемости; λ_0 – показатель спонтанной заболеваемости; β – избыточный относительный риск; d – доза облучения.

Функция правдоподобия строится исходя из предположения, что количество случаев заболевания является независимой пуассоновской случайной величиной.

Результаты исследования и их анализ.

Для расчётов относительного радиационного риска (ОР) смертности от гипертонической болезни у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по программе AMFIT данные были разделены на 5 дозовых групп, полученных при ликвидации аварии на ЧАЭС, и по суммарной дозе (табл. 4, 5).

Для оценки достоверности ОР использовалась формула 2:

$$\log RR (SE) = \sqrt{1/r1 + 1/r2 - 1/N1 - 1/N2}, \quad (2)$$

где $r1$, $r2$ – количество случаев в контроле и текущей страте; $N1$, $N2$ – число человеко-лет в контроле и текущей страте.

В связи с малыми значениями ОР все значения точечных рисков достоверно не превышают 1, что не даёт возможности проводить параллельные сравнения. Вместе с тем, согласно данным табл. 4 и 5, значения ОР для смертности от гипертонической болезни имеют некоторую тенденцию к обратному росту.

Результаты оценки радиационных рисков с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок приведены в табл. 6. Избыточный относительный риск не обнаружен как в случае учёта только доз, полученных в Чернобыле, так и в случае суммарных доз.

Случай равномерного расширения дозового диапазона – добавление доз профессионального облучения в каждой страте – приводит к сдвигу линии регрессии рисковой кривой вправо по оси дозовых величин. В задаче с эмпирическим контролем это автоматически приводит к снижению избыточного риска. В случае неравномерного добавления дозовых нагрузок по стратам – увеличение доз за счёт профессионального облучения только для 1327 чел. из 12659 – «рисковый» ответ может быть парадоксальным.

Таблица 2 / Table No. 2

Таблица 3 /Table No. 3

Распределение доз облучения у ликвидаторов в зависимости от места их работы, мЗв

Distribution of Radiation Doses among Liquidators Depending on the Place of Work, mSv

| Место получения дозы A place receiving dose | Средняя доза Average dose | Минимальная доза Minimum dose | Максимальная доза Maximum dose |
|---|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| ЧАЭС/ChNPP | 55,2 | 0,1 | 1478,50 |
| Предприятия Госкорпорации «Росатом» Enterprises of the State Corporation "Rosatom" | 180,8 | 0,1 | 1832,40 |
| Взвешенная сумма доз Weighted sum of doses | 70,5 | 0,2 | 1847,72 |

Таблица 4 /Table No. 4

Значения стратифицированных показателей смертности от гипертонической болезни (на 1000) и ОР для ликвидаторов (мужчины) последствий аварии на ЧАЭС – работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» (дозы ЧАЭС)

Values of Stratified Mortality Rates from Essential Hypertension (per 1000) and RR for Liquidators of the Consequences of the Chernobyl Accident, Men - Employees of Enterprises and Organizations of the State Corporation "Rosatom" (Doses of the Chernobyl NPP)

| Средняя доза, мЗв Average dose, mSv | Смертность (на 1000) (МКБ 10: I10-I15.9) Mortality (per 1000) (ICD 10: I10-I15.9) | ОР/RR |
|--|--|-------|
| 2,23 | 1,21 | 1,00 |
| 7,95 | 0,84 | 0,70 |
| 21,70 | 1,32 | 1,09 |
| 62,30 | 1,11 | 0,92 |
| 181,00 | 0,89 | 0,74 |

Заключение

Как отмечал ряд авторов, существуют разные подходы к объяснению патогенеза развития сердечно-сосудистых заболеваний в отдалённом периоде [17]. Одни авторы рассматривают роль исключительно хронического эмоционального стресса, другие утверждают, что повреждающее действие ионизирующего излучения не зависит от сознания человека и при равномерном облучении организма проявляется на клеточно-молекулярном уровне во всех без исключения органах и тканях [18]. По всей видимости, приоритетным является прогностическое значение в развитии сердечно-сосудистых заболеваний у ликвидаторов концепции дезинтеграционного синдрома как неспецифического радиационного синдрома в отличие от острой или хронической лучевой болезни, рассматриваемой как специфический радиационный синдром.

