

<https://doi.org/10.47183/mes.2026-556>

УДК 613.648.4:616-006.04



ПОСЛЕДСТВИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ РОДИТЕЛЕЙ: ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПОТОМКОВ

Н.Р. Кабирова, Ю.В. Царева[✉], С.Ф. Соснина, П.В. Окatenко

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

Введение. В Южно-Уральском федеральном научно-клиническом центре медицинской биофизики на протяжении многих лет проводится анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) среди работников ПО «Маяк» и среди населения, проживающего в непосредственной близости от предприятия. Когорту потомков работников ПО «Маяк» можно рассматривать как уникальный ресурс исследований для разработки мер по минимизации возможного негативного воздействия промышленных объектов на здоровье населения и повышению качества медицинского обеспечения на основе анализа эффектов преконцептивного (до зачатия) и внутриутробного радиационного воздействия, особенно риска возникновения злокачественных опухолей. Ранее исследования динамики заболеваемости раком за длительное время среди потомков преконцептивно облученных людей и среди облученных внутриутробно проводились на меньших выборках.

Цель. Анализ динамики уровня онкологической заболеваемости по пятилетним периодам с 1949 по 2020 г. среди потомков работников ПО «Маяк», подвергавшихся преконцептивному профессиональному облучению и профессиональному радиационному воздействию во время беременности.

Материалы и методы. Ретроспективное когортное исследование проведено на основе следующих источников информации: Медико-дозиметрический регистр персонала ФГУП «Производственное объединение «Маяк»; Регистр населения г. Озерска, подвергавшегося в детском возрасте техногенному воздействию за счет деятельности первого атомного предприятия России ПО «Маяк»; Регистр здоровья детского населения г. Озерска; Канцер-регистр населения г. Озерска; Дозиметрическая система работников ПО «Маяк» 2013. Анализ выполнен среди 35 465 человек, включая 14 593 потомков работников ПО «Маяк», которые подвергались профессиональному преконцептивному облучению и/или радиационному воздействию во время беременности. Группу сравнения составили 20 872 человека, чьи родители не были подвержены ни профессиональным, ни экологическим радиационным факторам. Потомки обеих групп родились в 1949–1988 гг. в ЗАТО г. Озерск, расположенном вблизи ПО «Маяк». Период наблюдения за когортой составил 72 года. Сравнение частот проведено с использованием критерия Фишера (F -тест), при статистически значимом уровне $p < 0,05$. Рассчитан средний темп прироста онкологической заболеваемости; направление тренда динамики оценено путем вычисления скользящей средней.

Результаты. Среди потомков облученных отцов показатель заболеваемости ЗНО на конец наблюдения составил 28,3 случая на 10^5 человеко-лет наблюдения со средним темпом прироста онкозаболеваемости 19,8%, что выше, чем в группе сравнения — 15,0%. Статистически значимые различия по сравнению с группой сравнения установлены для потомков мужского пола 1974–1988 гг. рождения в период 2001–2005 гг. (F -тест = 5,90; $p = 0,015$). Абсолютный прирост онкозаболеваемости и увеличение темпа прироста заболеваемости ЗНО среди потомков облученных отцов в основном обусловлены изменением возрастной структуры изучаемой когорты. Среди потомков облученных матерей 1949–1953 гг. р. за период 2001–2005 гг. отмечено значимое превышение уровня заболеваемости ЗНО по сравнению с группой сравнения (F -тест = 5,62; $p = 0,018$). Статистически значимое превышение установлено среди потомков работниц ПО «Маяк» 1954–1958 гг. р. в период наблюдения 1996–2000 гг. (F -тест = 3,98; $p = 0,046$). Сравнение онкологической заболеваемости среди потомков облученных на производстве отцов и матерей указало на значимое превышение показателей среди потомков 1964–1968 гг. р. от облученных отцов в периоды наблюдения до 1985 г. (F -тест = 9,26; $p = 0,02$) и 1996–2000 гг. (F -тест = 5,24; $p = 0,022$). Отмечены периоды 2001–2005 и 2011–2015 гг., когда среди потомков женского пола от облученных матерей заболеваемость ЗНО была значимо выше, чем среди потомков облученных отцов (F -тест = 5,96; $p = 0,015$ и F -тест = 5,89; $p = 0,015$ соответственно). Анализ скользящей средней указал на прогрессивный рост уровня заболеваемости ЗНО среди потомков облученных родителей по мере старения наблюдаемой когорты.

Выводы. Когорты потомков облученных родителей являются «закрытыми», поэтому на них возможно проводить многоплановый эпидемиологический анализ. Анализ динамики онкологической заболеваемости указал на рост ЗНО как среди потомков работников ПО «Маяк», так и в группе сравнения, что, скорее всего, объясняется увеличением возраста исследуемых когорт. Статистически значимое превышение уровня заболеваемости ЗНО среди потомков облученных родителей является неоднородным, что требует осторожной интерпретации. На данном этапе исследования не представляется возможным однозначно установить зависимость превышения показателей ЗНО от радиационного фактора, что предполагает дальнейший эпидемиологический мониторинг и последующий расчет оценок канцерогенного риска.

Ключевые слова: потомки облученных родителей; преконцептивное облучение; внутриутробное облучение; профессиональное облучение; ПО «Маяк»; онкологическая заболеваемость; злокачественные новообразования

Для цитирования: Кабирова Н.Р., Царева Ю.В., Соснина С.Ф., Окatenко П.В. Последствия профессионального облучения родителей: эпидемиологический анализ динамики онкологической заболеваемости потомков. *Экстремальная биомедицина*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-556>

Финансирование. Работа выполнена в рамках прикладной научно-исследовательской работы «Техногенное облучение и его отдаленные медицинские последствия» (шифр «Последствия-25») на основании Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 гг. и на период до 2035 г.».

Соответствие принципам этики. Не требовалось одобрение биоэтического комитета, поскольку исследование выполнено на основе обезличенных архивных материалов.

© Н.Р. Кабирова, Ю.В. Царева, С.Ф. Соснина, П.В. Окatenко, 2026

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование инструментов ИИ. Авторы заявляют, что при подготовке рукописи не использовались инструменты искусственного интеллекта.

✉ Царева Юлия Вячеславовна ulichru2017@yandex.ru

Статья поступила: 04.08.2026 **После доработки:** 11.09.2026 **Принята к публикации:** 24.09.2026 **Online first:** 15.10.2026

EFFECTS OF PARENTAL OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE ON OFFSPRING: AN EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF CANCER INCIDENCE TRENDS

Nailya R. Kabirova, Yulia V. Tsareva✉, Svetlana F. Sosnina, Pavel V. Okatenko

Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics, Ozersk, Russia

Introduction. For many years, the Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics has been analyzing cancer incidence and mortality among Mayak Production Association (Mayak PA) employees and nearby residents. The cohort of Mayak workers' offspring represents a unique research resource for developing measures to mitigate potential adverse health effects of industrial facilities and improve medical care quality. This is achieved by analyzing the consequences of preconceptional and *in utero* radiation exposure, with a particular focus on malignancy risk. Previous long-term studies on cancer incidence dynamics among preconceptionally and *in utero* exposed populations were conducted on smaller sample sizes.

Objective. To analyze cancer incidence trends over five-year periods from 1949 to 2020 among the offspring of Mayak PA employees who were exposed to occupational radiation either preconceptionally or during pregnancy.

Materials and methods. This retrospective cohort study was based on data from the following sources: Mayak PA Worker Medical and Dosimetry Registry; Ozersk Population Registry (individuals exposed to man-made radiation during childhood due to Mayak PA operations); Ozersk Pediatric Health Registry; Ozersk Cancer Registry; Mayak Worker Dosimetry System — 2013. The analysis included 35 465 individuals, comprising 14 593 offspring of Mayak PA employees who had been exposed to occupational radiation preconceptionally and/or during pregnancy. The control group consisted of 20 872 individuals whose parents had no history of occupational or environmental radiation exposure. In both cohorts, offspring were born between 1949 and 1988 in the closed city of Ozersk, located near the Mayak facility. The follow-up period spanned 72 years. Comparison of incidence rates was performed using the *F*-test, with statistical significance set at $p < 0.05$. The average annual percent change (AAPC) in cancer incidence was calculated; trend direction was evaluated by computing a moving average.

