

<https://doi.org/10.47183/mes.2026-510>

УДК 539.1.047:613.648.4:614.876



Посвящается нашим великим учителям А.К. Гуськовой, Л.А. Ильину, П.В. Рамзаеву и А.Ф. Цыбу

## МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС (1986–2026)

В.И. Скворцова<sup>1</sup>, А.Д. Каприн<sup>2</sup>, И.К. Романович<sup>3</sup>, И.В. Борисевич<sup>1</sup>, С.А. Иванов<sup>2</sup>, Ю.Д. Удалов<sup>4</sup>, И.А. Берзин<sup>1</sup>, А.А. Аклеев<sup>5,6</sup>, Ю.Р. Ахмадуллина<sup>6,7</sup>, Е.А. Блинова<sup>6,7</sup>, А.А. Братилова<sup>3</sup>, А.Ю. Бушманов<sup>4</sup>, И.А. Галстян<sup>4</sup>, В.К. Иванов<sup>2</sup>, М.В. Кончаловский<sup>4</sup>, О.С. Кравцова<sup>3</sup>, И.С. Кузнецова<sup>6</sup>, М.А. Максюттов<sup>2</sup>, Н.А. Метляева<sup>4</sup>, С.Ф. Соснина<sup>6</sup>, Ю.В. Царева<sup>6</sup>, С.Ю. Чекин<sup>2</sup>, С.М. Шинкарев<sup>4</sup>, О.В. Щербатых<sup>4</sup>, Л.А. Юнанова<sup>4</sup>, А.В. Аклеев<sup>6,7</sup>✉

<sup>1</sup> Федеральное медико-биологическое агентство, Москва, Россия

<sup>2</sup> Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии», Обнинск, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия

<sup>5</sup> Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

<sup>6</sup> Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

<sup>7</sup> Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

В работе представлены результаты сорокалетних наблюдений за состоянием здоровья людей, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Рассмотрены проблемы организации радиационно-гигиенического и медицинского мониторинга после аварии на территории Российской Федерации. Представлены данные по оценке детерминированных эффектов у аварийных работников АЭС, которые подверглись в первые дни после аварии острому внешнему облучению в высоких дозах, включая летальные; методы лечения острой лучевой болезни и ее исходы. Предметом радиобиологического и эпидемиологического рассмотрения в статье также являются отдаленные канцерогенные и нераковые эффекты у ликвидаторов последствий аварии, участвовавших в аварийно-восстановительных работах в 1986–1990 гг., а также у населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, которые подверглись длительному сочетанному (внешнему и внутреннему) радиационному воздействию в широком диапазоне доз. Отдельно рассматриваются последствия аварии для здоровья потомков облученных людей, включая внутриутробно облученных.

**Ключевые слова:** Чернобыльская АЭС; авария; ликвидаторы; население; острая лучевая болезнь; радиационный риск; отдаленные эффекты; биомаркеры

**Для цитирования:** Скворцова В.И., Каприн А.Д., Романович И.К., Борисевич И.В., Иванов С.А., Удалов Ю.Д. и др. Медико-биологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС (1986–2026). *Экстремальная биомедицина*. 2026;28(2):161–177. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-510>

**Финансирование:** работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 гг. и на период до 2035 г.» (ФЦП ЯРБ-2).

**Благодарности:** авторы благодарят помощника генерального директора Гарбузову А.Ю. и руководителя группы международных связей Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства Котову Н.С. за помощь в подготовке статьи.

✉ Аклеев Александр Васильевич [akleyev@urcrm.ru](mailto:akleyev@urcrm.ru)

**Статья поступила:** 15.04.2026 **После доработки:** 20.04.2026 **Принята к публикации:** 21.04.2026 **Online first:** 24.04.2026

*Dedicated to our great teachers: A.K. Gus'kova, L.A. Il'in, P.V. Ramzaev, and A.F. Tsyb*

## MEDICAL AND BIOLOGICAL IMPACTS OF CHERNOBYL NPP ACCIDENT (1986–2026)

Veronika I. Skvortsova<sup>1</sup>, Andrey D. Kaprin<sup>2</sup>, Ivan K. Romanovich<sup>3</sup>, Igor V. Borisevich<sup>1</sup>, Sergey A. Ivanov<sup>2</sup>, Yury D. Udalov<sup>4</sup>, Igor A. Berzin<sup>1</sup>, Andrey A. Akleyev<sup>5,6</sup>, Yulia R. Akhmadullina<sup>6,7</sup>, Evgenia A. Blinova<sup>6,7</sup>, Anzhelika A. Bratilova<sup>3</sup>, Andrey Yu. Bushmanov<sup>4</sup>, Irina A. Galstyan<sup>4</sup>, Viktor K. Ivanov<sup>2</sup>, Mikhail V. Konchalovsky<sup>4</sup>, Olga S. Kravtsova<sup>3</sup>, Irina S. Kuznetsova<sup>6</sup>, Marat A. Maksyutov<sup>2</sup>, Nelya A. Metlyayeva<sup>4</sup>, Svetlana F. Sosnina<sup>6</sup>, Yulia V. Tsareva<sup>6</sup>, Sergey Yu. Chekin<sup>2</sup>, Sergey M. Shinkarev<sup>4</sup>, Olga V. Shcherbatykh<sup>4</sup>, Lubov' A. Yunanova<sup>4</sup>, Alexander V. Akleyev<sup>6,7</sup>✉

<sup>1</sup>Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>2</sup>A. Tsyb Medical Radiological Research Centre — branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russia

<sup>3</sup>Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint-Petersburg, Russia

<sup>4</sup>State Research Center — Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>5</sup>South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

<sup>6</sup>Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics, Ozersk, Russia

<sup>7</sup>Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

The paper presents the results of a 40-year follow-up of the health status of people exposed due to radiation accident at Chernobyl Nuclear Power Plant (NPP). The issues of radiation hygienic and medical monitoring implementation following Chernobyl NPP disaster in the Russian Federation are considered. Findings of the assessment of deterministic effects, including the lethal ones, in Chernobyl NPP personnel who were affected by high-dose acute external exposure in the first days after the accident are discussed together with the treatment modalities of acute radiation syndrome and its outcomes. Another subject of radiobiological and epidemiological study is long-term cancer and non-cancer effects in nuclear disaster clean-up workers who took part in emergency and recovery operations in 1986–1990 and in residents of the radioactively contaminated territories who were affected by long-term combined (external and internal) radiation exposure at a wide dose range. Health effects for the exposed population offspring, including in utero exposed individuals, are considered separately.

**Keywords:** Chernobyl NPP; accident; cleanup workers; population, acute radiation syndrome; radiation risk; long-term effects; biomarkers

**For citation:** Skvortsova V.I., Kaprin A.D., Romanovich I.K., Borisevich I.V., Ivanov S.A., Udalov Yu.D., et al. Medical and biological impacts of Chernobyl NPP accident (1986–2026). *Extreme Medicine*. 2026;28(2):161–177. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-510>

**Funding:** the work was carried out within the framework of the Federal Target Program “Ensuring Nuclear and Radiation Safety for 2016–2020 and for the Period up to 2035” (FTP NRS-2).

**Acknowledgements:** the authors would like to thank A.Yu. Garbuzova, Assistant to the General Director, and N.S. Kotova, Head of the International Relations Group at the South Ural Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics, for their assistance in preparing this article.

✉ Alexander A. Akleyev [akleyev@urcrm.ru](mailto:akleyev@urcrm.ru)

**Received:** 15 Apr. 2026 **Revised:** 20 Apr. 2026 **Accepted:** 20 Apr. 2026 **Online first:** 24 Apr. 2026

## ВВЕДЕНИЕ

Произошедшая 40 лет назад авария на Чернобыльской АЭС стала не только источником самого большого в истории неконтролируемого выброса радиоактивных веществ в окружающую среду, но и самым масштабным проектом по ликвидации ее последствий, в котором приняли участие более 500 тыс. военных и работников различных специальностей и ведомств СССР. После аварии государством были предприняты неординарные меры сначала по ликвидации последствий аварии, а затем и по медико-социальной защите и реабилитации облученных людей. После принятия в 1991 г. Федерального закона № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»<sup>1</sup> ликвидаторам 1986–1990 гг. и их детям, родившимся после аварии, а также жителям радиоактивно загрязненных территорий (РЗТ) было гарантировано оказание бесплатной медицинской помощи и обязательное специальное медицинское наблюдение в течение всей жизни. В соответствии с законом облученные люди получили право

на компенсации за причиненный их здоровью ущерб и льготы за повышенный риск развития неблагоприятных последствий для здоровья.

В рамках ряда государственных и федеральных целевых программ выполнялись научные исследования и медико-гигиенические мероприятия по реабилитации облученных людей и жителей РЗТ, направленные на улучшение здоровья, качества и условий жизни облученных людей.

После аварии специалисты прогнозировали многочисленные и самые разнообразные последствия для здоровья облученных людей. Сорок лет, прошедшие после аварии, позволяют подвести некоторые итоги многолетних медицинских наблюдений за облученными людьми и их потомками и сделать заключение о медико-биологических последствиях этой трагедии.

Результаты медицинского наблюдения за людьми, облученными вследствие аварии, и проведенные исследования представляют собой значительный научный потенциал, который позволяет получить принципиально новое знание о радиационных эффектах у человека и механизмах их развития.

<sup>1</sup> Закон РФ от 15.05.1991 № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».

Анализ медико-биологических эффектов проводился для трех сценариев облучения человека: острому общему внешнему облучению в высоких дозах, которому подверглись аварийные работники на территории Чернобыльской электростанции в ночь 26 апреля 1986 г.; ликвидаторы последствий аварии 1986–1990 гг., подвергшиеся пролонгированному, преимущественно внешнему облучению в диапазоне малых и промежуточных доз; население РЗТ, которое подверглось хроническому сочетанному (внешнему и внутреннему) общему облучению в диапазоне малых доз, тогда как дозы внутреннего облучения щитовидной железы (ЩЖ) в ряде случаев были высокими. Значительный интерес представляло и состояние здоровья потомков людей, облученных в результате чернобыльской аварии.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Медицинский менеджмент и последствия облучения аварийных работников

Наибольшие дозы получили примерно 600 аварийных работников (сотрудники станции и пожарные), которые подверглись острому облучению в высоких дозах, включая летальные, в первые дни после аварии. Преобладающее воздействие было связано с внешним гамма-облучением всего тела при высокой мощности дозы бета-излучения на поверхность кожи, облучение нейтронами и поступление в организм радионуклидов ингаляционным путем было незначительным.

В первые часы после аварии медицинскую помощь пострадавшим оказывал дежурный персонал здравпункта Чернобыльской АЭС и скорой медицинской помощи, а через 12 ч после аварии к работе приступила аварийная радиологическая бригада клиники Института биофизики МЗ СССР\* (далее — ИБФ), которая оценила радиационную обстановку и провела медицинскую сортировку облученных аварийных работников для решения вопроса о необходимости и сроках оказания специализированной медицинской помощи.