В настоящее время особую актуальность в анализе риска приобретают суммарные дозы облучения, полученные работниками как в Чернобыле, так и в процессе своей основной работы, а также медицинские и природные дозы облучения. Имеющиеся результаты мировых исследований дозиметрии также указывают на то, что воздействие А-бомбы нельзя надёжно оценить, если медицинские дозы рентгеновских лучей не будут полностью включены в эти долгосрочные оценки [19].

Впервые нами получены результаты по оценке риска облучения от совокупной дозы двух видов облучения. Однако в настоящее время процесс сбора полной информации находится в самом начале и в дальнейшем будет показано, насколько учёт доз медицинского и природного облучения необходим в рамках анализа популяционного риска.

Таблица 5 /Table No. 5

Значения стратифицированных показателей смертности от гипертонической болезни (на 1000) и ОР для ликвидаторов (мужчины) последствий аварии на ЧАЭС – работников предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» (дозы ЧАЭС + профессиональные)

Values of Stratified Mortality Rates from Hypertension (per 1000) and OR for Liquidators (Men) of the Consequences of the Chernobyl Accident - Employees of Enterprises and Organizations of the State Atomic Energy Corporation Rosatom (Doses of ChNPP + Professional)

| Средняя доза, мЗв Average dose, mSv | Смертность (на 1000) (МКБ 10: I10-I15.9) Mortality (per 1000) (ICD 10: I10-I15.9) | ОР RR |
|--|--|----------|
| 2,6 | 1,24 | 1,00 |
| 10,3 | 1,04 | 0,84 |
| 30,4 | 1,25 | 1,00 |
| 80,3 | 0,97 | 0,78 |
| 228,4 | 0,91 | 0,74 |

Таблица 6 /Table No. 6

Оценка радиационных рисков смертности от гипертонической болезни с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок, ИОР/Зв

Estimate of the radiation risks of mortality from hypertension using the AMFIT program for various dose loads (ERR/Sv)

| Тип дозы Dose type | ИОР/Зв ERR/Sv | ДИ (95%) CI (95%) |
|---|------------------|----------------------|
| ЧАЭС доза /Chernobyl dose | -0,28 | -2,3–2,0 |
| Суммарно с профдозой In total with the professional dose | -0,31 | -1,37–1,52 |

Ликвидаторы в отдалённые сроки наблюдения после работ по ликвидации последствий аварии нуждаются в медицинском обслуживании, направленном на профилактику и лечение таких наиболее распространённых и социально значимых болезней, как сердечно-сосудистые заболевания.

Полученные нами результаты могут быть использованы при разработке регламентов радиационной безопасности.

Уникальность когорты ликвидаторов для получения прямых оценок риска отдалённых эффектов радиационного воздействия при малых дозах свидетельствует о необходимости наблюдения за данным контингентом. Дальнейшее исследование предполагает увеличение статистической силы анализа путём увеличения периода наблюдения, а также выполнения работы, направленной на уменьшение неопределённостей в оценках доз и на улучшение полноты и качества эпидемиологических данных.

Выводы

1. Оценка расчёта риска смерти от гипертонической болезни с использованием данных о дозах различных видов облучения не показала различия в полученных результатах.

2. С ростом дозовой нагрузки не отмечено увеличение риска смерти от гипертонической болезни.

3. Для надёжной оценки риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний или смерти от них необходимо создание медико-дозиметрического регистра работников атомной промышленности с наличием в нём данных о дозах всех видов облучения – профессионального, аварийного, медицинского, природного.