Results. Among the offspring of exposed fathers, the cancer incidence rate at the end of follow-up was 28.3 cases per 100 000 person-years, with an AAPC in cancer incidence of 19.8%, which exceeds the control group value of 15.0%. Statistically significant differences compared with the control group were identified for male offspring born between 1974 and 1988 during the period from 2001 to 2005 (F -test = 5.90; $p = 0.015$). The absolute increase in cancer incidence and the rise in incidence rates among the offspring of exposed fathers are primarily attributed to changes in the age structure of the cohort under study. In the maternal exposure group, the 1949–1953 birth cohort exhibited a significant excess in cancer incidence relative to the control group in 2001–2005 (F -test = 5.62; $p = 0.018$). A statistically significant excess was also noted for the 1954–1958 birth cohort during the 1996–2000 follow-up interval (F -test = 3.98; $p = 0.046$). Comparison of cancer incidence among the offspring of occupationally exposed fathers versus mothers revealed a significant excess among offspring born between 1964 and 1968 to exposed fathers during the follow-up intervals prior to 1985 (F -test = 9.26; $p = 0.02$) and from 1996 to 2000 (F -test = 5.24; $p = 0.022$). Periods were identified in 2001–2005 and 2011–2015 during which cancer incidence among female offspring in the maternal exposure group was significantly higher than that in the paternal exposure group (F -test = 5.96; $p = 0.015$ and F -test = 5.89; $p = 0.015$, respectively). Analysis of the moving average revealed a progressive increase in cancer incidence levels among the offspring of exposed parents as the observed cohort aged.

Conclusions. The cohorts of offspring from exposed parents are “closed,” which enables a comprehensive epidemiological analysis. Analysis of cancer incidence trends revealed an increase in malignant neoplasms among both the offspring of Mayak PA workers and the control group, a trend most likely attributable to the advancing age of the study cohorts. The statistically significant excess in cancer incidence among the offspring of exposed parents is heterogeneous, which necessitates cautious interpretation. At this stage of the study, these elevated cancer rates cannot be unequivocally linked to radiation exposure, implying the need for further epidemiological monitoring and subsequent calculation of radiation-induced carcinogenic risk estimates.

Keywords: offspring of exposed parents; preconception exposure; *in utero* exposure; occupational exposure; Mayak Production Association; cancer incidence; malignant neoplasms

For citation: Kabirova N.R., Tsareva Yu.V., Sosnina S.F., Okatenko P.V. Effects of parental occupational radiation exposure on offspring: An epidemiological study of cancer incidence trends. *Extreme Medicine*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-556>

Funding. This work was carried out within the framework of the applied research project “Technogenic Exposure and its Long-Term Medical Consequences” (code name “Consequences-25”), funded under the Federal Target Program “Ensuring Nuclear and Radiation Safety for 2016–2020 and up to 2035.”

Compliance with ethical principles. Approval by the bioethics committee was not required, as the study was conducted using de-identified archival data.

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

AI tools use. The authors declare no AI tools were used in the preparation of this article.

✉ Yulia V. Tsareva ulichru2017@yandex.ru

Received: 4 Aug. 2026 **Revised:** 11 Sep. 2026 **Accepted:** 24 Sep. 2026 **Online first:** 15 Oct. 2026

ВВЕДЕНИЕ

Заболеваемость злокачественными новообразованиями (ЗНО) представляет значительную проблему для здравоохранения всего мира. Согласно информации Международного агентства по изучению рака, в 2022 г. в мире выявлено около 20 млн новых случаев злокачественных опухолей [1, 2]. Аналитика Министерства здравоохранения РФ показывает, что начиная с 2015 г. в России ежегодно регистрируется более 550 тыс. новых случаев злокачественных новообразований различной локализации, при этом фиксируется постоянное снижение общей численности населения¹. Официальная статистика подтверждает, что злокачественные новообразования занимают второе место в общей структуре смертности от всех заболеваний. По данным Федерального ракового регистра, в специализированных онкологических учреждениях Российской Федерации состоят на учете 35,3% людей трудоспособного возраста².

Распространенность ЗНО среди населения напрямую связана с возрастом: наибольшее число опухолей диагностируются в возрастных группах 60 лет и старше³. Динамика роста онкологической заболеваемости в различных возрастных группах населения России весьма неоднородна. Рост заболеваемости ЗНО обусловлен высокой распространенностью факторов риска, ранней диагностикой ЗНО, а также увеличением доли людей старшего возраста в популяции⁴ [3–5].

Ионизирующее излучение включено в перечень факторов, признанных канцерогенными для человека [6–9]. Согласно основным направлениям государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, охрана здоровья персонала и населения, проживающего вблизи радиационно опасных объектов, входит в число приоритетных задач государства⁵. Мониторинг заболеваемости ЗНО имеет важное значение для объективной оценки безопасности проживания вблизи предприятий атомной промышленности и энергетики, а также для разработки мероприятий по минимизации возможного негативного воздействия промышленных объектов и повышению качества медицинского обеспечения населения.

На современном этапе большой интерес вызывает изучение онкологической заболеваемости среди потомков работников объектов атомной индустрии. Когорта потомков работников ПО «Маяк» представляет особую ценность для подобных исследований благодаря ряду

уникальных характеристик: длительному периоду наблюдения, верифицированным сведениям о случаях ЗНО, наличию измеренных доз производственного облучения родителей, высокому удельному весу (количеству) матерей-работниц предприятия ядерного цикла, что позволяет проводить многоплановый эпидемиологический анализ. На протяжении ряда лет в Южно-Уральском федеральном научно-клиническом центре медицинской биофизики проводится комплексное исследование здоровья населения и профессиональных работников ПО «Маяк», связанных с воздействием радиационного фактора [10], что может служить основой для разработки современной системы здоровьесбережения потомков персонала объектов использования атомной энергии и населения, проживающего в зоне влияния подобных предприятий.

Таким образом, когорты потомков облученных родителей являются одними из немногих когорт, на основе которых возможно оценить количественную роль профессионального прекоцептивного и внутриутробного облучения в риске заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований. Ранее анализ развития онкологической заболеваемости потомков работников ПО «Маяк» в динамике выполнялся на меньших по численности выборках.

Цель работы — анализ динамики уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями по пятилетним периодам с 1949 по 2020 г. среди потомков работников ПО «Маяк», подвергавшихся прекоцептивному профессиональному облучению и профессиональному радиационному воздействию во время беременности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективное когортное исследование проведено на основе следующих источников информации:

- Медико-дозиметрический регистр персонала ФГУП «Производственное объединение «Маяк» (Регистр ПО «Маяк»)⁶;
- Регистр населения г. Озерска, подвергавшегося в детском возрасте техногенному воздействию за счет деятельности первого атомного предприятия России ПО «Маяк» (Детский регистр г. Озерска)⁷;
- Регистр здоровья детского населения г. Озерска⁸;
- Канцер-регистр населения г. Озерска⁹;
- Дозиметрическая система работников ПО «Маяк» 2013 [11].

¹ Здравоохранение России. Статистический сборник. М.: Росстат; 2025.

² Каприн АД, Старинский ВВ, Шахзадова АО, ред. Состояние онкологической помощи населению России в 2024 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2025.

³ Каприн АД, Старинский ВВ, Шахзадова АО, Золотарева НЮ, ред. Злокачественные новообразования в России в 2024 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2025.

⁴ Каприн АД, Старинский ВВ, Петровой ГВ, ред. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2019.

⁵ Указ Президента РФ от 13.10.2018 № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».

⁶ Кошурникова НА, Сокольников МЭ, Окотенко ПВ, Груздева ЕА, Кабирова НР, Царева ЮВ. Медико-дозиметрический регистр персонала ФГУП «Производственное объединение «Маяк» (краткое наименование: Регистр персонала ПО «Маяк»). Свидетельство о регистрации базы данных RU 2020620210, 05.02.2020.

⁷ Кабирова НР, Окотенко ПВ, Кошурникова НА, Сокольников МЭ, Груздева ЕА, Царева ЮВ. Регистр населения ЗАТО Озерск, подвергавшегося в детском возрасте техногенному воздействию за счет деятельности первого атомного предприятия России ПО «Маяк» (краткое наименование: Детский регистр г. Озерска). Свидетельство о регистрации базы данных RU 2021621486, 08.07.2021.

⁸ Соснина СФ, Кабирова НР, Окотенко ПВ, Груздева ЕА, Сокольников МЭ, Рогачева СА и др. Регистр здоровья детского населения г. Озерска. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2018620834, 24.04.2018.

⁹ Кошурникова НА, Окотенко ПВ, Фомин ЕП, Сокольников МЭ. Канцер-регистр населения закрытого административно-территориального образования (ЗАТО) г. Озерск Челябинская область. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621208, 08.07.2019.