После сортировки пострадавших с подозрением на острую лучевую болезнь (ОЛБ) спецрейсами самолетов доставили в клинику ИБФ. За двое суток было госпитализировано 129 облученных человек, из которых у 84 диагностирована ОЛБ средней, тяжелой и крайне тяжелой степени. В клинике цитогенетическими методами была проведена верификация доз облучения [1]. Активность инкорпорированных радионуклидов измеряли с помощью счетчиков излучений человека<sup>2</sup> [2]. Дозы облучения пациентов с ОЛБ от внешнего гамма-излучения во всем теле и красном костном мозге составили 0,8–16 Гр. Дозы на кожу от бета-излучения, оцененные у восьми пациентов с ОЛБ, в 10–30 раз превышали дозы на все тело от внешнего излучения и достигали 400–500 Гр<sup>3</sup>.

Из 134 пациентов, у которых была верифицирована ОЛБ, 28 человек умерли в течение первых четырех

месяцев. Основной причиной смерти являлся острый костномозговой синдром, вызванный воздействием высоких доз гамма-излучения. Непосредственными причинами смерти явились инфекционные осложнения, интоксикация и прогрессирующая полиорганная недостаточность [3]. Еще два аварийных работника умерли вскоре после аварии от полученных травм [4].

Аллогенная трансплантация костного мозга была проведена тринадцати пациентам, еще шести пациентам были пересажены эмбриональные клетки печени человека. Все они умерли, за исключением одного пациента, у которого, как впоследствии выяснилось, восстановилась деятельность собственного костного мозга, что привело к отторжению трансплантата. В трех случаях летальный исход мог быть связан с неудачной трансплантацией костного мозга. По результатам лечения пациентов с ОЛБ был сделан вывод, что трансплантация костного мозга показана только пациентам с необратимым угнетением гемопоэза, вызываемым острым общим относительно равномерным гамма-облучением в дозах 8–10 Гр [4, 5].

Все пациенты с костномозговым синдромом тяжелой и крайне тяжелой степени имели лучевые поражения кожи, которые усугубляли угнетение гемопоэза, особенно в случаях повреждения 50% поверхности тела, и осложнялись инфекцией. Предполагается, что повреждения кожи сыграли основную роль, по крайней мере, в девятнадцати летальных исходах, и значительно утяжеляли течение ОЛБ [2, 6]. Пациентам, кожа которых не заживала в течение 50–60 дней, проводили пересадку кожи. Желудочно-кишечный синдром был отмечен у пятнадцати пациентов, а радиационный пневмонит — у восьми.

Последующее длительное наблюдение за лицами, перенесшими ОЛБ, показало практически полное восстановление кроветворения в течение нескольких месяцев после облучения, тогда как восстановление иммунной системы занимало по крайней мере полгода, а полная нормализация Т-клеточного иммунитета заняла несколько лет.

Основными отдаленными медицинскими последствиями ОЛБ были радиационно-индуцированные поражения кожи и катаракта. Повреждения кожи зависели от дозы облучения и степени тяжести ОЛБ и проявлялись от легких дегенеративных изменений до развития грубых рубцов и язв. Так, в период 1990–1996 гг. 15 человек, имевших обширные поражения кожи, подверглись хирургическому лечению. У многих пациентов со средней и тяжелой степенью ОЛБ в первые несколько лет после аварии развилась радиационная катаракта.

Большинство мужчин, перенесших ОЛБ, имели нарушения половой функции вплоть до 1996 года, однако в течение первых пяти лет после аварии у некоторых из них родилось 14 здоровых детей.

В первое десятилетие после аварии у людей, перенесших ОЛБ, регистрировали высокую распространенность заболеваний нервной системы,

\* В настоящее время клиника Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

<sup>2</sup> Ильин ЛА, ред. Радиационная медицина. Руководство для врачей-исследователей и организаторов здравоохранения. М.: ИздАТ; 2001.

<sup>3</sup> Барабанова АВ, Баранов АЕ, Бушманов АЮ, Гуськова АК. Радиационные поражения человека: избранные клинические лекции, методическое пособие. М.: Слово; 2007.

сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний. Однако их частота не коррелировала со степенью тяжести ОЛБ, что свидетельствует скорее о нерадиационной природе заболеваний.

Среди причин смерти в отдаленные сроки наблюдения преобладали общесоматические заболевания системы кровообращения, органов дыхания и пищеварения, реже — онкологические заболевания [7]. Принимая во внимание стохастический характер патологии, приведшей к летальному исходу лиц, перенесших ОЛБ, взаимосвязь причин смерти в отдаленные сроки с радиационным воздействием не является очевидной. Случаи смерти, по-видимому, были обусловлены нерадиационными причинами.

### Медико-биологические последствия облучения ликвидаторов аварии

Как отмечено ранее, в ликвидации последствий аварии, а затем и в восстановительных работах приняли участие более 500 тыс. различных специалистов. Июнь 1986 г. стал началом формирования Всесоюзного распределенного регистра лиц, подвергшихся радиационному воздействию, который включал ликвидаторов чернобыльской аварии и впоследствии стал основой Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР) [8, 9].

*Радиационный мониторинг и дозы облучения ликвидаторов.* Выброс радиоактивных веществ из разрушенного реактора начался 26 апреля 1986 г. и, по некоторым оценкам, продолжался 10–15 дней. Короткоживущие радионуклиды ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{Ba}$  и др.) сыграли роль основных дозовых факторов на ранней стадии аварии. Позднее все большую роль в формировании дозы играли радиоизотопы цезия ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ) и значительно меньшую — стронция ( $^{90}\text{Sr}$ ). Радиоизотопы трансурановых элементов ( $^{238,239,240,241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) хотя и присутствовали в радиоактивных выбросах, но их вклад в суммарную дозу невелик [10]. Основным путем облучения ликвидаторов являлось внешнее гамма-излучение от радиоактивных веществ, выпавших на почву и поверхности зданий.

Дозиметрический контроль ликвидаторов в массовом порядке был организован примерно через месяц после аварии [11]. Даже у ликвидаторов, командированных от предприятий Министерства среднего машиностроения (в настоящее время ГК «Росатом»), менее половины работников были обеспечены индивидуальными дозиметрами [12]. Решением Правительственной комиссии СССР от 28 мая 1986 г. индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) был поручен трем ведомствам: Министерству обороны СССР, Министерству среднего машиностроения и Министерству энергетики. Самостоятельно до сентября 1987 г. дозиметрический контроль осуществляли также МВД СССР и КГБ СССР. На ИДК с 1986 г. состояли работники более 600 организаций из 49 министерств и ведомств СССР. Наибольшая численность ликвидаторов приходилась на подразделения Министерства энергетики СССР [12].

Собранные в НРЭР дозиметрические данные можно разделить на три типа:

- значения индивидуального дозиметра, находившегося у конкретного ликвидатора;
- значения групповых доз по показаниям индивидуального дозиметра, находившегося у одного из членов группы;
- оценки маршрутных доз, основанные на средней мощности экспозиционной дозы в зоне проведения работ и времени пребывания в ней группы лиц.

В настоящее время 142,9 тыс. участников ликвидации аварии имеют информацию о полученных в зоне аварии дозах внешнего облучения, что составляет 71,4% от общего числа ликвидаторов, зарегистрированных в НРЭР. Для сравнения: в японском регистре выживших после атомной бомбардировки городов Хиросимы и Нагасаки из 120,3 тыс. зарегистрированных данные о реконструированных индивидуальных дозах имеют 86,6 тыс. лиц (72,0%). Анализ качества дозиметрических данных ликвидаторов, внесенных в НРЭР, показал, что явных противоречий между параметрами радиационной обстановки в зонах радиоактивного загрязнения, характером проведенных работ и занесенными в регистр дозами не обнаружено. Кроме того, статистический анализ дозиметрических данных ликвидаторов, зарегистрированных в НРЭР, показал незначительную по численности долю лиц, дозы которых не обладают приемлемой степенью достоверности [12].

Период радиационного воздействия на ликвидаторов был ограничен несколькими месяцами [9]. Накопленная средняя доза внешнего облучения ликвидаторов всех годов въезда в зону аварии составила 106 мГр. Ликвидаторы 1986 г. въезда в зону аварии получили в среднем в полтора раза более высокую дозовую нагрузку (более 150 мГр). Распределение средней мощности дозы облучения ликвидаторов, получивших дозу более 150 мГр, имело логнормальное распределение со средним значением около 3 мГр/сут. В связи с установленным нормативом предела облучения при ликвидации радиационных аварий суммарные дозы облучения 97,5% ликвидаторов не превышали 250 мГр.

*Мониторинг состояния здоровья и жизненный статус.* НРЭР представляет собой государственную информационную систему персональных данных лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий и инцидентов, ядерных испытаний, созданную в целях обеспечения учета изменений состояния здоровья таких лиц в течение всей их жизни. В соответствии с российским законодательством в НРЭР регистрируются граждане Российской Федерации, относящиеся к одной из двадцати четырех категорий учета, двенадцать из которых относятся к лицам, подвергшимся воздействию радиации вследствие чернобыльской аварии, а также их потомкам. Оператором системы НРЭР является Министерство здравоохранения Российской Федерации. Головная организация в системе НРЭР — Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России.

НРЭР является территориально распределенной информационной системой, включающей: единую федеральную базу данных, региональные сегменты (в субъектах Российской Федерации) и 4 ведомственных подрегистра (Минобороны России, МВД России, МЧС России и ФМБА России). Ведение региональных сегментов регистра осуществляют уполномоченные органы исполнительной власти всех субъектов Российской Федерации [11].

В настоящее время в НРЭР зарегистрированы 834,2 тыс. человек, из которых более 763 тыс. человек относятся к «чернобыльскому контингенту», включая более 200 тыс. ликвидаторов последствий аварии, более 370 тыс. жителей Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, относящихся к зоне отселения и зоне с правом на отселение, а также более 50 тыс. потомков ликвидаторов.

Сбор индивидуальной медико-дозиметрической информации осуществляется на областном и муниципальном уровнях при проведении обязательного специального медицинского наблюдения (специальной диспансеризации) и в процессе обращения за медицинской помощью. Среднегодовой уровень охвата ликвидаторов медицинскими осмотрами как за весь период наблюдения в целом, так и в последние 10 лет составляет около 80%. В первые 15 лет после выезда из зоны радиационного воздействия показатели первичной и общей заболеваемости ликвидаторов по многим классам существенно превышали соответствующие показатели для референтных по половозрастному характеристикам групп населения Российской Федерации. В последующие годы превышение неуклонно снижалось. Прежде всего превышение заболеваемости объясняется проведением специализированной диспансеризации среди ликвидаторов. Единственным классом болезней, демонстрирующим неуклонный рост первичной заболеваемости на всем протяжении наблюдения, является класс «Новообразования».