- Dale L.P., Shimizu Y., Donald A.P., Akihiko Suyamac A., Mabuchi K. Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Noncancer Disease Mortality: 1950–1997 // *Radiation Research*. 2003. V.160. P. 381–407.
- Шантырь И.И., Астафьев О.М., Макарова Н.В. Состояние здоровья ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. (По материалам Сев.-Зап. регион. центра Рос. гос. мед. дозиметр. рег.) // *Всеросс. центр экстр. и радиац. медицины МЧС России*. СПб.: Сев.-Зап. регион. центр РГМДР. 2002. 112 с.
- Sevan'kaev A.V., Lloyd D.C., Edwards A.A., Moiseenko V.V. High Exposures to Radiation Received by Workers Inside the Chernobyl Sarcophagus // *Radiat. Protect. Dosim.* 1995;V.59, No. 2. P. 85–91.
- Ivanov V., Maksioutov M.A., Chekin S.Y., 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 Phys.* 2006. V. 90. P. 199–207.
- Білий Д.О., Настіна О.М., Табулавічене Ж.М., Сидоренко Г.В., Базика О.Д., Білая В.В., Ковальов О.С. Фактори радіаційної і нерадіаційної природи та їх вплив на перебіг ішемічної хвороби серця у учасників ліквідації наслідків Чорнобильської аварії. // *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2014. Вип. 19. С. 213–222.
- Бузунов В.О., Прикашківа К.Е., Губіна І.Г., Костюк Г.В., Терешченко С.О. Смертність від хвороб системи кровообігу мешканців радіоактивно забруднених територій унаслідок аварії на ЧАЕС за 1988–2010 роки спостереження залежно від доз радіаційного опромінення, статі. // *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2013. Вип. 18. С. 50–58.
- Бузунов В.О., Прикашківа К.Е., Костюк Г.В., Губіна І.Г., Терешченко С.О. Смертність від хвороб системи кровообігу мешканців радіоактивно забруднених територій України внаслідок аварії на ЧАЕС залежно від доз радіаційного опромінення та віку. 1988–2010 роки спостереження // *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2014. Вип. 19. С. 59–66.
- Muirhead C.R., O'Hagan J.A., Haylock R.G.E., Phillipson M.A., Willcock T., Berridge G.L.C., Zhang W. Mortality and Cancer Incidence Following Occupational Radiation Exposure: Third Analysis of the National Registry for Radiation Workers // *British Journal of Cancer*. 2009. V. 100. P. 206–212.
- Krauser M., Kreisheimer M., Kandel M. Mortality from Cardio-Vascular Rises in the German Uranium Miners Cohort Study 1946–1998 // *Rad Env Biophys.* 2006.
- Azizova T.V., Colin R., Muirhead Maria B., Moseeva Evgenia S., Grigoryeva Margarita V., Sumina J., O'Hagan J.A., Wei Zhang R.J., Haylock G.E., Hunter N. Cerebrovascular Diseases in Nuclear Workers First Employed at the Mayak PA in 1948–1972 // *Radiat Environ Biophys.* 2011. V.50. P. 539–552.
- Azizova T.V., Muirhead C.R., Moseeva M.B. Ischemic Heart Disease in Nuclear Workers First Employed at the Mayak PA in 1948–1972 // *Health Phys.* 2012. V.103, No. 1. P. 3–14.
- Moseeva M.B., Azizova T.V., Grigorieva E.S., Haylock R. Risk of Circulatory Diseases Among Mayak PA Workers with Radiation Doses Estimated Using the Improved Mayak Workers Dosimetry System 2008 // *Rad. Environ. Biophys.* 2014. V.53, No. 2. P. 469–477.
- Little M.P., Tawn E.J., Tzoulaki I., Wakeford R., Hildebrandt G., Paris F., Tapio S., Elliott P. A Systematic Review of Epidemiological Associations Between Low and Moderate Doses of Ionizing Radiation and Late Cardiovascular Effects, and Their Possible Mechanisms // *Radiation Research*. 2008. V.169. P. 99–109.