В перечень критериев выбора потомков (для основных групп и группы сравнения) входили следующие условия: годы рождения потомков — 1949–1988; потомки рождены в г. Озерске — закрытом административно-территориальном образовании (ЗАТО), градообразующим предприятием которого является ПО «Маяк»; один из родителей начал работать на ПО «Маяк» до зачатия ребенка; ребенок рожден живым; годы наблюдения за когортой 1949–2020 гг.

Для анализа влияния прекоцептивного профессионального облучения отцов на заболеваемость ЗНО их потомков из Детского регистра г. Озерска была выбрана информация о детях, отцы которых могли подвергаться внешнему гамма-облучению во время работы на ПО «Маяк» в прекоцептивный период, при этом их матери не работали на ПО «Маяк», не были ликвидаторами последствий аварии 1957 г. на ПО «Маяк» и на Чернобыльской АЭС, а также не являлись членами Уральской когорты аварийно-облученного населения (УКАОН) [12] и не подвергались профессиональному прекоцептивному облучению.

С патогенетической точки зрения эффекты прекоцептивного и внутриутробного облучения невозможно отделить, доступен только статистический анализ с учетом индивидуальных накопленных доз. Поскольку группы прекоцептивно облученных матерей и облученных во время беременности в данном исследовании совпали, динамика показателей онкологической заболеваемости отслежена без разделения по специфике материнского облучения.

Для анализа влияния профессионального прекоцептивного облучения матерей и облучения во время беременности на онкологическую заболеваемость их потомков из Детского регистра г. Озерска была выбрана информация о детях, матери которых могли подвергаться внешнему гамма-облучению во время работы на ПО «Маяк» в прекоцептивный период и во время беременности; при этом имелась информация об отце. Отцы не работали на ПО «Маяк», не были ликвидаторами последствий аварии 1957 г. на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС, не входили в когорту УКАОН и не подвергались профессиональному прекоцептивному облучению.

В группу сравнения вошли люди, чьи родители не работали на ПО «Маяк» до зачатия ребенка, не являлись ликвидаторами последствий аварии 1957 г. на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС, не входили в когорту УКАОН и не могли получить профессиональное облучение, не числясь в штате ПО «Маяк».

В итоге в основную группу потомков облученных отцов включено 13 036 человек, из них 6694 потомка мужского пола (51,4%), 6342 — женского пола (48,6%). В группу потомков облученных матерей вошли 1557 человек, из них 806 потомков мужского пола (51,8%) и 751 — женского (48,2%). Группа сравнения состояла из 20 872 потомков необлученных родителей, из них 10 628 потомков мужского пола (50,9%) и 10 244 — женского пола (49,1%).

Общий период наблюдения за когортой потомков составил 72 года (1.01.1949–31.12.2020). Началом наблюдения считалась дата рождения, окончанием — дата события, произошедшего первым: дата впервые установленного диагноза ЗНО, дата выезда из города, дата последнего известия, дата смерти, дата конца наблюдения за когортой. Жизненный статус по состоянию на 31.12.2020 известен для 95,8% когорты.

Распределение потомков работников ПО «Маяк» по году рождения и периоду наблюдения представлено на рисунке 1. Отмечено, что с увеличением периода наблюдения количество потомков различных годов рождения плавно уменьшается. Аналогичная картина количественного распределения по периодам наблюдения получена для потомков необлученных родителей мужского и женского пола изучаемых когорт, что свидетельствует об их однородности.

Средний возраст изучаемого контингента по 14 временным периодам наблюдения возрастал и практически не различался как среди лиц мужского и женского пола, так и среди обоих полов вместе потомков облученных и необлученных родителей (рис. 2), то есть происходило естественное взросление лиц в изучаемых когортах. К концу последнего периода наблюдения средний возраст потомков 1949–1953 гг. р. достиг 69 лет, 1954–1958 гг. р. — 64 года, 1959–1963 гг. р. — 59 лет, 1964–1968 гг. р. — 54 года, 1969–1973 гг. р. — 49 лет и 1974–1988 гг. р. — 39 лет.

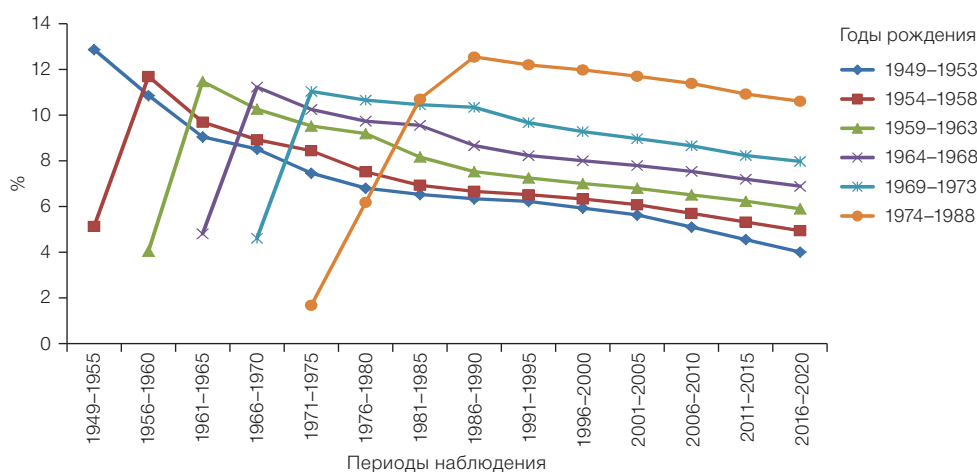


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 1. Распределение потомков работников ПО «Маяк» обоих полов в зависимости от года рождения и периода наблюдения

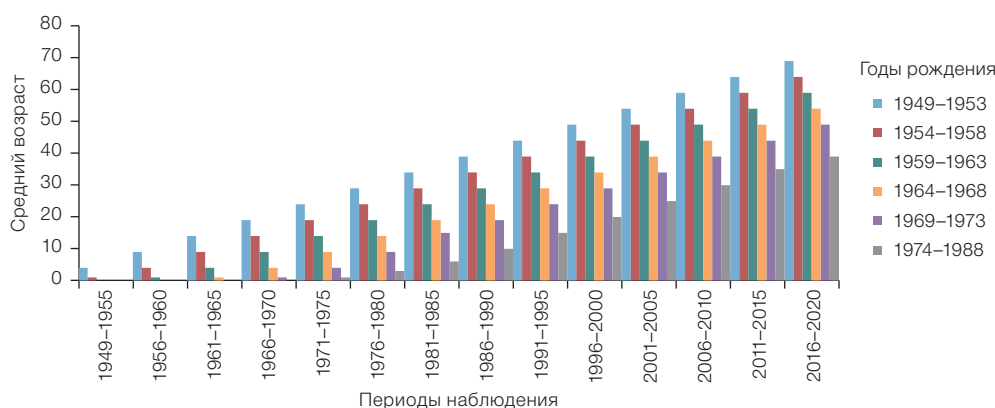


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 2. Средний возраст потомков работников ПО «Маяк» в зависимости от года рождения и периода наблюдения

Средняя годовая доза внешнего гамма-излучения, зарегистрированная службой радиационной безопасности ПО «Маяк» у персонала, в разные периоды существенно различалась: наиболее неблагоприятным был период 1948–1953 гг., с 1974 г. индивидуальные годовые дозы ни у одного работника не превышали 0,05 Гр [13]. Средняя доза внешнего гамма-облучения, накопленная отцами к моменту зачатия ребенка, составила 267,7 мГр. Диапазон прекоцептивных доз облучения отцов колебался в широких пределах от 0,01 до 5621,7 мГр.

Диапазон доз антенатального облучения составлял 0,003–916,1 мГр, со средним значением 58,6 мГр. При этом треть группы потомков родились от матерей, которые входили в когорту работников ПО «Маяк», но в период до зачатия ребенка у них не были зафиксированы дозы профессионального облучения (так называемая «нулевая» доза). Дозу, превышающую 500 мГр, получили более 16% потомков [10].

Показатели заболеваемости ЗНО вычислены как отношение числа заболевших ЗНО в пересчете на 10^5 человеко-лет наблюдения (интенсивные коэффициенты заболеваемости)¹⁰. Стандартизация показателей онкологической заболеваемости проведена по полу и возрасту потомков.

Информация о случаях ЗНО извлечена из Канцер-регистра г. Озерска, охватывающего все случаи ЗНО, установленные в ЗАТО г. Озерск начиная с 1948 г.; из них 86% случаев ЗНО имеют морфологическую верификацию. Учитывались впервые установленные диагнозы ЗНО (коды Международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) C00–C97), в анализ включены все локализации ЗНО. Первично-множественные злокачественные опухоли, согласно МКБ-10, кодировались общей рубрикой C97 — «Злокачественные новообразования самостоятельных (первичных) множественных локализаций» [14].