Показатель общей смертности ликвидаторов за весь период наблюдения статистически значимо ниже (в среднем на 15%) показателя смертности в референтной по половозрастному характеристикам группе населения Российской Федерации. Их большая продолжительность жизни объясняется, с одной стороны, так называемым эффектом «здорового работника», а с другой — более высоким уровнем социально-медицинской помощи ликвидаторам. Показатель смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) за весь период наблюдения статистически значимо превышал контрольный показатель в референтной группе мужского населения страны на 6%. По данным НРЭР на начало 2026 г. умерло около 52,5% от общего числа ликвидаторов, зарегистрированных в регистре, из них от болезней системы кровообращения — 42,7%, злокачественных новообразований — 18,5%, травм и отравлений — 15,8%.

*Радиобиологические эффекты.* Исследованиям доклинических эффектов уделялось особенное внимание, так как они рассматривались в качестве биологических маркеров индивидуальной дозы облучения,

а также предрасположенности к радиационно-индуцированной патологии. Достаточно надежными биомаркерами радиационного воздействия показали себя цитогенетические и молекулярно-генетические изменения в лимфоцитах периферической крови (ЛПК) ликвидаторов. В ранние сроки после аварии отмечался высокий уровень хромосомных aberrаций нестабильного типа (дицентриков и центрических колец) [13, 14], который со временем снижался, но оставался статистически значимо повышенным относительно необлученных людей более двадцати лет [15]. В отдаленные сроки наблюдения регистрировали уровень стабильных транслокаций, выявляемых методом флуоресцентной гибридизации *in situ* (fluorescence *in situ* hybridization — FISH) [16], но хорошая сопоставимость цитогенетических данных с физической дозиметрией отмечена только для части обследованных ликвидаторов. При этом наблюдалась высокая индивидуальная вариабельность частоты стабильных хромосомных aberrаций, индуцированных низкими дозами радиации [17]. В последующие годы уровень транслокаций в ЛПК снижался до определенного плато, но его величина четко коррелировала с первоначальной оценкой дозы облучения, что подтверждает значимость стабильных маркеров для ретроспективной дозиметрии [18].

Результаты оценки соматического мутагенеза на основе анализа мутаций в гене Т-клеточного рецептора лимфоцитов крови (TCR-мутации) свидетельствуют об их повышении не только в ранний период после облучения, но и спустя длительное время. Так, у части ликвидаторов, облученных в диапазоне доз до 2 Гр, обнаруживали повышение частоты TCR-мутантных лимфоцитов в отдаленном периоде после аварии, причем данный показатель практически не изменялся со временем после облучения [19, 20].

Многие годы у ликвидаторов сохранялись зависящие от дозы изменения адаптивного иммунитета, преимущественно Т-клеточного. В ранние сроки после облучения наблюдалось повышение числа Т-лимфоцитов и Т-хелперов по сравнению с необлученными людьми. Наиболее активное увеличение популяции Т-хелперов регистрировали у ликвидаторов, облученных в малых дозах [21]. Однако спустя 3 мес. после облучения наблюдали снижение уровня Т-лимфоцитов и Т-хелперов, которое также коррелировало с дозой облучения. В более отдаленные сроки наблюдения сниженная частота CD3<sup>+</sup>-клеток и CD3<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>-клеток носила персистирующий характер [22, 23] в виде нарушения баланса CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup>, увеличения содержания регуляторных Т-клеток в крови [24], повышенных уровней провоспалительных цитокинов ИЛ-1 $\beta$ , ИЛ-6, IFN- $\gamma$  и TNF- $\alpha$  в сыроворотке крови [23].

*Медицинские последствия.* Случаев ОЛБ у ликвидаторов не зарегистрировано. Основную проблему представляли отдаленные последствия, которые не являлись специфичными для действия радиации (мультифакториальная патология) и носили стохастический характер. Вероятность их развития определяется дозой облучения. Наиболее надежные данные о последствиях облучения ликвидаторов получены на когорте 66 тыс. ликвидаторов-мужчин, въехавших

<sup>4</sup> Пашенкова ЮГ. Мониторинг иммунного статуса и его прогностическая значимость для ранней диагностики злокачественных новообразований у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2013.

в аварийную зону в период с 1986 по 1987 г. Когорта обеспечена дозиметрическими сведениями и информацией о состоянии здоровья для всего периода наблюдения. Средний возраст ликвидаторов на момент начала наблюдения составлял 34 года [25].

В структуре заболеваемости лейкозами за период 1986–2007 гг. (зарегистрировано 198 случаев) [26] преобладали хронические формы с равными долями миелоидных и лимфоидных типов. Статистически значимый избыточный риск заболеваемости лейкозами, за исключением хронического лимфолейкоза (ХЛЛ), наблюдался только в течение первых десяти лет после аварии как при сравнении с национальными показателями, так и при использовании внутреннего контроля. Радиационный риск ХЛЛ был статистически незначим. Превышение показателя заболеваемости в когорте над соответствующим показателем российского мужского населения за период 1986–1997 гг. составило 89% (стандартизованное по возрасту отношение 1,89 (95% ДИ [1,42; 2,45]). Затем в 1998–2018 гг. этот показатель был на 23% ниже российского (стандартизованное по возрасту отношение — 0,77 (95% ДИ [0,64; 0,93]) [27].

При использовании линейной беспороговой (ЛБП) модели радиационного риска коэффициент избыточного относительного риска на 1 Гр (ИОР/Гр) за первые десять лет после аварии составил 4,41 (90% ДИ [0,24; 14,23]), а в дальнейшем был статистически незначим [27]. В соответствии с ЛБП-моделью около 32% лейкозов (исключая ХЛЛ) за первые десять лет после облучения могут быть связаны с радиационным воздействием.

Поскольку наблюдение за ликвидаторами с 1998 по 2025 г. подтвердило отсутствие радиационного риска лейкозов, можно предположить, что радиационно-обусловленные лейкозы у ликвидаторов к 1998 г. уже реализовались полностью. Их избыточное число составило 8 случаев, что является средним значением между пожизненными прогнозами Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и Научным комитетом по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций (НКДАР ООН). Прогноз пожизненного числа радиационно-обусловленных случаев лейкозов среди ликвидаторов после 2020 г. составил 1 случай по модели МКРЗ и 18 случаев по модели НКДАР ООН.

Анализ формы зависимости «доза — эффект» показал согласие оценок относительного радиационного риска (ОР) по линейной беспороговой модели с непараметрическими оценками ОР относительно контрольной группы ликвидаторов с дозами облучения менее 0,05 Гр, с учетом их 90% доверительных интервалов (ДИ) [27]. Статистически значимые оценки ОР наблюдали только при дозах свыше 0,15 Гр. Таким образом, для доз облучения менее 0,15 Гр ЛБП модель радиационного риска лейкозов у ликвидаторов являлась консервативной и приводила к завышенным оценкам радиационного риска [27].

Заболеваемость солидными ЗНО за период наблюдения 1992–2019 гг. на 11% (95% ДИ [9; 13]) превышала показатель для мужского российского населения. При этом смертность от ЗНО не отличалась от среднероссийской. В рамках ЛБП модели ИОР/Гр

для заболеваемости солидными ЗНО составил 0,62 (95% ДИ [0,29; 0,98]), а для смертности ИОР/Гр — 0,74 (95% ДИ [0,32; 1,22]). Радиационные риски заболеваемости и смертности от солидных ЗНО в основном определялись новообразованиями пищевода, желудка и толстой кишки (ИОР/Гр) — 0,89 (95% ДИ [0,20; 1,74]) по заболеваемости, а также ИОР/Гр на уровне 0,77 (95% ДИ [-0,05; 1,81]) по смертности; ИОР/Гр по заболеваемости ЗНО трахеи, бронхов и легкого составил 0,85 (95% ДИ [0,21; 1,62]) и по смертности 0,85 (95% ДИ [0,13; 1,72]). Частично это может быть обусловлено наибольшей распространенностью опухолей этих локализаций, на долю которых приходится более половины случаев солидных ЗНО.

Количественное сравнение прогнозных оценок пожизненного радиационного риска ЗНО у членов когорты ликвидаторов, рассчитанных с применением моделей радиационных рисков МКРЗ, НКДАР ООН и НРЭР, показало, что при использовании собственных оценок после 2020 г. в когорте российских ликвидаторов ожидается 1297 избыточных случаев ЗНО, что в 2,4 раза выше значений, полученных при расчете по международным моделям.

По мере увеличения периода наблюдения после 2019 г. сохраняется тенденция небольшого увеличения радиационных рисков солидных ЗНО. Последние оценки ИОР/Гр, сделанные на начало 2026 г., составляют 0,73 (95% ДИ [0,43; 1,07]) и 0,76 (95% ДИ [0,37; 1,20]) для заболеваемости и смертности соответственно. Непараметрические оценки ОР в дозовых интервалах, так же как для лейкозов, были статистически значимы только для доз облучения 0,15 Гр и более [27], что свидетельствует о консервативности оценок радиационных рисков солидных ЗНО для ликвидаторов в диапазоне облучения малыми дозами при использовании ЛБП модели.

Наблюдение за когортой ликвидаторов показало увеличение частоты болезней крови (МКБ-10: D50–D89). При этом ЛБП-модель адекватно описывает величину риска при различных уровнях радиационного воздействия — ИОР/Гр равен 0,59 (95% ДИ [0,23; 0,99]) [8]. Обращают на себя внимание высокие радиационные риски развития апластических анемий (МКБ-10: D60–D61), при этом ИОР/Гр составил 5,56 (95% ДИ [0,53; 20,67]), для болезней крови и кроветворных органов, не относящихся к анемиям и геморрагиям (МКБ-10: D70–D77) — 2,25 (95% ДИ [0,97; 3,95]) и для иммунодефицитных состояний (МКБ-10: D80–D89) — 2,01 (95% ДИ [0,53; 4,10]). В отличие от лейкозов, для которых радиационный риск реализовался в первые десять лет после облучения [6], избыточный риск апластических анемий сохраняется уже более 30 лет.

Коэффициент ИОР/Гр заболеваемости для болезни системы кровообращения (МКБ-10: I00–I99) статистически значим и составляет 0,57 (95% ДИ [0,46; 0,68]), так же как и коэффициент смертности — 0,42 (95% ДИ [0,19; 0,60]). Следует отметить, что в японской когорте лиц, переживших атомные бомбардировки, радиационный риск смертности от болезни системы кровообращения для мужского населения был оценен в 6 раз меньшей величиной коэффициента ИОР/Гр и составлял 0,07 (95% ДИ [-0,001, 0,16]) [28]. Непараметрические оценки ОР по показателю смертности подтверждают

корректность ЛБП-модели, что противоречит заявлениям МКРЗ о пороговой зависимости частоты болезней системы кровообращения от уровня дозы облучения со значением порога, равным 0,5 Гр.