- Little M.P., Azizova T.V., Bazyka D. Systematic Review and Meta-Analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks // *Environ. Health Perspect.* 2012. V.120. P. 1503–1511.
- Vrijheid M., Cardis E., Ashmore P., Auvinen A., Bae J.-M., Engels H., Gilbert E., Gulis G., Habib R.R., Howe G., Kurtinaitis J., Malke H., Muirhead C.R., Richardson D.B., Rodriguez-Artalejo F., Rogel A., Schubauer-Berigan M., Tardy H., Telle-Lamberton M., Usel M., Veress K. Mortality from Diseases Other than Cancer Following Low Doses of Ionizing Radiation: Results from the 15-Country Study of Nuclear Industry Workers // *International Journal of Epidemiology*. 2007. V.36. P. 1126–1135.
- 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.
- Метляева Н.А., Бушманов А.Ю., Краснюк В.И., Щербатых О.В., Болотнов М.В. Радиация и стресс. Обзор научных публикаций о реакции человека на воздействие ионизирующего излучения // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2016. № 5. С. 48–54. <http://www.medradiol.ru>.
- Тайц М.Ю., Дудина Т.В., Кандыбо Т.С., Елкина А.И. Ранние эффекты влияния ионизирующей радиации в относительно небольших дозах на нейромедиаторные системы, ответственные за центральную регуляцию гипоталамо-гипофиз-адрено-кортикоидной системы // *Радіобіологія*. 1988. T.28, № 5. С. 660–662.
- Kazuo K., Shozo S. Medical X-ray Doses' Contributions to the Ionizing Radiation Exposures of Atomic-Bomb Survivors // *Journal of Radiation Research*. 1991. V.32, Issue Suppl_1, 1 March. P. 136–153.
- Dale L.P., Shimizu Y., Donald A.P., Akihiko Suyamac A., Mabuchi K. Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Noncancer Disease Mortality: 1950–1997. *Radiation Research*. 2003;160:381–407.
- Shantyry I.I., Astaf'ev O.M., Makarova N.V. The Health Status of Liquidators of the Consequences of the Chernobyl Accident: Po materialam Sev.-Zap. region. centra Ros. gos. med. dozimetr. reg. *Vseross. Centr Ekstr. i Radiat. Meditsiny MCHS Rossii*. Spb.: Sev.-Zap. Region. Tsentr RGMDR Publ., 2002. 112 p. (In Russ.).
- Sevan'kaev A.V., Lloyd D.C., Edwards A.A., Moiseenko V.V. High Exposures to Radiation Received by Workers Inside the Chernobyl Sarcophagus. *Radiat. Protect. Dosim.* 1995;59:85–91 (In Russ.).
- Ivanov V., Maksioutov M.A., Chekin S.Y., 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 Phys.* 2006;90:199–207 (In Russ.).
- Bilyi D.O., Nastina O.M., Gabulavichene Zh.M., Sidorenko G.V., Bazika O.D., Bilaya V.V., Koval'ov O.S. Factor of Radioactive and Non-Radioactive Nature and its Inflow for the Overload of Ischemic Ailments of the Heart among the Participants in the Loss of Inheritance from the Chernobyl Accident. *Problemy Radiatsionnoy Meditsiny i Radiobiologii*. 2014;19:213–222 (In Ukr.).
- Buzunov V.O., Prikashchikova K.E., Gubina I.G., Kostyuk G.V., Tereshchenko S.O. Mortality due to Ailments of the Blood Circulation System in Radioactively Disturbed Territories of Accidents at the ChAES for 1988–2010. *Problemy Radiatsionnoy Meditsiny i Radiobiologii*. 2013;18:50–58 (In Ukr.).
- Buzunov V.O., Prikashchikova K.E., Kostyuk G.V., Gubina I.G., Tereshchenko S.O. Mortality due to Ailments of the Blood Circulation System in Radioactively Disturbed Territories of Ukraine during Accidents at the ChAES is Largely due to the Doses of Radioactive Evaluation. 1988–2010 Rocky with Caution. *Problemy Radiatsionnoy Meditsiny i Radiobiologii*. 2014;19:59–66 (In Ukr.).