Статистический анализ выполнен с использованием методов непараметрической статистики: сравнение частот проведено с помощью критерия Фишера¹¹. Различия считали статистически значимыми

при $p < 0,05$. Выполнен сравнительный анализ в группах по полу, группам родительского облучения, когортам рождения и календарным пятилетиям. Направление тренда оценено путем вычисления скользящей средней, для избежания эффекта множественных сравнений уровень считали статистически значимым при $p < 0,01$.

На примере группы потомков облученных отцов — работников ПО «Маяк» осуществлена оценка количественной тенденции динамики заболеваемости путем расчета среднего темпа прироста (снижения)¹². Результаты исследования представлены отдельно по потомкам облученных на производстве отцов и матерей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями среди потомков облученных отцов

За все время наблюдения среди потомков облученных отцов зарегистрировано 444 впервые в жизни установленных диагноза ЗНО; среди потомков группы сравнения — 559 диагнозов ЗНО.

Результаты анализа среднего возраста потомков, у которых диагностирован рак, представлены на рисунке 3. Показано увеличение возраста заболевших ЗНО в обеих когортах с увеличением периода наблюдения. Средний возраст потомков с диагнозом «солидная опухоль» также возрастал от периода к периоду и к концу наблюдения составил 56 лет как среди потомков облученных отцов, так и в группе сравнения. Средний возраст потомков основной когорты с диагнозом «гемолимфобластозы» практически в каждом периоде наблюдения превышал возраст потомков группы сравнения, к концу наблюдения сравнялся и составил 46 лет (рис. 3).

Анализ динамики распределения случаев заболевания ЗНО среди потомков облученных отцов и необлученных родителей по периодам наблюдения показал, что доля лиц с диагнозом ЗНО как в основной, так

¹⁰ Савилов ЕД, Астафьев ВА, Жданова СН, Заруднев ЕА. Эпидемиологический анализ. Методы статистической обработки материала. Новосибирск: «Наука центр»; 2011.

Мерабишвили ВМ. Онкологическая статистика (традиционные методы, новые информационные технологии): Руководство для врачей. Часть I. СПб.: «КОСТА»; 2015.

¹¹ Zar JH. *Biostatistical Analysis*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall; 1999.

¹² Слободенюк АВ, Косова АА, Ан РН. Эпидемиологический анализ. Екатеринбург: ГБОУ ВПО УГМУ Минздрава России; 2015.

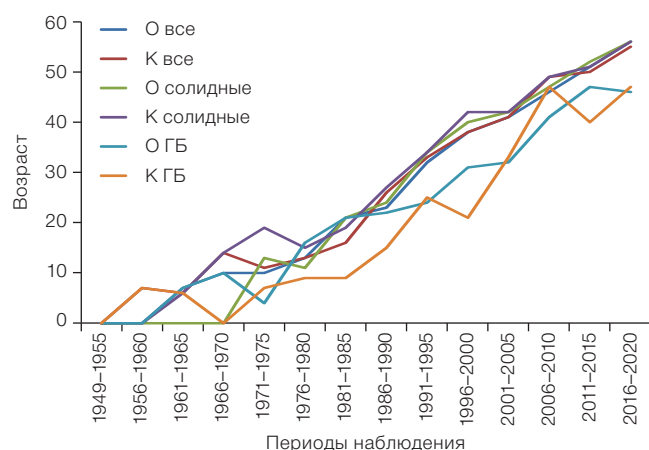


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 3. Средний возраст потомков обоих полов работников ПО «Маяк» со злокачественными новообразованиями (ЗНО) в зависимости от периода наблюдения. ЗНО всех локализаций: О все — основная группа, К все — группа сравнения; солидные опухоли: О солидные — основная группа, К солидные — группа сравнения; гемолимфобластозы: О ГБ — основная группа, К ГБ — группа сравнения

и в группе сравнения росла по мере увеличения периода наблюдения (от 0,5 до 31,5% к концу наблюдения и от 0,2 до 29,7% соответственно), что можно объяснить увеличением возраста и улучшением диагностики ЗНО в современных условиях. Для солидных опухолей наблюдался устойчивый рост удельного веса данных ЗНО с увеличением года наблюдения как в основной группе, так и в группе сравнения (от 1,0 до 33,8% к концу наблюдения и от 0,2 до 30,4% соответственно).

Среди потомков мужского и женского пола в обеих группах также прослеживался рост доли заболеваний ЗНО всех локализаций и солидных опухолей с увеличением периода наблюдения: для потомков мужского пола доля заболеваний ЗНО в целом возросла с 0,5% в период 1961–1965 гг. до 30,1% к концу наблюдения (2016–2020 гг.), доля солидных опухолей — с 1,2% в период 1971–1975 гг. до 33,5% к концу наблюдения (2016–2020 гг.). У потомков женского пола фиксировалась аналогичная картина: рост доли заболеваний ЗНО всех локализаций и солидных опухолей от 0,4% (1960–1965 гг.) до 32,8% к концу наблюдения и от 0,9% (1971–1975 гг.) до 33,9% соответственно. С течением времени доля ЗНО лимфатической и кроветворной тканей в исследуемых группах имела разнонаправленную динамику как для обоих полов вместе, так и для лиц мужского и женского пола отдельно. Скорее всего, это объясняется тем, что число случаев заболевания гемолимфобластомами невелико в каждом временном периоде наблюдения.

Рост общих показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями в отдельные периоды исследования обусловлен не только старением изучаемых групп населения, но и совершенствованием методов выявления онкопатологий.

Интенсивные показатели заболеваемости ЗНО среди потомков основной группы и группы сравнения по периодам наблюдения на 10^5 человеко-лет

наблюдения, а также средний темп прироста заболеваемости представлены в таблице 1. Наибольшая заболеваемость ЗНО как в когорте потомков облученных отцов, так и в группе сравнения отмечена в заключительный период наблюдения 2016–2020 гг. — 28,3 и 26,2 случая на 10^5 человеко-лет наблюдения. Динамика заболеваемости ЗНО потомков обоих полов основной группы характеризуется разнонаправленными низкими показателями в первые периоды наблюдения до 1980 г. (3,0 случая на 10^5 человеко-лет — 1966–1970 гг., 5,9 случая на 10^5 человеко-лет — 1971–1975 гг.). В первые 10 лет наблюдения (1949–1960 гг.) случаев заболеваемости ЗНО среди потомков облученных отцов зарегистрировано не было. С 1976–1980 гг. наблюдалось практически равномерное повышение коэффициента заболеваемости с минимального значения 4,3 случая на 10^5 человеко-лет до максимального значения в 2016–2020 гг. — 28,3 случая на 10^5 человеко-лет. Динамика заболеваемости ЗНО в группе сравнения в первые годы наблюдения до 1970 г. также носила разнонаправленный характер, затем заболеваемость возросла с минимального значения 1,1 случая на 10^5 человеко-лет (1966–1970 гг.) до 8,5 случая на 10^5 человеко-лет (1986–1990 гг.). В 1991–1995 гг. регистрировалось снижение показателя до 7,8 случая на 10^5 человеко-лет с последующим ростом до 11,2 случая на 10^5 человеко-лет (1996–2000 гг.) и далее установлен подъем до максимального значения 26,2 случая на 10^5 человеко-лет к концу периода наблюдения (2016–2020 гг.).

В изучаемых когортах выявлена выраженная тенденция прироста онкозаболеваемости (табл. 1): средний темп прироста среди потомков облученных отцов составил 19,8%, что выше, чем в группе сравнения (15,0%), но эти различия не достигли статистической значимости. Более высокий темп накопления заболеваемости ЗНО в когорте потомков облученных отцов может быть обусловлен различными нерадиационными факторами, но может свидетельствовать и о влиянии факта преконцептивного облучения отцов, для подтверждения чего необходимо продолжить исследование с расчетом коэффициентов радиогенного риска.

При анализе динамики заболеваемости ЗНО в основной группе среди потомков мужского пола установлен волнообразный характер показателей онкологической заболеваемости по периодам наблюдения. Так, с 1961 г. (до 1961 г. не зарегистрировано ЗНО среди потомков облученных отцов) наблюдался подъем с 5,0 случая на 10^5 человеко-лет до 7,7 случая на 10^5 человеко-лет (1971–1975 гг.), затем снижение до минимального значения 2,8 случая на 10^5 человеко-лет (1976–1980 гг.), вновь увеличение до 10,0 случая на 10^5 человеко-лет (1986–1990 гг.) и в 1991–1995 гг. последующий спад заболеваемости до 4,1 случая на 10^5 человеко-лет, после которого отмечался практически равномерный рост до максимального значения 24,9 случая на 10^5 человеко-лет к концу наблюдения.