Результаты последних исследований по заболеваемости катарактой (МКБ-10: H25–H26) свидетельствуют о значимой зависимости частоты распространения этой нозологии от дозы внешнего гамма-облучения [11]. Полученные оценки дозовых порогов не подтверждают необходимость уменьшения предельного уровня дозы на глаз, рекомендованного МКРЗ [29].

Результаты оценки непараметрических моделей ОР указывают на то, что радиационный эффект в виде увеличения частоты болезней эндокринной системы, расстройств питания и нарушений обмена веществ (МКБ-10: E00–E90) и болезней нервной системы (МКБ-10: G00–G99) может быть пороговым [30]. Наибольший вклад в избыточную заболеваемость болезнями эндокринной системы вносят йодная недостаточность (E01), зоб (E04), тиреоидит (E06), сахарный диабет второго типа (E11); болезнями нервной системы — полиневропатии и другие поражения периферической нервной системы (G60–G64), а также другие нарушения нервной системы (G90–G99).

Детальный анализ риска болезней органов дыхания и болезней органов пищеварения позволил оценить параметры ЛБП модели радиационных рисков [31, 32]. Непараметрические оценки ОР подтвердили корректность ЛБП моделей. Средняя по всей когорте ликвидаторов оценка коэффициента ИОР/Гр заболеваемости болезнями органов дыхания составила 0,21 (95% ДИ [0,11; 0,32]), болезнями органов пищеварения — 0,33 (95% ДИ [0,22; 0,44]). Повышенная заболеваемость болезнями органов дыхания определяется такими заболеваниями, как грипп и пневмонии (J09–J18), другие болезни верхних дыхательных путей (J30–J39), а также хронические заболевания нижних дыхательных путей (хроническая обструктивная болезнь легких (J44) и астма (J45–J46)). Радиационный риск заболеваемости болезнями органов пищеварения в основном обусловлен язвами желудка и двенадцатиперстной кишки, гастритом и дуоденитом, хроническим гепатитом, не классифицированным в других рубриках, а также болезнями желчного пузыря и желчевыводящих путей.

Для психических расстройств (F00–F99), болезней костно-мышечной системы (M00–M99) и болезней мочеполовой системы (N00–N99) также получены статистически значимые радиационные риски, подтверждающие необходимость более детального анализа частоты этих нозологий в зависимости от величины дозы облучения [33]. Следует отметить, что для инфекционных и паразитарных болезней (A00–B99), болезней уха (H60–H95), доброкачественных новообразований (D10–D36), а также болезней кожи и подкожной клетчатки (L00–L99), несмотря на их высокую распространенность, радиационный риск у ликвидаторов не обнаружен [16].

Оценка динамики радиационных рисков заболеваемости ликвидаторов основными неонкологическими болезнями показывает, что значения этих рисков за весь период наблюдения определяются случаями заболеваний, возникших в первые 10–15 лет после аварии. При этом важно отметить, что радиобиологические

механизмы повышения заболеваемости и смертности от перечисленных выше неонкологических заболеваний недостаточно исследованы. Наиболее вероятным патогенетическим механизмом полиорганной патологии у ликвидаторов является хроническое неспецифическое воспаление, индуцированное радиационным воздействием, которое опосредовано провоспалительным характером иммунного статуса [34].

### Медицинские последствия у населения радиоактивно загрязненных территорий Российской Федерации

Аварийные выбросы радиоактивных соединений стали причиной загрязнения территорий Российской Федерации, в особенности Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей.

*Радиационно-гигиенический мониторинг и дозы облучения населения.* Оперативный дозиметрический контроль за радиационной обстановкой и динамикой ее изменения был организован уже в первые дни после аварии. Целью радиационно-гигиенического мониторинга как на ранней стадии радиационной аварии, так и на современном ее этапе является получение набора исходных данных, необходимых для проведения расчетов доз облучения жителей населенных пунктов, расположенных на РЗТ. В ранние сроки дозы облучения в первую очередь использовались для разработки защитных мероприятий и оценки их эффективности. В последующие сроки мониторинг позволил обеспечить анализ динамики радиационной обстановки и оценить медико-биологические последствия аварии. В зависимости от изменения ситуации (в связи с физическим распадом и миграцией значимых на определенный период времени радионуклидов) и цели мониторинга набор контролируемых параметров изменяется.

Внешнее облучение населения обусловлено распадом присутствующих в окружающей среде гамма-излучающих радионуклидов. Сразу после аварии повышенный гамма-фон определялся короткоживущими радионуклидами ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{Ba}$  и др.), а позднее — радиоизотопами цезия ( $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ). Основными дозообразующими радионуклидами внутреннего облучения населения в первые недели после аварии были изотопы йода; главный путь их поступления в организм жителей РЗТ обусловлен употреблением коровьего молока и свежей зелени. С третьей декады мая 1986 г. основными дозообразующими нуклидами стали  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , поступающие в основном с молоком и мясом, а также с растительными и природными пищевыми продуктами местного производства. Вклад изотопов стронция ( $^{89,90}\text{Sr}$ ) в дозу внутреннего облучения населения России незначителен (1–5%).

В населенных пунктах, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, организован систематический контроль радиационной обстановки. Программа обследования населенных пунктов формируется с учетом их принадлежности к зонам радиоактивного загрязнения и приоритетности населенных пунктов с высокими уровнями загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$ . Самый объемный мониторинг проводится в наиболее загрязненной Брянской области. Жители некоторых населенных

пунктов проходят индивидуальный дозиметрический контроль с использованием ТЛД-дозиметров. В рамках радиационно-гигиенического мониторинга пищевых продуктов проводятся исследования содержания радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в молоке и картофеле, производимых в личных хозяйствах жителей, а также грибах. В населенных пунктах проводится систематическое измерение экспозиционной мощности дозы гамма-излучения<sup>5</sup> [35].

С целью определения мер защиты населения разработаны методики оценки доз облучения как для условий отсутствия активных мер радиационной защиты, так и фактических доз облучения в среднем для жителей населенного пункта, для критической группы жителей, а также накопленной дозы облучения<sup>6</sup>. Для отнесения населенного пункта к той или иной зоне оценивается средняя годовая эффективная доза (СГЭД<sub>90</sub>) у жителей для условий проживания и ведения хозяйственной деятельности без активных мер радиационной защиты. При оценке средней накопленной эффективной дозы (СНЭД) используются результаты фактических оценок дозы облучения населения. Наиболее достоверная информация о фактических уровнях облучения населения формируется на основе данных радиационного мониторинга, проводимого на загрязненных территориях, по результатам которого оценивается средняя годовая эффективная доза для жителей населенного пункта (СГЭД<sub>нп</sub>). Средняя годовая эффективная доза облучения критической группы жителей населенного пункта определяется как средняя доза у 10% жителей, имеющих наибольшие, по сравнению с остальными, индивидуальные дозы облучения.

К 2020 г. средняя эффективная доза для критической группы населения 386 населенных пунктов Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей составила около 40 мЗв [36]. Наибольшие дозы на ЦДЖ получило население, эвакуированное из 30 км зоны. Средняя доза составила около 500 мГр, а дозы облучения ЦДЖ у детей до трех лет достигали 50 Гр [37]. Средние дозы облучения ЦДЖ за счет  $^{131}\text{I}$  у жителей населенных пунктов, расположенных на территориях с плотностью загрязнения по  $^{137}\text{Cs}$  свыше 37 кБк/м<sup>2</sup>, у детей до года в Брянской области достигали 1,3 Гр, в Калужской области — 0,16 Гр, в Орловской области — 0,23 Гр, в Тульской области — 0,19 Гр. Максимальные индивидуальные дозы у детей Брянской области младше трех лет достигали 10 Гр [38].

*Медико-биологические последствия облучения населения.* Анализ медицинских последствий до формирования регистра облученного населения проводился с применением географического метода, особенностью которого является оценка радиационного эффекта у населения определенной территории (например, района или области) с использованием общегосударственных (или иных) статистических данных о численности населения, его динамике и возрастном составе. В таких исследованиях используются среднegrupповые дозы, оцененные для отдельных территорий (районов) и возрастных групп.

После формирования в Российской Федерации НРЭР появилась возможность проводить аналитические исследования (когортные, «случай — контроль»), которые дают достоверную информацию о медицинских последствиях радиационного воздействия. Они проводятся по результатам слежения за здоровьем населения на протяжении всей жизни после аварии на основе индивидуальных доз облучения членов когорты. Согласно действующим стандартам все лица, зарегистрированные в НРЭР, проходят ежегодные медицинские осмотры, что обеспечивает высокую полноту и качество данных.

Результаты цитогенетических исследований у эвакуированных и проживающих на РЗТ лиц, проведенных с целью оценки доз облучения в первые годы после аварии, свидетельствовали о повышении у них уровня аберрантных лимфоцитов в крови и хромосомных аберраций нестабильного типа по сравнению с необлученными людьми [39]. Позднее было установлено повышение частоты и стабильных хромосомных аберраций (преимущественно транслокаций и инверсий) в ЛПК, определяемых методом FISH [40]. Хромосомные аберрации стабильного типа сохранялись более 20 лет и свидетельствовали о возможности цитогенетической оценки доз методом FISH спустя почти 30 лет после аварии [16, 18, 41].

Что касается медицинских эффектов, то у населения, как и у ликвидаторов, не отмечали случаев ОЛБ и лучевых реакций тканей. Опасения вызывали мультифакториальные заболевания, вероятность развития которых могла повыситься в отдаленные сроки после облучения. Однако многолетний анализ заболеваемости лейкозами, солидными ЗНО различной локализации и нераковыми заболеваниями (болезни системы кровообращения, органов дыхания, щитовидной железы и др.) у облученного населения не позволил отметить влияния радиационного воздействия на частоту их возникновения, за исключением рака щитовидной железы (РЩЖ).

По данным НРЭР, радиационный риск лейкозов для населения РЗТ статистически не значим, хотя среднее значение избыточного радиационного риска все же превышало нулевой уровень и составляло 7%. Радиационный риск развития солидных ЗНО, включая риск рака молочной железы у женщин, для населения загрязненных радионуклидами территорий также был статистически не значим, что объясняется небольшими дозами общего облучения населения. Если придерживаться консервативных прогнозов по моделям риска МКРЗ, то избыточный радиационный риск заболеваемости солидными ЗНО среди населения следует ожидать на уровне 1% выше спонтанной заболеваемости. При таком небольшом ожидаемом риске для его выявления потребуется более длительное время наблюдения за состоянием здоровья населения загрязненных территорий.