- Muirhead C.R., O'Hagan J.A., Haylock R.G.E., Phillipson M.A., Willcock T., Berridge G.L.C., Zhang W. Mortality and Cancer Incidence Following Occupational Radiation Exposure: Third Analysis of the National Registry for Radiation Workers. *British Journal of Cancer*. 2009;100:206–212.
- Krauser M., Kreisheimer M., Kandel M. Mortality from Cardio-Vascular Rises in the German Uranium Miners Cohort Study 1946–1998. *Rad Env Biophys.* 2006.
- Azizova T.V., Colin R., Muirhead Maria B., Moseeva Evgenia S., Grigoryeva Margarita V., Sumina J., O'Hagan J.A., Wei Zhang R.J., Haylock G.E., Hunter N. Cerebrovascular Diseases in Nuclear Workers First Employed at the Mayak PA in 1948–1972. *Radiat Environ Biophys.* 2011;50:539–552.
- Azizova T.V., Muirhead C.R., Moseeva M.B. Ischemic Heart Disease in Nuclear Workers First Employed at the Mayak PA in 1948–1972. *Health Phys.* 2012;103;1:3–14.
- Moseeva M.B., Azizova T.V., Grigorieva E.S., Haylock R. Risk of Circulatory Diseases Among Mayak PA Workers with Radiation Doses Estimated Using the Improved Mayak Workers Dosimetry System 2008. *Rad. Environ. Biophys.* 2014;53;2:469–477.
- Little M.P., Tawn E.J., Tzoulaki I., Wakeford R., Hildebrandt G., Paris F., Tapio S., Elliott P. A Systematic Review of Epidemiological Associations Between Low and Moderate Doses of Ionizing Radiation and Late Cardiovascular Effects, and Their Possible Mechanisms. *Radiation Research*. 2008;169:99–109.
- Little M.P., Azizova T.V., Bazyka D. Systematic Review and Meta-Analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. *Environ. Health Perspect.* 2012;120:1503–1511.
- Vrijheid M., Cardis E., Ashmore P., Auvinen A., Bae J.-M., Engels H., Gilbert E., Gulis G., Habib R.R., Howe G., Kurtinaitis J., Malke H., Muirhead C.R., Richardson D.B., Rodriguez-Artalejo F., Rogel A., Schubauer-Berigan M., Tardy H., Telle-Lamberton M., Usel M., Veress K. Mortality from Diseases Other than Cancer Following Low Doses of Ionizing Radiation: Results from the 15-Country Study of Nuclear Industry Workers. *International Journal of Epidemiology*. 2007;36:1126–1135.
- 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.
- Metlyayeva N.A., Bushmanov A.YU., Krasnyuk V.I., Shcherbatykh O.V., Bolotnov M.V. Review of Scientific Publications on Human Response to Ionizing Radiation. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'*. 2016;5:48–54 (In Russ.).
- Tayts M.Yu., Dudina T.V., Kandybo T.S., Elkina A.I. Early Effects of the Influence of Ionizing Radiation in Relatively Small Doses on the Neurotransmitter Systems Responsible for the Central Regulation of the Hypothalamic Pituitary Gland and Adreno-Corticoid System. *Radiobiologiya*. 1988;28;5:660–662 (In Russ.).
- Kazuo K., Shozo S. Medical X-ray Doses' Contributions to the Ionizing Radiation Exposures of Atomic-Bomb Survivors. *Journal of Radiation Research*. Issue Suppl_1, 1 March 1991;32:136–153.

Матеріал поступив в редакцію 18.03.21; стаття прийнята після рецензування 01.05.21; стаття прийнята к публікації 10.09.21
 The material was received 18.03.21; the article after peer review procedure 01.05.21; the Editorial Board accepted the article for publication 10.09.21