Среди потомков мужского пола от необлученных родителей динамика показателей заболеваемости ЗНО по периодам наблюдения также носила циклический характер: со снижением до минимального значения 1,6 случая на 10^5 человеко-лет (1971–1975 гг.) и ростом показателей заболеваемости после 2005 г. до наибольшего значения 23,3 случая на 10^5 человеко-лет к концу

Таблица 1. Заболеваемость злокачественными новообразованиями в динамике среди потомков-работников ПО «Маяк»

Период наблюдения, гг.	Пол								
	Мужчины			Женщины			Оба пола		
	абс.	чел.-лет	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	чел.-лет	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	чел.-лет	на 10 ⁵ чел.-лет
Основная группа									
1949–1955	0	3076	0,0	0	2855	0,0	0	5931	0,0
1956–1960	0	9344	0,0	0	8837	0,0	0	18 181	0,0
1961–1965	1	19 973	5,0	1	19 134	5,2	2	39 107	5,1
1966–1970	2	34 610	5,8	0	33 118	0,0	2	67 728	3,0
1971–1975	4	52 171	7,7	2	49 734	4,0	6	101 905	5,9
1976–1980	2	72 346	2,8	4	68 774	5,8	6	141 119	4,3
1981–1985	4	95 289	4,2	4	90 046	4,4	8	185 335	4,3
1986–1990	12	120 454	10,0	2	113 261	1,8	14	233 715	6,0
1991–1995	6	145 210	4,1	13	136 176	9,5	19	281 386	6,8
1996–2000	13	169 142	7,7	25	158 560	15,8	38	327 702	11,6
2001–2005	26	192 047	13,5*	20	180 372	11,1	46	372 420	12,4
2006–2010	34	213 713	15,9	33	201 485	16,4	67	415 198	16,1
2011–2015	42	234 072	17,9	54	221 833	24,3	96	455 906	21,1
2016–2020	63	252 874	24,9	77	241 242	31,9	140	494 116	28,3
Средний темп прироста, %	17,6			21,9			19,8		
Группа сравнения									
1949–1955	0	8028	0,0	0	8081	0,0	0	16 108	0,0
1956–1960	1	18 940	5,3	1	19 289	5,2	2	38 229	5,2
1961–1965	3	31 537	9,5	1	32 061	3,1	4	63 598	6,3
1966–1970	1	45 217	2,2	0	45 900	0,0	1	91 117	1,1
1971–1975	1	61 764	1,6	2	62 404	3,2	3	124 167	2,4
1976–1980	4	82 785	4,8	3	82 964	3,6	7	165 748	4,2
1981–1985	3	109 343	2,7	11	108 605	10,1	14	217 948	6,4
1986–1990	10	142 177	7,0	14	140 077	10,0	24	282 254	8,5
1991–1995	11	175 220	6,3	16	171 921	9,3	27	347 141	7,8
1996–2000	19	206 938	9,2	27	202 921	13,3	46	409 859	11,2
2001–2005	15	237 290	6,3	33	232 984	14,2	48	470 274	10,2
2006–2010	37	265 927	13,9	56	262 048	21,4	93	527 975	17,6
2011–2015	66	292 654	22,6	58	290 042	20,0	124	582 696	21,3
2016–2020	74	317 149	23,3	92	316 606	29,1	166	633 755	26,2
Средний темп прироста, %	16,3			18,8			15,0		

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. * статистически значимые различия с группой сравнения.

наблюдения (2020 г.). Средний темп прироста заболеваемости ЗНО среди потомков мужского пола от облученных отцов составил 17,6%, что выше, чем в группе сравнения (16,3%), и свидетельствует о выраженной тенденции прироста заболеваемости в обеих группах. Статистически значимые показатели заболеваемости ЗНО выявлены среди потомков мужского пола от облученных отцов в период наблюдения 2001–2005 гг. по сравнению с группой сравнения (F -тест = 5,76; $p = 0,016$).

Динамика показателей заболеваемости ЗНО среди потомков женского пола в основной группе была аналогична динамике заболеваемости ЗНО среди потомков мужского пола и имела разнонаправленный характер: в трех периодах наблюдения отсутствовали случаи заболевания ЗНО среди лиц женского пола (1949–1955, 1956–1960, 1966–1970 гг.), снижение отмечено в 1971–1975 гг. и в 1986–1990 гг., когда зафиксировано минимальное значение показателя 1,8 случая на 10^5 человеко-лет, после которого установлен подъем до максимального значения 31,9 случая на 10^5 человеко-лет к концу периода наблюдения. В группе сравнения среди потомков женского пола динамика показателей заболеваемости ЗНО характеризовалась практически постоянным подъемом: от минимального значения 3,1 случая на 10^5 человеко-лет в 1961–1965 гг. до наибольшего значения 29,1 случая на 10^5 человеко-лет в последнем периоде наблюдения (2016–2020 гг.). Надо отметить, что в 1949–1955 и в 1966–1970 гг. среди потомков необлученных родителей женского пола опухоли не зарегистрированы. Средний темп прироста онкозаболеваемости среди потомков женского пола от облученных отцов составил 21,9%, что также выше, чем в контроле — 18,8%. Статистически значимых различий между показателями заболеваемости ЗНО потомков женского пола в обеих группах не выявлено.

Проведен анализ динамики показателей заболеваемости ЗНО среди потомков облученных отцов и необлученных родителей в зависимости от года рождения по пятилетним интервалам наблюдения для обоих полов и лиц мужского и женского пола отдельно. Заболеваемость ЗНО среди потомков 1949–1953 гг. р. в основной группе для обоих полов за анализируемый период составила 196,7 случая на 10^5 человеко-лет, что выше показателя заболеваемости контроля — 176,4 случая на 10^5 человеко-лет. Динамика заболеваемости ЗНО среди потомков облученных отцов характеризовалась относительно равномерным повышением с минимального значения 6,0 случая на 10^5 человеко-лет в 1986–1990 гг. до максимального значения 56,8 случая на 10^5 человеко-лет в последнем периоде (2016–2020 гг.). Заболеваемость ЗНО в группе сравнения аналогично динамике заболеваемости в основной группе имела тенденцию к росту: наблюдался относительно стабильный уровень 12,5 случая на 10^5 человеко-лет в 1986–1990 гг. и 11,4 случая на 10^5 человеко-лет в 1991–1995 гг., затем произошло резкое повышение заболеваемости до 25,9 случая на 10^5 человеко-лет в период 1996–2000 гг. с последующим снижением показателя до 16,6 случая на 10^5 человеко-лет и дальнейшим постепенным повышением до наибольшего значения 47,0 случая на 10^5 человеко-лет к концу наблюдения.

Уровни онкологической заболеваемости в основной группе среди потомков обоих полов 1949–1953, 1954–1958 и 1964–1968 гг. р. практически по всем периодам наблюдения превышали таковые в контроле, но это превышение было статистически незначимым.

Характер динамики онкозаболеваемости потомков разных годов рождения в основной группе практически повторялся, лишь показатели среди потомков ранних годов рождения (старших возрастных групп) имели более высокие значения, но это превышение не было статистически значимым. Наблюдался рост показателей от минимального значения во втором временном периоде к максимальному значению к концу периода наблюдения, что объясняется естественным старением изучаемых групп.

Выявлена тенденция к росту заболеваемости ЗНО к концу периода наблюдения в когорте потомков мужского пола от облученных отцов вне зависимости от года рождения (рис. 4). Динамика заболеваемости ЗНО потомков мужского пола в группе сравнения повторяет таковую в основной группе и характеризуется повышением заболеваемости от наименьших показателей в периоде 1986–1990 гг. до наибольших значений к 2016–2020 гг. Таким образом, заболеваемость среди потомков мужского пола в обеих группах существенно увеличивалась к концу периода наблюдения, что обусловлено увеличением возраста изучаемого контингента.

Установлены пики повышения заболеваемости в постперестроечный период 1996–2000 гг. для потомков практически всех годов рождения как в основной группе, так и в группе сравнения, что, вероятно, связано с улучшением диагностики, применением магнитно-резонансной и компьютерной томографии, то есть с более ранним и полным выявлением рака [15], в отличие от периода «перестройки», когда был не исключен недоучет случаев ЗНО. Статистически значимые показатели заболеваемости ЗНО по сравнению с контролем установлены для потомков мужского пола 1974–1988 годов рождения в период 2001–2005 гг. (F -тест = 5,90; $p = 0,015$).