Особенностью облучения населения после чернобыльской аварии стало воздействие  $^{131}\text{I}$  в высоких дозах на ЦДЖ у людей, которые во время аварии находились в детском и подростковом возрасте.

<sup>5</sup> О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Брянской области в 2024 году: Государственный доклад. Брянск: Управление Роспотребнадзора по Брянской области; 2024.

<sup>6</sup> Оценка доз облучения населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Сборник методических документов. Издание третье. СПб.; 2011.

Повышенная заболеваемость РЩЖ у них до сих пор остается единственным доказанным эффектом радиационного воздействия на население, проживающего на загрязненных территориях [11, 42, 43]. Так, в масштабном исследовании «случай — контроль», проведенном среди лиц, проживавших на наиболее загрязненных территориях Беларуси и Российской Федерации, отношение шансов развития РЩЖ при дозе 1 Гр составило 5,2 (95% ДИ [2,2; 8,2]) [42]. Результаты в целом согласуются с оценками исследований в когортах жителей Украины (относительный риск, ОР/Гр — 2,9 (95% ДИ [1,4; 7,3]), Беларуси ОР/Гр — 3,2 (95% ДИ [1,8; 6,5]) и Российской Федерации ОР/Гр — 5,6 (95% ДИ [3,7; 8,0]) [43–45].

Избыточный риск выявлен через 4–5 лет после облучения и, несмотря на его снижение со временем, остается статистически значимым на протяжении десятков лет после аварии, что обусловлено не только канцерогенным действием <sup>131</sup>I, но и эффектом скрининга РЩЖ. Анализ российской когорты показал, что в период 1991–1995 гг. для детей и подростков коэффициент скрининга был максимальным и составил 11,9, тогда как после 1996 г. коэффициент снизился в 2 раза [43].

Необходимо отметить, что величина ИОР/Гр РЩЖ у людей, облученных в детском и подростковом возрасте, в различных исследованиях имеет большую вариабельность, что требует продолжения исследований по изучению зависимости риска РЩЖ, прежде всего от дефицита потребления йода, влияния нерадиационных факторов и неопределенностей оценок доз облучения ЩЖ. Вместе с тем получены убедительные доказательства, что у лиц, принимавших добавки стабильного йода в школах и летних лагерях после чернобыльской аварии, риск РЩЖ был существенно ниже по сравнению с теми, кто не принимал препараты йода. Результаты исследований демонстрируют чрезвычайную важность профилактического приема стабильного йода при авариях на АЭС и особенно в регионах с его дефицитом [42].

Оценки доли радиационно-обусловленных случаев РЩЖ также имеют большую вариабельность. НКДАР ООН оценивает долю избыточных случаев рака, ассоциированных с облучением, на уровне 60 и 25% для детей и подростков соответственно<sup>7</sup>. В российской когорте детей, проживавших в наиболее загрязненных областях, показано, что из выявленных за период с 1991 по 2019 год 423 случаев заболевания раком к радиационно-обусловленным можно отнести 21%, то есть 87 случаев. В то же время среди группы детей до 4 лет — 58%, т.е. 60 случаев являются радиогенными. Разница в доле радиационно-обусловленных случаев в основном определяется существенно большими дозами облучения ЩЖ у детей до 4 лет по сравнению с детьми старших возрастных групп [43].

*Молекулярные механизмы рака щитовидной железы у облученного человека.* Молекулярно-генетические исследования нацелены на изучение специфических для воздействия радиации генетических изменений в клетках РЩЖ у людей, облученных в детском возрасте, что позволяет установить радиационную

этиологию рака в каждом конкретном случае. Особое внимание уделялось генным перестройкам, делециям и точечным мутациям, увеличению числа копий генов и aberrантному метилированию в генах, ответственных за пролиферацию клеток, дифференциацию и апоптоз. В качестве кандидатных генов анализировали *BRAF*, *HRAS*, *KRAS*, *NRAS*, *PTEN*, *PIK3CA*, *AKT1*, *CTNNB1*, *TP53*, *IDH1*, *EGFR*, *HCTC*, *RET*, *NTRK1* и *TERT* (*TERTp*), дисфункциональная активность которых играет существенную роль в онкогенезе фолликулярного и папиллярного РЩЖ. В качестве потенциальных онкомаркеров также рассматривали гены, кодирующие рецепторы клеток микроокружения, в частности *CXCL10*, *AGTR1*, *CTGF*, *FAM3B*, *IL11*, *IL17C*, *PTH2R* и *SPAG11A* [46].

Установлено, что опухолевый рост и прогрессия РЩЖ тесно связаны с соматическими точечными мутациями в генах *BRAF*, *RAS* и *RET*. Активация этих генов посредством мутаций или перестроек является основным инициатором развития РЩЖ через сигнальный путь, вовлекающий митоген-активированную протеинкиназу (MAPK) и фосфоинозитид-3-киназу (PI3K), что усиливает ядерную транслокацию гена *ERK* и модифицирует транскрипцию целевых генов [47, 48].

Предполагается, что молекулярные перестройки, вызванные радиационным воздействием и иницирующие злокачественную трансформацию фолликулярных клеток ЩЖ, могут быть уникальными и характерными только для радиационного воздействия. В частности, в первые десять лет после аварии на ЧАЭС достаточно часто встречались варианты папиллярного РЩЖ с перестройками *RET/PTC3*, а уже в более позднем периоде преобладали перестройки *RET/PTC1* [49, 50].

Ген *RET* кодирует мембранный белок семейства рецепторов тирозинкиназы, который в норме не экспрессируется или экспрессируется на очень низком уровне в фолликулярных клетках ЩЖ и является протоонкогеном. Активация *RET* может происходить посредством хромосомной инверсии или транслокации, которые приводят к слиянию кодирующей области внутриклеточного домена *RET* с 5'-концом гетерологичных генов. Полученная химерная *RET/PTC* последовательность кодирует онкопротейны, которые запускают развитие папиллярной карциномы ЩЖ. На сегодняшний день зарегистрировано более 13 вариантов *RET/PTC*, различающихся по 5'-партнерному гену, участвующему в перестройке. Однако наиболее распространенными типами в раковых клетках ЩЖ являются *RET/PTC1* (слияние с геном *CCDC6*) и *RET/PTC3* (слияние с геном *NCOA4*) [51]. Однако, несмотря на ранние результаты исследований, в которых отмечено, что *RET/PTC*-перестройки являются специфическими при радиационно-индуцированном РЩЖ, современные данные свидетельствуют о том, что они достаточно часто встречаются и при спорадическом РЩЖ [49, 52, 53].

Вероятно, более частое обнаружение перестроек *RET/PTC3* и *RET/PTC1* в клетках РЩЖ обусловлено высокой чувствительностью данных участков к генетическим повреждениям в результате не только воздействия ионизирующего излучения, но и других генотоксических факторов. Перестройки *RET/PTC*

<sup>7</sup> Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the Chernobyl accident. New York: United Nations; 2018.

в настоящее время признаны преобладающими драйверными мутациями не только при радиационно-индуцированном раке, но и при спорадическом папиллярном РЦЖ у детей [54].

Точечная мутация V600E в онкогене *B-raf* (замена в нуклеотиде 1799 тимина на аденин) является одной из частых в клетках спорадического папиллярного РЦЖ у взрослых и редко встречается в клетках фолликулярного рака [55]. Данная мутация способствует инициации и метастазированию опухоли [56]. Однако в клетках папиллярного РЦЖ у людей, облученных после аварии на ЧАЭС, мутация V600E в онкогене *B-raf* встречалась существенно реже, чем *RET/PTC*-перестройки [57].

Таким образом, вопрос о наличии специфических радиационно-индуцированных молекулярных маркеров РЦЖ до сих пор остается открытым.

### Состояние здоровья потомков

По мнению НКДАР ООН и МКРЗ, в настоящее время отсутствуют убедительные доказательства для человека, что воздействие ионизирующей радиации на родителей приводит к развитию каких-либо изменений в состоянии здоровья их потомков. Вместе с тем у внутриутробно облученных детей в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки отмечено зависящее от дозы облучения и сроков гестации уменьшение когнитивных способностей. Все это обусловило значительный интерес к подобным исследованиям после чернобыльской аварии.

*Трансгенерационные эффекты.* Особое внимание обращено на возможность выявления трансгенерационных эффектов у потомков первого поколения, которые сами не подвергались радиационному воздействию, но родились от ликвидаторов аварии после их облучения или жителей РЗТ. Подобные эффекты, зарегистрированные лишь в экспериментах на животных, обусловлены прекоцептивным (до зачатия) облучением гонад родителей. При оценке состояния здоровья потомков оценивали самые различные параметры здоровья: антропометрические показатели новорожденных; заболеваемость различной патологией, включая ЗНО и лейкозы; иммунный статус; частота и структура врожденных пороков развития; перинатальная, младенческая, детская смертность и другие.

В результате радиационно-эпидемиологических исследований в когорте детей ликвидаторов, зарегистрированных в НРЭР (включает 11 698 отцов-ликвидаторов и 15 450 их детей, рожденных после выезда из зоны аварии), не установлено статистически значимой связи частоты ЗНО и врожденных пороков развития у детей ликвидаторов с уровнем дозы внешнего облучения их отцов [58]. У детей, рожденных на территориях зоны отселения и зоны с правом на отселение, до настоящего времени также не выявлено статистически значимой зависимости частоты врожденных пороков развития от дозы облучения их родителей. Консервативная оценка, выполненная в соответствии с рекомендациями МКРЗ 2007 г., показала, что возможная доля радиационно-обусловленных наследственных заболеваний

у потомков, рожденных от родителей, проживавших до 2000 г. на РЗТ, может достигать 0,4% от среднероссийских показателей<sup>8</sup>.

Оценивая результаты клинических и эпидемиологических наблюдений за потомками, необходимо отметить их противоречивость [58–60]. Обращает внимание, что в случаях выявления эффектов у потомков не было представлено доказательств их связи с генетической дозой облучения родителей. Авторы также не принимают во внимание, что потомки сами проживали на РЗТ и подвергались внутриутробному и постнатальному облучению. Другими важными проблемами исследований трансгенерационных эффектов являются недостаточная статистическая мощность исследований и низкие уровни доз облучения гонад родителей [61].

В ряде исследований авторы объясняют отмеченные изменения в состоянии здоровья потомков радиационно-индуцированной нестабильностью генома (РИНСГ), которая может развиваться вследствие генетических и эпигенетических изменений в половых клетках родителей после облучения [62–64].

Для доказательства РИНСГ у потомков и их родителей анализировалась частота хромосомных аберраций, уровень которых при РИНСГ значительно повышается. В некоторых цитогенетических исследованиях у потомков облученных лиц отмечено повышение уровня нестабильных и стабильных хромосомных аберраций в ЛПК [16, 62, 65]. Однако следует отметить, что зависимость цитогенетических параметров от дозы облучения гонад родителей до зачатия не исследовалась. Кроме того, интерпретация результатов цитогенетических исследований у потомков, проживающих на загрязненных территориях, затруднена из-за невозможности исключить влияние внутриутробного и постнатального облучения их самих.

Исследование частоты генных мутаций, уровень которых также значительно возрастает при РИНСГ, не позволило отметить повышения частоты мутаций в гене Т-клеточного рецептора у потомков облученных родителей, тогда как у их родителей-ликвидаторов он был повышен не только в ранние сроки после облучения, но и спустя многие годы [19, 20, 66]. Анализ мутаций *de novo* у детей, рожденных после аварии от ликвидаторов и жителей РЗТ, также не обнаружил доказательств существенного влияния прекоцептивного облучения гонад отцов в дозах до 4080 мГр и матерей — до 550 мГр [67].

Таким образом, цитогенетические и молекулярно-генетические исследования не позволяют сделать вывод о наличии трансгенерационных эффектов и РИНСГ у потомков ликвидаторов и детей, рожденных после аварии и проживавших на РЗТ.

*Эффекты внутриутробного облучения.* Чрезвычайная значимость исследований эффектов внутриутробного облучения определяется прежде всего высокой радиочувствительностью эмбриона и плода. Важным компонентом радиационного воздействия после аварии являлся <sup>131</sup>I, который поступал алиментарным путем в организм беременных женщин и оказывал влияние на внутриутробное развитие

<sup>8</sup> Большаков ЛА, ред. Российский национальный доклад «35 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий в России». 1986–2021. М.: Академ-Принт; 2021.

эмбриона и плода. В единичных исследованиях у детей, облученных в антенатальном периоде, оценивались генетические изменения, физическое развитие и заболеваемость. Так, у лиц, подвергшихся внутриутробному облучению, отмечен отчетливый эффект повышения частоты TCR-мутаций в лимфоцитах крови [68]. При этом установленные закономерности соматического мутагенеза у внутриутробно облученных сохранялись спустя 28 лет [69].

Кроме того, у детей, облученных внутриутробно, отмечено дисгармоничное физическое развитие, обусловленное увеличением с возрастом доли лиц с низкой длиной тела [70], но зависимость эффекта от дозы облучения плода не оценивалась.

Вследствие значительной противоречивости мировых данных значительный научный интерес представляла заболеваемость облученных *in utero* людей лейкозами. По данным НРЭР, не получено убедительных доказательств повышенного риска развития лейкозов у детей, облученных внутриутробно и в раннем детском возрасте [71]. Вместе с тем нераковую патологию ЩЖ (наиболее часто отмечен диффузный нетоксический зоб) у них диагностировали чаще, чем среди необлученных сверстников [72, 73]. Заболеваемость у детей, облученных внутриутробно, резко возрастала с возрастом, достигая максимума в 7–9 лет, а к возрасту 12 лет снижалась до уровня у необлученных сверстников [74, 75]. Важно отметить, что наблюдаемые дети после рождения проживали на РЗТ и за счет употребления грудного и коровьего молока также подвергались в том числе постнатальному внутреннему облучению, что в исследованиях не принималось во внимание, также не учитывался и уровень дефицита йода на территориях проживания населения до и после аварии.

Таким образом, проведенные исследования не представили доказательств о связи состоянии здоровья детей РЗТ с внутриутробным облучением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов сорокалетних наблюдений за аварийными работниками, ликвидаторами и населением РЗТ позволил получить чрезвычайно важную новую информацию по ранним и отдаленным медико-биологическим последствиям облучения человека. Среди них зарегистрировано 134 случая ОЛБ, из которых 28 закончились летальным исходом. Получено новое знание о патогенезе и течении, а также исходах ОЛБ в сочетании с лучевыми ожогами кожи. Опыт диагностики и лечения ОЛБ и ее отдаленных последствий позволил принципиально изменить тактику и существенно повысить эффективность лечения этого грозного заболевания с высокой летальностью.

Среди ликвидаторов, которые участвовали в аварийно-восстановительных работах после 27 апреля 1986 г., и населения, проживавшего на РЗТ, случаев ОЛБ не было зарегистрировано. Дозовые ограничения для облучения ликвидаторов и проведенные после аварии контрмеры (эвакуация, создание санитарно-защитной зоны и др.) позволили существенно снизить уровни радиационного воздействия, которые не достигали порога дозы необходимой для развития ОЛБ.

Комплексный радиобиологический и радиационно-эпидемиологический анализ позволил отметить у ликвидаторов аварии как доклинические (цитогенетические, молекулярно-генетические и иммунологические), так и клинически значимые изменения в состоянии здоровья. Радиобиологические исследования позволили установить долгосрочное повышение уровня хромосомных аберраций в лимфоцитах крови, мутаций в гене T-клеточного рецептора, угнетение T-клеточного звена системного иммунитета и провоспалительный спектр цитокинов сыворотки крови.

Регулярные медицинские наблюдения за большой по численности когортой ликвидаторов аварии, облученных в широком диапазоне доз от низких до высоких, позволили получить чрезвычайно важную информацию о радиационном риске отдаленных эффектов пролонгированного облучения человека. Многолетний радиационно-эпидемиологический анализ свидетельствует о превышении над спонтанным уровнем в первые десять лет после аварии заболеваемости лейкозами на 32%, а ЗНО и болезнями системы кровообращения (в первую очередь ишемической болезнью сердца) за 40 лет наблюдения — на 8 и 5% соответственно. Результаты исследований позволяют считать научно обоснованным включение в российский перечень заболеваний для установления их причинной связи с радиационным воздействием такие болезни крови и кроветворных органов, как апластические анемии и вторичные иммунодефицитные состояния.

Хотя в ранние сроки у облученного населения РЗТ отмечено повышение частоты хромосомных аберраций в лимфоцитах крови, комплексная оценка результатов 40-летнего наблюдения за состоянием здоровья населения РЗТ не выявила значимого влияния радиационного воздействия на показатели заболеваемости по всем классам МКБ-10, кроме РЩЖ. По последним оценкам специалистов НРЭР, выполненным в начале 2026 г., около 43% случаев заболеваний РЩЖ, выявленных среди облученных лиц в возрасте до 18 лет во время аварии, обусловлены облучением от  $^{131}\text{I}$ . Полученные доказательства высокой канцерогенной радиочувствительности ЩЖ человека к  $^{131}\text{I}$  имеют чрезвычайно важное значение для совершенствования радиологической защиты населения. Впервые показано, что хроническое, преимущественно внутреннее облучение ЩЖ у лиц, находившихся во время аварии в детском и подростковом возрасте, через 4–5 лет после аварии вызывает повышенную заболеваемость РЩЖ. Результаты аналитических исследований позволили установить, что радиационный риск рака при внутреннем облучении за счет  $^{131}\text{I}$  сопоставим с хорошо изученным риском РЩЖ после внешнего гамма-облучения. Однако количественные оценки радиационного риска РЩЖ остаются достаточно неопределенными и требуют продолжения масштабных и углубленных исследований для получения устойчивых и статистически значимых результатов.

В то же время ряд проблем, связанных с индукцией РЩЖ у людей, облученных в возрасте до 18 лет, остаются актуальными. До настоящего времени не установлены молекулярно-генетические маркеры радиационно-индуцированного РЩЖ. Вызывает беспокойство, что через 40 лет после чернобыльской аварии на РЗТ

сохраняется повышенный радиационный риск развития РЦЖ у людей, облученных в детском и подростковом возрасте. В этой связи чрезвычайно важен вывод, что дети при подобных авариях являются критической группой по дозе облучения ЩЖ, а своевременное проведение профилактических мероприятий, таких как ранний прием стабильного йода, замена коровьего молока и мяса местного производства, позволят предотвратить развитие РЦЖ.

Не получено доказательств влияния облучения родителей и внутриутробного облучения у жителей РЗТ на состояние здоровья потомков.

В заключение необходимо отметить, что новые радиобиологические знания, полученные после чернобыльской аварии, имеют чрезвычайно важное значение не только для радиобиологии и радиационной медицины. Оценки неблагоприятных последствий для здоровья человека уже сегодня используются для совершенствования мировых стандартов

и обеспечения радиационной безопасности как персонала, так и населения.

Авторы считают необходимым отметить существенный вклад в оказание медицинской помощи пострадавшим аварийным работникам Чернобыльской АЭС, организацию радиационно-гигиенического и медицинского мониторинга за состоянием здоровья ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС и населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях, сотрудников ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба — филиала ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России и ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. профессора П.В. Рамзаева» Роспотребнадзора.