Тенденция динамики заболеваемости ЗНО среди потомков женского пола аналогична динамике заболеваемости потомков мужского пола и характеризуется относительно равномерным повышением от минимального значения в 1986–1990 гг. до максимального значения в 2016–2020 гг. для потомков всех годов рождения. Установлены пики повышения заболеваемости в период 1996–2000 гг., когда повысилась доступность медицинской помощи и были улучшены методы диагностики рака. Статистически значимых различий с группой сравнения среди потомков женского пола не отмечено.

Результаты анализа абсолютного прироста/убыли заболеваемости ЗНО и темпов прироста/убыли показали чередование лет с приростом и убылью опухолевой заболеваемости в изучаемых группах. В частности, в когорте потомков облученных отцов с 2001–2005 гг. наблюдалось стабильное ускорение прироста от 0,8 до 7,2. Темп прироста заболеваемости ЗНО в основной когорте зафиксирован с 1991–1995 гг., максимальный прирост заболеваемости отмечен в 1996–2000 гг. — 70,6%, а в группе сравнения — в 2006–2010 гг. — 72,5%, что, возможно, свидетельствует о более раннем возникновении опухолей среди потомков облученных отцов. В контроле в 1991–1995 и 2001–2005 гг. установлена

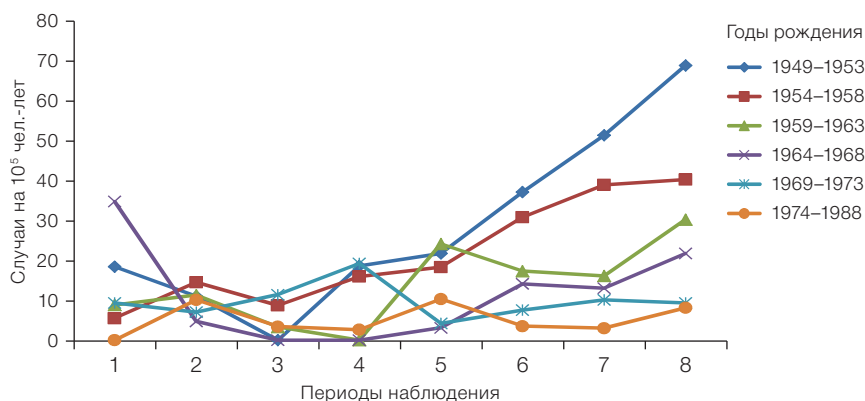


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 4. Динамика показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями потомков мужского пола от облученных отцов на ПО «Маяк». Периоды наблюдения: 1 — 1949–1985; 2 — 1986–1990; 3 — 1991–1995; 4 — 1996–2000; 5 — 2001–2005; 6 — 2006–2010; 7 — 2011–2015; 8 — 2016–2020

убыль заболеваемости ЗНО. Темп прироста/убыли заболеваемости ЗНО среди потомков мужского пола облученных отцов за наблюдаемый период отмечен подъемом практически во всех периодах наблюдения, исключением были периоды 1976–1980 и 1991–1995 гг., когда был установлен спад опухолевой заболеваемости. Среди лиц женского пола основной когорты в различные годы наблюдения темп прироста/убыли онкозаболеваемости имел то отрицательные, то положительные значения, как и аналогичные показатели в группе сравнения. Самый высокий прирост заболеваемости ЗНО зарегистрирован в 1991–1995 гг. — 427,8%. В группе сравнения среди потомков мужского и женского пола отдельно отмечен высокий темп прироста в 2006–2010 гг. — 120,6 и 50,7% соответственно. В результате был зафиксирован более быстрый рост частоты случаев онкологических заболеваний у потомков из основной группы в сравнении с контрольной группой, однако статистически значимых различий между ними обнаружено не было.

Динамика показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями среди потомков облученных матерей

Распределение количества потомков по году рождения ребенка и периодам наблюдения показало, что среди потомков основной группы за весь период наблюдения около 30% человек приходилось на 1949–1953 и 1954–1959 гг. р. В контроле больший вклад вносили дети 1974–1988 гг. р., которые составляли более 50% начиная с 1981 г.

Следует отметить, что после 1981 г. доля потомков необлученных родителей 1969–1973 гг. р. примерно в 1,5 раза превышала долю потомков облученных матерей такого же года рождения. Вклад количества потомков 1974–1988 гг. р. в группе сравнения был выше, чем в основной группе, более чем в 4 раза начиная с 1980-х гг. Возможно, это связано с более строгим контролем приема на работу на предприятие женщин репродуктивного возраста в поздние годы работы ПО «Маяк» и ранним выводом из-под возможного радиационного воздействия беременных женщин.

Всего в группе потомков облученных матерей было диагностировано 83 случая первичных ЗНО:

38 случаев среди мужчин (45,8%) и 45 случаев среди женщин (54,2%). В группе сравнения было зарегистрировано 559 случаев первичных ЗНО, из них 245 случаев среди мужчин (43,8%), 314 случаев среди женщин (56,2%). В то же время, согласно статистике мировой литературы, заболеваемость ЗНО у мужчин, как правило, выше, чем у женщин. Расчетные данные, взятые из 20-ти европейских регистров, указывают на то, что число заболеваний среди мужчин составляет 55%, тогда как среди женщин — 45% [1].

Из общего числа ЗНО в основной группе 77 случаев приходилось на солидные опухоли (92,8%) и 6 случаев — на гемолимфобластозы (7,2%). В контроле 493 случая относились к солидным опухолям (88,2%), 66 случаев — к гемолимфобластозам (11,8%).

Рост ЗНО и в основной группе, и в контроле наблюдался начиная с 1996 г. (рис. 5). Это можно объяснить улучшением диагностики ЗНО и диспансерного учета онкологической заболеваемости, а также увеличением числа лиц старшего возраста в наблюдаемых группах. Средний возраст лиц, включенных в исследование, к 2000 г. достигал 49 лет и выше. ЗНО подвержены все возрастные группы населения, однако частота возникновения многих видов опухолей повышается с возрастом [16]. Средний возраст заболевших в 2010 г. достиг 63,8 года, для мужчин этот показатель равнялся 63,9 года, для женщин — 63,6 года.

В периоды 1996–2000, 2001–2005, 2011–2015 гг. доля ЗНО в группе облученных матерей была несколько выше, чем в группе сравнения. В периоды 1986–1995, 2006–2010, 2016–2020 гг. вклад злокачественных опухолей в группе потомков необлученных родителей превышал аналогичные показатели в основной группе.

Анализ распределения случаев злокачественных новообразований (ЗНО) с учетом пола показал, что тенденция к росту заболеваемости среди потомков обоих полов, наблюдавшаяся в общей выборке, также проявлялась начиная с 1996 г. В интервалах 1996–2000, 2001–2005 и 2011–2015 гг. доля первичных ЗНО среди мужчин основной группы превышала аналогичный показатель для мужчин из группы сравнения. Особенно значительным это различие стало в период 2011–2015 гг., когда частота рака среди дочерей матерей, подвергшихся облучению, оказалась



Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 5. Доля злокачественных новообразований по периодам наблюдения среди потомков облученных матерей на ПО «Маяк» и группы сравнения (оба пола)

в 1,7 раза выше, чем среди женщин из группы сравнения. Однако в следующие две пятилетки (2006–2010 и 2016–2020 гг.) ситуация изменилась: вклад ЗНО среди потомков женского пола в группе сравнения превысил соответствующие показатели у потомков облученных матерей.

Уровень заболеваемости ЗНО среди потомков облученных матерей был выше по сравнению с группой сравнения, за исключением потомков 1969–1973 гг. р., когда показатель заболеваемости в основной группе был в 2 раза ниже, чем в контроле (43,0 против 82,9 случая на 10^5 человеко-лет), однако эти изменения не были статистически значимыми. Среди потомков облученных матерей 1949–1953 гг. р. за период 2001–2005 гг. отмечено статистически значимое превышение уровня заболеваемости ЗНО в 3 раза по сравнению с контролем (51,3 против 16,6 случая на 10^5 человеко-лет; F -тест = 5,62; p = 0,018). Статистически значимое превышение наблюдалось среди потомков 1954–1958 гг. р. в период наблюдения 1996–2000 гг. (47,0 против 14,7 случая на 10^5 человеко-лет; F -тест = 3,98; p = 0,046), что следует интерпретировать с осторожностью и, скорее всего, можно объяснить малым количеством случаев ЗНО в исследуемых группах.