## Литература / References

1. Пяткин ЕК, Нугис ЮВ, Чирков АА. Оценка поглощенной дозы по результатам цитогенетических исследований культур лимфоцитов у пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная медицина*. 1989;34(6):52–7.  
Piatkin EK, Nugis YuV, Chirkov AA. Estimation of absorbed dose based on the results of cytogenetic studies of lymphocyte cultures from subjects exposed in the accident at the Chernobyl Atomic Power Station. *Radiation Medicine*. 1989;34(6):52–7 (In Russ.).
2. Гуськова АК, Галстян ИА, Гусев ИА. *Авария Чернобыльской атомной станции (1986–2011 гг.): последствия для здоровья, размышления врача*. М.: ФГУ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, ФГУН Уральский научно-практический центр радиационной медицины; 2011.  
Guskova AK, Galstyan IA, Gusev IA. *The accident on the Chernobyl nuclear power plant (1986–2011): health consequences, reflections of a physician*. Moscow: A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Urals Research Center for Radiation Medicine; 2011 (In Russ.).  
EDN: [PCHCLR](#)
3. Рождественский ЛМ, ред. *Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблеи за 1988 г.* М.: Мир; 1993.  
Rozhdestvenskiy LM, ed. *Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly with scientific annexes*. Moscow: Mir; 1993 (In Russ.).
4. Баранов АЕ, Гейл РП, Гуськова АК, Пяткин ЕК, Чемплин Р. Трансплантация костного мозга после общего облучения у пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС. *Гематология и трансфузиология*. 1989;3:3–16.  
Baranov AE, Gale RP, Guskova AK, Piatkin EK, Chemplin R. Transplantation of the bone marrow after total body irradiation of the victims after the accident at the Chernobyl atomic power plant. *Hematology and Transfusiology*. 1989;3:3–16 (In Russ.).  
PMID: 2656374
5. Samoylov AS, Bushmanov AY, Galstyan IA. Medical management: major lessons learned from the Chernobyl accident (the review). *Journal of Radiological Protection*. 2021;41(3):R51–60.  
<https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac14d4>
6. Гуськова АК, Баранов АЕ, Барабанова АВ, Моисеев АА, Пяткин ЕК. Диагностика, клиническая картина и лечение острой лучевой болезни у пострадавших на Чернобыльской АЭС. Сообщение II. Некостномозговые синдромы лучевых поражений. *Терапевтический архив*. 1989;61(8):99–103.  
Guskova AK, Baranov AE, Barabanova AV, Moiseev AA, Piatkin EK. The diagnosis, clinical picture and treatment of acute radiation sickness in the victims of the Chernobyl atomic electric power station. II. Non-bone marrow syndromes of radiation lesions and their treatment. *Therapeutic Archive*. 1989;61(8):99–103 (In Russ.).
7. *Последствия облучения для здоровья человека в результате Чернобыльской аварии. Научное приложение D к докладу НКДАР ООН 2008 года Генеральной Ассамблеи*. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций; 2012.  
*Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. Annex D of UNSCEAR 2008: sources and effects of ionizing radiation*. New York: United Nations; 2012 (In Russ.).
8. Цыб АФ, Деденков АН, Иванов ВК, Степаненко ВФ, Пожидаев ВВ, Питкевич ВА и др. Разработка Всесоюзного регистра лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология*. 1989;34(7):3–6.  
Tsyb AF, Dedenkov AN, Ivanov VK, Stepanenko VF, Pozhidaev VV, et al. The development of an all-Union registry of persons exposed to radiation resulting from the accident at the Chernobyl atomic power station. *Medical Radiology*. 1989;34(7):3–6 (In Russ.).  
EDN: [VQKYOT](#)
9. Иванов ВК. *Ликвидаторы: радиологические последствия Чернобыля*. М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли; 2010.  
Ivanov VK. *Liquidators: radiological consequences of Chernobyl*. Moscow: Centre of social and environmental initiatives of the nuclear industry; 2010 (In Russ.).
10. Bazyka D, Sushko V, Chumak A, Chumak V, Yanovych L, eds. *Health effects of the Chernobyl Accident Thirty Years Aftermath*. Kyiv: DIA; 2016.
11. Иванов ВК, Максюттов МА, Туманов КА, Кочергина ЕВ, Власов ОК, Чекин СЮ и др. 35-летний опыт функционирования НРЭР как государственной информационной системы мониторинга радиологических последствий чернобыльской катастрофы. *Радиация и риск*. 2021;30(1):7–39.  
Ivanov VK, Maksiutov MA, Tumanov KA, Kochergina EV, Vlasov OK, Chekin SY, et al. 35-year experience in the functioning of the National radiation and epidemiological registry as a state information system for monitoring the radiologi-

- cal consequences of the Chernobyl accident. *Radiation and Risk*. 2021;30(1):7–39 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-1-7-39>
12. Питкевич ВА, Иванов ВК, Цыб АФ, Максюттов МА, Матяш ВА, Щукина НВ. Дозиметрические данные Российского государственного медико-дозиметрического регистра для ликвидаторов. *Радиация и риск*. 1995;S2:1–44. Pitkevich VA, Ivanov VK, Tsyb AF, Maksyutov MA, Matyash VA, Shchukina NV. Dosimetric data of the all-Russia medical and dosimetric state registry for emergency workers. *Radiation and Risk*. 1995;S2:1–44 (In Russ.). EDN: [HVIRLP](#)
  13. Schevchenko VA, Akayeva EA, Yeliseyeva IM, Yelisova TV, Yofa EL, Nilova IN, et al. Human cytogenetic consequences of the Chernobyl accident. *Mutation Research*. 1996;361(1):29–34. [https://doi.org/10.1016/S0165-1161\(96\)90226-5](https://doi.org/10.1016/S0165-1161(96)90226-5)
  14. Slozina N, Neronova E, Nikiforov A. Persistence of dicentric chromosomes in Chernobyl clean-up workers who suffered from low doses of radiation. *Applied Radiation and Isotopes*. 2001;55(3):335–8. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(01\)00059-8](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(01)00059-8)
  15. Снигирева ГП, Богомазова АН, Новицкая НН, Хазинс ЕД. Результаты многолетнего цитогенетического наблюдения за участниками ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2008;53(4):38–45. Snigiryova GP, Bogomazova AN, Novitskaya NN, Khazins ED. Results of the long-term cytogenetic monitoring of Chernobyl recovery workers. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2008;53(4):38–45 (In Russ.). EDN: [JTCYAP](#)
  16. Воробцова ИЕ, Семенов АВ. Комплексная цитогенетическая характеристика лиц, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2006;46(2):140–51. Vorobtsova IE, Semyonov AV. Complex cytogenetic characteristic of people suffered from Chernobyl accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2006;46(2):140–51 (In Russ.). EDN: [HTGIQN](#)
  17. Снигирева ГП, Шевченко ВА, Новицкая НН. Использование FISH метода для реконструкции поглощенных доз, полученных участниками ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 1995;35(5):654–61. Snigiryova GP, Shevchenko VA, Novitskaya NN. The use of the FISH method for reconstructing the absorbed doses received by participants in the clean-up of the accident at the Chernobyl atomic electric power station. *Radiat Biol Radioecol*. 1995;35(5):654–61 (In Russ.). PMID: 7489098
  18. Нугис ВЮ, Бушманов АЮ, Западинская ЕЭ, Козлова МГ, Тихонова ОА. Цитогенетические исследования через 28–29 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2016;61(4):35–42. Nugis VYu, Bushmanov AYu, Zapadinskaya HE, Kozlova MG, Tyhonova OA. Cytogenetic studies 28–29 years after the accident at the Chernobyl NPP. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2016;61(4):35–42 (In Russ.). EDN: [WHAWLH](#)
  19. Смирнова СГ, Орлова НВ, Замулаева ИА, Ткаченко НГ, Лозебной НИ, Каплан МА и др. Мониторинг частоты лимфоцитов, мутантных по генам Т-клеточного рецептора, у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС в отдаленный пострадиационный период. *Радиация и риск*. 2012;21(1):20–9. Smirnova SG, Orlova NV, Zamulaeva IA, Tkachenko NP, Lozebnoy NI, Kaplan MA, et al. Monitoring of the frequency of lymphocytes with mutations at T-cell receptor locus in Chernobyl cleanup workers. *Radiation and Risk*. 2012;21(1):20–9 (In Russ.). EDN: [ORDUIR](#)
  20. Saenko AS, Zamulaeva IA, Smirnova SG, Orlova NV. Determination of somatic mutant frequencies at glycophorin A and T-cell receptor loci for biodosimetry of acute and prolonged irradiation. *Applied Radiation and Isotopes*. 2000;52(5):1145–8. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(00\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00061-0)
  21. Орадovская ИВ. Иммунологический мониторинг катастрофы в Чернобыле. *Итоги многолетних наблюдений 1986–2000 гг.* М.: КнигИздат; 2021. Oradovskaya IV. *Immunological monitoring of the Chernobyl accident. Results of long term observations (1986–2000)*. Moscow: KnigIzdat; 2021 (In Russ.).
  22. Yarinlin AA, Belyakov IM, Kusmenok OI, Arshinov VY, Simonova AV, Nadezhina NM, et al. Late T cell deficiency in victims of the Chernobyl radiation accident: possible mechanisms of induction. *International Journal of Radiation Biology*. 1993;63(4):519–28. <https://doi.org/10.1080/09553009314550681>
  23. Калинина НМ, Давыдова НИ, Бычкова НВ. Показатели иммунитета у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде (через 24 года). *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2011;3:58–62. Kalinina NM, Davydova NI, Bychkova NV. Chernobyl liquidator's immune parameters in long period after accident (in 24 years). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2011;3:58–62 (In Russ.). EDN: [QYKOTL](#)
  24. Пелевина ИИ, Орадovская ИВ, Мансурова ЮГ, Алещенко АВ, Антошина ММ, Кудряшова ОВ и др. Связь молекулярноклеточных показателей и иммунного статуса у лимфоцитов крови ликвидаторов аварии на ЧАЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2010;50(5):501–7. Pelevina II, Oradovskaya IV, Mansurova YuG, Aleschenko AV, Antoschina MM, Kudriashova OV, et al. The connection between molecular cellular parameters and immune status of liquidators after Chernobyl accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2010;50(5):501–7 (In Russ.). EDN: [NBTCJP](#)
  25. Иванов ВК, Кащеев ВВ, Карпенко СВ, Глебова СЕ, Туманов КА, Чекин СЮ и др. Заболеваемость и смертность от лейкозов участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: оценка радиационных рисков за период наблюдения с 1986 по 2014 г. *Радиационная гигиена*. 2018;11(4):7–17. Ivanov VK, Kashcheev VV, Karpenko SV, Glebova SE, Tumanov KA, Chekin SYu, et al. Leukemia incidence and mortality of recovery operation workers of the Chernobyl accident: assessment of radiation risks for the follow-up period 1986–2014. *Radiation Hygiene*. 2018;11(4):7–17 (In Russ.). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-4-7-17>
  26. Иванов ВК, Цыб АФ, Хайт СЕ, Кащеев ВВ, Чекин СЮ, Максюттов МА, et al. Leukemia incidence in the Russian cohort of Chernobyl emergency workers. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2012;51(2):143–9. <https://doi.org/10.1007/s00411-011-0400-y>
  27. Кащеев ВВ, Чекин СЮ, Карпенко СВ, Максюттов МА, Туманов КА, Кочергина ЕВ и др. Оценка радиационных рисков злокачественных новообразований среди российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиация и риск*. 2021;30(1):58–77. Kashcheev VV, Chekin SYu, Karpenko SV, Maksyutov MA, Tumanov KA, Kochergina EV, et al. Estimating of radiation risks of malignant neoplasms among Russian Chernobyl cleanup workers. *Radiation and Risk*. 2021;30(1):58–77 (In Russ.). <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-1-58-77>
  28. Ozasa K, Shimizu Yu, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, et al. Studies of the mortality of atomic bomb survivors,