Анализ заболеваемости ЗНО среди потомков мужского пола в группах показал, что всего за исследуемый период заболеваемость ЗНО была статистически незначимо выше среди мужчин основной группы, за исключением потомков 1949–1953 и 1974–1988 гг. р., когда показатели заболеваемости ЗНО в контроле были выше, при этом среди потомков мужского пола 1974–1988 гг. р. от облученных матерей не было диагностировано ни одного случая рака. Следует отметить, что статистически значимые различия были зафиксированы среди мужчин 1949–1953 гг. р., когда уровень заболеваемости ЗНО у потомков мужского пола в основной группе был выше по сравнению с контролем в период 2001–2005 гг. (48,0 против 9,2 случая на 10^5 человеко-лет; F -тест = 4,23; p = 0,04).

Анализ заболеваемости ЗНО среди потомков женского пола в исследуемых группах выявил, что в основном показатели заболеваемости ЗНО в группе потомков

облученных матерей были выше по сравнению с контролем, но данное превышение не было статистически значимым. Исключением стала когорта женщин, родившихся в 1969–1973 гг., где частота онкологических заболеваний у представительниц контрольной группы оказалась достоверно большей по сравнению с потомками основной выборки (F -тест = 4,12; p = 0,042). Эта разница объяснялась полным отсутствием зарегистрированных случаев ЗНО в основной группе.

При рассмотрении показателей по годам рождения и периодам наблюдения обнаружено статистически значимое превышение в группе сравнения среди женщин 1949–1953 гг. р. в период наблюдения 1986–1990 гг. (F -тест = 4,51; p = 0,034) и 1954–1958 гг. р. в период 2006–2010 гг. (F -тест = 6,46; p = 0,011), но при этом среди потомков облученных матерей в этих календарных периодах также не было зарегистрировано ни одного случая ЗНО. Выявленные различия можно объяснить небольшим количеством зафиксированных случаев ЗНО в рассматриваемых группах вследствие относительно молодого возраста потомков в наблюдаемой когорте; в связи с этим необходимо продолжить наблюдение за данными группами для увеличения статистической мощности в дальнейших исследованиях.

Сравнительный анализ динамики показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями среди потомков облученных отцов и матерей

Результаты анализа онкологической заболеваемости среди потомков облученных на производстве отцов и потомков матерей — работниц ПО «Маяк» представлены в таблице 2. Отмечено значимое превышение ЗНО среди потомков 1964–1968 гг. р., родившихся в семьях, где отец был работником ПО «Маяк», в периоды наблюдения до 1985 г. (F -тест = 9,26, p = 0,02) и 1996–2000 гг. (F -тест = 5,24, p = 0,022), что было обусловлено отсутствием зарегистрированных случаев ЗНО среди потомков облученных матерей.

Сравнение уровня онкозаболеваемости по календарным периодам обозначило два периода: 2001–2005 и 2011–2015 гг., в которых среди потомков женского пола от облученных матерей заболеваемость ЗНО была статистически значимо выше, чем среди потомков от облученных на производстве отцов, — 37,5 против 11,1 случая на 10^5 человеко-лет; F -тест = 5,96; p = 0,015 и 56,2 против 24,3 случая на 10^5 человеко-лет; F -тест = 5,89; p = 0,015 соответственно.

У потомков как облученных отцов, так и облученных матерей фиксируется общая тенденция к устойчивому увеличению частоты ЗНО по мере удлинения периода наблюдения за когортами (рис. 6). Данный эффект, вероятно, обусловлен естественным старением исследуемой группы: чем старше потомки работников ПО «Маяк», тем выше вероятность развития ЗНО. Эта гипотеза требует детального изучения в дальнейшей работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ретроспективное эпидемиологическое исследование динамики уровня онкологической заболеваемости по пятилетним периодам с 1949 по 2020 г., проведенное в расширенной когорте потомков работников

Таблица 2. Динамика злокачественных новообразований среди потомков облученных отцов и матерей на ПО «Маяк»

Годы на- блюдения	1949–1985		1986–1990		1991–1995		1996–2000		2001–2005		2006–2010		2011–2015		2016–2020	
	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет	абс.	на 10 ⁵ чел.-лет
Годы рож- дения																
Потомки облученных отцов																
1949–1953	5	16,66	2	6,00	4	10,94	11	27,74	13	30,58	14	31,06	20	42,23	28	56,77
1954–1958	5	13,78	3	7,30	4	8,73	12	23,83	7	12,80	15	25,54	23	36,81	34	51,62
1959–1963	3	6,67	4	7,65	6	10,10	3	4,53	14	19,19	16	20,18	22	25,78	28	30,77
1964–1968	7	21,05*	1	2,47	1	2,10	4	7,36*	2	3,28	11	16,33	14	19,06	21	26,52
1969–1973	2	9,45	1	3,57	3	8,68	7	17,13	1	2,13	4	7,59	9	15,44	12	18,87
1974–1988	2	10,17	3	7,82	1	1,74	1	1,31	9	9,54	7	6,25	8	6,20	17	11,71
Потомки облученных матерей																
1949–1953	10	15,26	9	12,46	9	11,44	22	25,94	15	16,58	33	34,49	37	36,89	49	46,97
1954–1958	9	16,60	6	9,78	8	11,74	11	14,73	15	18,54	26	29,97	26	28,26	34	35,17
1959–1963	1	3,91	1	3,38	2	5,99	1	2,69	3	7,37	12	27,24	17	36,06	19	38,03
1964–1968	0	0,00	1	5,02	2	8,60	0	0,00	2	6,74	6	18,36	5	14,05	7	18,28
1969–1973	2	8,70	2	6,59	2	5,34	4	9,03	4	7,86	8	14,01	12	19,02	23	33,46
1974–1988	9	27,09	5	7,26	4	3,77	8	5,62	9	5,07	8	3,78	27	11,04	34	12,33

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. * статистически значимые различия с группой потомков от облученных матерей.



Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 6. Динамика показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями среди потомков облученных отцов и матерей на ПО «Маяк»

ПО «Маяк», подвергавшихся прекоцептивному профессиональному облучению и профессиональному радиационному воздействию во время беременности, в сравнении с потомками необлученных родителей показало следующие результаты:

- в изучаемых когортах выявлена выраженная тенденция к росту онкозаболеваемости: средний темп прироста среди потомков облученных отцов составил 19,8%, что выше, чем в группе сравнения, — 15,0%;
- статистически значимых различий между показателями заболеваемости ЗНО потомков облученных отцов и необлученных родителей в разных периодах наблюдения не установлено;
- выделен календарный период (2001–2005 гг.), в течение которого регистрировалась более высокая заболеваемость ЗНО потомков мужского пола от облученных отцов, чем потомков из группы сравнения (F -тест = 5,90; p = 0,015). Следует отметить, что данное наблюдение касалось потомков только определенного возраста (1974–1988 гг. р.);
- увеличение темпа прироста заболеваемости ЗНО в группе потомков облученных отцов установлено с третьего периода (1991–1995 гг.), максимальный прирост заболеваемости отмечен в четвертом периоде (1996–2000 гг.) — 70,6%, в группе сравнения максимальный темп прироста фиксировался в более позднем периоде (2006–2010 гг.) — 72,5%;
- среди потомков матерей, подвергшихся прекоцептивному и антенатальному облучению на ПО «Маяк», рост числа ЗНО, как и в группе сравнения, наблюдался начиная с 1996 г.;
- выделены некоторые календарные периоды, когда среди потомков облученных матерей регистрировалось статистически значимое превышение уровня заболеваемости ЗНО по сравнению с контролем:

в период 2001–2005 гг. для потомков 1949–1953 гг. р. (51,3 против 16,6 случая на 10^5 человеко-лет; F -тест = 5,62; p = 0,018); в период 1996–2000 гг. для потомков 1954–1958 гг. р. F -тест = 3,98; p = 0,046.

Важно заметить, что средний возраст наблюдаемого контингента в настоящее время составляет 46 лет. В связи с этим, ввиду естественных причин старения, в дальнейшем можно ожидать повышение онкологической заболеваемости в исследуемых группах. Более высокий темп накопления заболеваемости ЗНО в когорте потомков облученных отцов может настораживать в отношении влияния факта прекоцептивного профессионального облучения отцов, но может зависеть и от других причин (курение, злоупотребление алкоголем, излишнее воздействие ультрафиолетового излучения, некоторые инфекционные заболевания, непосредственно действие ионизирующего излучения при работе самих потомков, ставших персоналом ПО «Маяк»). Для того чтобы подтвердить/исключить предположение, что канцерогенный эффект связан с возможным прекоцептивным профессиональным облучением отцов на ПО «Маяк», необходимо продолжение исследования.

Аналогично результатам анализа динамики заболеваемости ЗНО среди потомков облученных отцов, различия среди потомков облученных и необлученных матерей можно объяснить не только молодым возрастом изучаемых групп и малым количеством случаев ЗНО, но и влиянием множества канцерогенных факторов, среди которых определение роли радиационного воздействия потребует дальнейшего детального мониторинга с проведением оценки радиогенного риска.

Несмотря на существенное расширение когорты потомков по сравнению с предыдущими исследованиями, длительный период наблюдения, тщательное уточнение жизненного статуса наблюдаемых и верификацию исходов в виде ЗНО, данная работа содержит несколько ограничений. Так, основной сложностью ведения указанных регистров является факт миграции населения ЗАТО г. Озерск и трудности установления последующих отклонений в состоянии здоровья. Кроме того, в связи с относительно малым числом случаев ЗНО интерпретацию полученных данных следует проводить с большой осторожностью, учитывая низкую статистическую мощность при анализе некоторых локализаций. Наблюдаемые когорты характеризуются относительно молодым возрастом для реализации эффектов в виде ЗНО, что предполагает дальнейший эпидемиологический мониторинг.

Учитывая многообразие нерадиационных канцерогенных факторов, нельзя однозначно связать полученные отклонения с фактом профессионального радиационного воздействия на родителей. Следующим этапом данного исследования рассматривается проведение расчета коэффициентов радиогенного риска развития ЗНО у потомков в зависимости от дозовых характеристик прекоцептивного/внутриутробного облучения.

Литература / References

1. Аксенова ИА, Попова НВ, Старинский ВВ, Ходакова ОВ, Шахзадова АО. Анализ показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями населения Российской Федерации в разных возрастных группах. *Профилактическая медицина*. 2026;29(8):7–14.

- Aksenova IA, Popova NV, Starinsky VV, Khodakova OV, Shakhzadova AO. Analysis of the cancer incidence in the various age groups populations of the Russian Federation. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2026;29(8):7–14 (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed2026290817>

2. Schmutz A, Chajàs V, Chauvet C, Keefe D, Weiderpass E. The International Agency for Research on Cancer: from global evidence to national action. *The Lancet. Public Health*. 2026;11(7):e468–71.
[https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(26\)00091-5](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(26)00091-5)
3. Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, Siegel RL, Torre LA, Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2018;68(6):394–424.
<https://doi.org/10.3322/caac.21492>
4. Бойцов СА, Деев АД, Шальнова СА. Смертность и факторы риска неинфекционных заболеваний в России: особенности, динамика, прогноз. *Терапевтический архив*. 2017;89(1):5–13.
Boytsov SA, Deev AD, Shalnova SA. Mortality and risk factors for non-communicable diseases in Russia: Specific features, trends, and prognosis. *Therapeutics Archive*. 2017;89(1):5–13 (In Russ.).
<https://doi.org/10.17116/terarkh20178915-13>
5. Мерабишвили ВМ, Румянцев ПО, Юркова ЮП, Артемьева АС, Беляев АМ. Состояние онкологической помощи в России: эпидемиология и выживаемость больных наиболее распространенными и жизнеугрожающими солидными злокачественными новообразованиями. Часть 2 (популяционное исследование на уровне Федерального округа). *Российский онкологический журнал*. 2024;29(2):104–15.
Merabishvili VM, Rumyantsev PO, Yurkova YuP, Artemyeva AS, Belyaev AM. The state of oncological care in Russia: epidemiology and survival of patients with the most common and life-threatening solid malignant neoplasms. Part 2 (population-based study at the federal district level). *Russian Journal of Oncology*. 2024;29(2):104–15 (In Russ.).
EDN: [GVIRBC](#)
6. Pearce N, Blair A, Vineis P, Ahrens W, Andersen A, Anto JM, et al. IARC monographs: 40 years of evaluating carcinogenic hazards to humans. *Environmental Health Perspectives*. 2015;123(6):507–14.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1409149>
7. Ильин ЛА, ред. *Техногенное облучение и безопасность человека*. М.: ИздАТ; 2006.
Ilyin LA, ed. *Technogenic Radiation and Human Safety*. Moscow: IzdAT; 2006 (In Russ.)
8. Рудакова ТИ, Абдрахманова ЗА. Безопасность жизнедеятельности. Ионизирующие излучения. В сборнике: *Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы*. Челябинск: РАНХиГС, Челябинский филиал; 2020.
Rudakova TI, Abdrakhmanova ZA. Life safety. Ionizing radiation. In: *Innovative Technologies in Training Modern Professional Staff: Experience and Problems*. Chelyabinsk: RANEPa; 2020 (In Russ.).
EDN: [EHSSZZ](#)
9. Линге ИИ, Мелихова ЕМ, Братилова АА, Кравцова ОС, Романович ИК, Бушманов АЮ и др. Медицинские радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–2005 гг. *Атомная энергия*. 2026;140(5):246–55.
Linge II, Melikhova EM, Bratilova AA, Kravtsova OS, Romanovich IK, Bushmanov AYU, et al. Medical radiological consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident in 1986–2005. *Atomic Energy*. 2026;140(5):246–55 (In Russ.).
EDN: [OXCNQX](#)
10. Царева ЮВ, Соснина СФ, Окатенко ПВ, Кабилова НР. Когорта потомков работников ПО «Маяк»: характеристика и анализ онкологической заболеваемости. *Экстремальная биомедицина*. 2026.
Tsareva YuV, Sosnina SF, Okatenko PV, Kabirova NR. Cohort of descendants of employees of the Mayak Production Association: characteristics and analysis of oncological morbidity. *Extreme Medicine*. 2026 (In Russ.).
<https://doi.org/10.47183/mes.2026-493>
11. Napier BA. The Mayak Worker Dosimetry System (MWDS-2013): An introduction to the documentation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2017;176(1–2):6–9.
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncx020>
12. Крестинина ЛЮ, Силкин СС, Микрюкова ЛД, Епифанова СБ, Аклеев АВ. Риск заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1956–2017. *Радиационная гигиена*. 2020;13(3):6–17.
Krestinina LYU, Silkin SS, Mikryukova LD, Epifanova SB, Akleyev AV. Solid cancer incidence risk in the Ural cohort of the accidentally exposed population: 1956–2017. *Radiation Hygiene*. 2020;13(3):6–17 (In Russ.).
<https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17>
13. Василенко ЕК. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты. В кн.: Киселев МФ, Романов СА, ред. *Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения проживающего в зоне влияния предприятия*. Челябинск: Челябинский дом печати; 2009.
Vasilenko EK. Dosimetry of external irradiation of employees of the Mayak software: devices, methods, results. In: Kiselev MF, Romanov, eds. *Sources and effects of radiation exposure of employees of the Mayak software and the population living in the zone of influence of the enterprise*. Chelyabinsk: Chelyabinsk Printing House; 2009 (In Russ.).
14. Wu Y, Qu Z, Wu Z, Zhuang J, Wang Y, Wang Z, Chu J, Qi Q, Han S. Multiple primary malignancies and gut microbiome. *BMC Cancer*. 2025;25(1):516.
<https://doi.org/10.1186/s12885-025-13894-7>
15. Заридзе ДГ, Каприн АД, Стилиди ИС. Динамика заболеваемости злокачественными новообразованиями и смертности от них в России. *Вопросы онкологии*. 2018;64(5):578–91.
Zaridze DG, Kaprin AD, Stilidi IS. Trends in cancer incidence and mortality in Russia. *Problems in Oncology*. 2018;64(5):578–91 (In Russ.).
EDN: [YMKCAX](#)
16. Berrington de Gonzalez A, Brayley M, Frost R, Freedman N, Gunter MJ, Jackson I, et al. Trends in cancer incidence in younger and older adults: An international comparative analysis. *Annals in Internal Medicine*. 2025;178(12):1677–87.
<https://doi.org/10.7326/annals-24-02718>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Н.Р. Кабилова — анализ эффектов в когорте потомков облученных отцов, написание текста рукописи; Ю.В. Царева — анализ эффектов в когорте потомков облученных *in utero*, написание текста рукописи; С.Ф. Соснина — анализ эффектов в когорте потомков прекоцептивно облученных матерей, написание текста рукописи; П.В. Окатенко — формирование исследуемых групп, статистическая обработка результатов.

Об авторах:

Кабилова Наиля Равильевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7724-6103>

Царева Юлия Вячеславовна, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5559-4457>

Соснина Светлана Фаридовна, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-0963>

Окатенко Павел Викторович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8260-1808>