- Report 14, 1950-2003: An overview of cancer and noncancer diseases. *Radiation Research*. 2012;177(3):229–43. <https://doi.org/10.1667/rr2629.1>
29. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry LH, Kleiman NJ, MacVittie TJ, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs — threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Annals of ICRP*. 2012;41(1–2):1–322. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.02.001>
  30. Чекин СЮ, Горский АИ, Максюттов МА, Корело АМ, Карпенко СВ, Туманов КА и др. Влияние облучения на заболеваемость нервной системы среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. *Радиация и риск*. 2025;34(1):14–31. Chekin SYu, Gorski AI, Maksyutov MA, Korelo AM, Karpenko SV, Tumanov KA, et al. Impact of radiation in nerves system incidence among the workers involved in mitigation of the Chernobyl accident. *Radiation and Risk*. 2025;34(1):14–31 (In Russ.). <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2025-34-1-14-31>
  31. Чекин СЮ, Максюттов МА, Карпенко СВ, Горский АИ, Туманов КА, Щукина НВ и др. Оценка радиационных рисков болезней органов дыхания у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции с учетом влияния других болезней, выявленных у них за период наблюдения. *Радиация и риск*. 2025;34(2):21–38. Chekin SYu, Maksyutov MA, Karpenko SV, Gorski AI, Tumanov KA, Shchukina NV, et al. Estimation of radiation risks of respiratory diseases in liquidators of the Chernobyl nuclear power plant accident consequences taking into account the influence of other diseases detected in them during the observation period. *Radiation and Risk*. 2025;34(2):21–38 (In Russ.). <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2025-34-2-21-38>
  32. Чекин СЮ, Горский АИ, Максюттов МА, Карпенко СВ, Туманов КА, Щукина НВ и др. Оценка радиационных рисков болезней органов пищеварения у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с учетом влияния других болезней, выявленных у них за период наблюдения. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2025;70(4):55–65. Chekin SYu, Gorski AI, Maksyutov MA, Karpenko SV, Tumanov KA, Shchukina NV, et al. Assessment of radiation risks of digestive system diseases among Chernobyl liquidators, considering the influence of other diseases identified in them during the follow-up period. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2025;70(4):55–65 (In Russ.).
  33. Чекин СЮ, Максюттов МА, Кашеев ВВ, Карпенко СВ, Туманов КА, Кочергина ЕВ и др. Оценка радиационных рисков онкологических заболеваний среди российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиация и риск*. 2021;30(1):78–93. Chekin SYu, Maksyutov MA, Kashcheev VV, Karpenko SV, Tumanov KA, Kochergina EV, et al. Estimating of radiation risks of non-cancer diseases among Russian Chernobyl cleanup workers. *Radiation and Risk*. 2021;30(1):78–93 (In Russ.). <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-1-78-93>
  34. Аклеев АА, Блинова ЕА, Аклеев АВ. Однонуклеотидные полиморфизмы как биомаркеры отдаленных радиационно-индуцированных изменений системного иммунитета. *Патогенез*. 2021;19(3):38–49. Akleyev AA, Blinova EA, Akleyev AV. Single-nucleotide polymorphism as biomarkers of long-term radiation-induced changes in systemic immunity. *Pathogenesis*. 2021;19(3):38–49 (In Russ.). <https://doi.org/10.25557/2310-0435.2021.03.38-49>
  35. Трапезникова ЛН, Пискунов НФ. Опыт организации радиационно-гигиенического мониторинга и оценка радиационной обстановки на территории Брянской области спустя 25 лет со дня катастрофы на Чернобыльской АЭС. *Радиационная гигиена*. 2011;4(2):113–9. Trapeznikova LN, Piskunov NF. Experience of radiation-hygienic monitoring management and assessment of radiation situation in the Bryansk territory after 25 years since the day of the Chernobyl accident. *Radiation Hygiene*. 2011;4(2):113–9 (In Russ.). EDN: [NXLBUB](https://doi.org/10.21870/0131-3878-2011-4-2-113-9)
  36. Меньяйло АН, Кашеев ВВ, Пряхин ЕА, Чекин СЮ, Максюттов МА, Туманов КА и др. Прогноз радиационных рисков населения, проживающего на загрязненных <sup>137</sup>Cs территориях России, в соответствии с современными рекомендациями МКРЗ. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020;65(3):45–52. Menyajlo AN, Kashcheev VV, Pryakhin EA, Maksyutov MA, Tumanov KA, et al. Forecast of Radiation risks of the population in the contaminated <sup>137</sup>Cs territories of Russia, in accordance with current ICRP recommendations. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2020;65(3):45–52 (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-3-45-52>
  37. Shinkarev S, Voillequé P, Gavrilin Yu, Khrouch V, Bouville A, Hoshi M, et al. Credibility of Chernobyl thyroid doses exceeding 10 Gy based on in-vivo measurements of <sup>131</sup>I in Belarus. *Health Physics*. 2008;94(2):180–7. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000288044.73410.6b>
  38. Онищенко ГГ Попова АЮ, ред. *Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС*. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамазаева; 2016. Onishchenko GG, Popova AYu, eds. *Radiological and hygienic issues of the mitigation of the Chernobyl NPP accident consequences*. St.-Petersburg: Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev; 2016 (In Russ.).
  39. Воробцова ИТ, Колубаева СН, Воробьева МВ, Коротков ДВ, Комар ВЕ. Цитогенетическая характеристика детей, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология*. 1993;38(10):25–8. Vorobtsova IE, Kolyubaeva SN, Vorob'eva MV, Korotkov DV, Komar VE. Cytogenetic characteristics of children who suffered as a result of the Chernobyl power plant accident. *Medical Radiology*. 1993;38(10):25–8 (In Russ.). EDN: [KSQMAD](https://doi.org/10.21870/0131-3878-1993-38-10-25-8)
  40. Воробцова ИЕ, Богомазова АН. Стабильные хромосомные aberrации в лимфоцитах периферической крови лиц, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 1995;35(5):636–40. Vorobtsova IE, Bogomazova AN. Stable chromosome aberrations in the lymphocytes of the peripheral blood in persons who suffered as a result of the accident at the Chernobyl atomic electric power station. *Radiation Biology. Radioecology*. 1995;35(5):636–40 (In Russ.). PMID: 7489095
  41. Шевченко ВА, Снигирева ГП. Значимость цитогенетического обследования для оценки последствий Чернобыльской катастрофы. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2006;46(2):133–9. Shevchenko VA, Snigiryova GP. The significance of cytogenetic investigation for the estimation of Chernobyl accident consequences. *Radiation Biology. Radioecology*. 2006;46(2):133–9 (In Russ.). EDN: [HTGIQD](https://doi.org/10.21870/0131-3878-2006-46-2-133-9)
  42. Zupunski L, Ostroumova E, Drozdovitch V, Veyalkin I, Ivanov V, Yamashita S, et al. Thyroid cancer after exposure to radioiodine in childhood and adolescence: <sup>131</sup>I-related risk and the role of selected host and environmental factors.

- Cancers*. 2019;11(10):1481.  
<https://doi.org/10.3390/cancers11101481>
43. Иванов ВК, Кашчев ВВ, Чекин СЮ, Максюттов МА, Туманов КА, Кочергина ЕВ и др. Оценка радиационных рисков злокачественных новообразований среди населения регионов России, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиация и риск*. 2021;30(1):131–46.  
Ivanov VK, Kashcheev VV, Chekin SYu, Maksoutov MA, Tumanov KA, Kochergina EV, et al. Assessment of radiation risks of malignant neoplasms among the population of Russian regions contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident. *Radiation and Risk*. 2021;30(1):131–46 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-1-131-146>
  44. Brenner AV, Mykola DT, Hatch M, Bogdanova TI, Oliynik VA, Lubin JH, et al. I-131 Dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chornobyl accident. *Environmental Health Perspectives*. 2011;119(7):933–9.  
EDN: [OLBVRP](https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6605967)
  45. Zablotska LB, Ron E, Rozhko AV, Hatch M, Polyanskaya ON, Brenner AV, et al. Thyroid cancer risk in Belarus among children and adolescents exposed to radioiodine after the Chornobyl accident. *British Journal of Cancer*. 2011;104(1):181–7.  
<https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6605967>
  46. Михайлова АА, Шестаков АВ, Чубакова КА, Колоколова ЕВ, Елисеев ВЮ, Костяева МЯ и др. Современные концепции молекулярного патогенеза рака щитовидной железы. *Успехи молекулярной онкологии*. 2021;8(2):8–22.  
Mikhailova AA, Shestakov AV, Chubakova KA, Kolokolova EV, Eliseev VY, Kostyaeva MY, et al. Modern concepts of the molecular pathogenesis of thyroid cancer. *Advances in Molecular Oncology*. 2021;8(2):8–22 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17650/2313-805X-2021-8-2-8-22>
  47. Качко ВА, Платонова НМ, Ванушко ВЭ, Шифман БМ. Роль молекулярной диагностики при опухолях щитовидной железы. *Проблемы эндокринологии*. 2020;66(3):33–46.  
Kachko VA, Platonova NM, Vanushko VE, Shifman BM. The role of molecular testing in thyroid tumors. *Problems of Endocrinology*. 2020;66(3):33–46 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.14341/probl12491>
  48. Якушина ВД, Лернер ЛВ, Казубская ТП, Кондратьева ТТ, Субраманиан С, Лавров АВ. Молекулярно-генетическая структура фолликулярно-клеточного рака щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2016;12(2):55–64.  
Yakushina VD, Lerner LV, Kazubskaya TP, Kondrat'ieva TT, Subramanian S, Lavrov AV. Molecular genetics of follicular cell thyroid carcinoma. *Clinical and Experimental Thyroidology*. 2016;12(2):55–64 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.14341/ket2016255-64>
  49. Nikiforov YE, Nikiforova MN. Molecular genetics and diagnosis of thyroid cancer. *Nature Reviews Endocrinology*. 2011;7(10):569–80.  
<https://doi.org/10.1038/nrendo.2011.142>
  50. Лушников ЕФ, Цыб АФ, Ямасита С. *Рак щитовидной железы в России после Чернобыля*. М.: Медицина; 2006.  
Lushnikov EF, Tsyb AF, Yamashita S. *Thyroid cancer in Russia after the Chernobyl*. Moscow: Medicine; 2006 (In Russ.).
  51. Menicali E, Moretti S, Voce P, Romagnoli S, Avenia N, Puxeddu E. Intracellular signal transduction and modification of the tumor microenvironment induced by RET/PTCs in papillary thyroid carcinoma. *Frontiers in Endocrinology*. 2012;3:67.  
<https://doi.org/10.3389/fendo.2012.00067>
  52. Thomas G. Radiation and thyroid cancer—an overview. *Radiation Protection Dosimetry*. 2018;182(1):53–7.  
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncy146>
  53. Nikiforov YE. Is ionizing radiation responsible for the increasing incidence of thyroid cancer? *Cancer*. 2010;116:1626–8.  
<https://doi.org/10.1002/cncr.24889>
  54. Бирюков АП, Ушенкова ЛН, Котеров АН. Генные перестройки RET/PTC в детских папиллярных карциномах щитовидной железы после аварии на ЧАЭС: свидетельство неполной лучевой атрибутивности опухолей. *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности*. 2015;2(14):24–40.  
Biryukov AP, Ushenkova LN, Koterov AN. RET/PTC gene rearrangements in children's papillary thyroid carcinoma after the Chernobyl accident: evidence of tumors incomplete radiation attributiveness. *Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2015;2(14):24–40 (In Russ.).  
EDN: [WJBQZL](https://doi.org/10.26442/00403660.2019.10.000357)
  55. Рогова МО, Новосад СВ, Мартиросян НС, Трухина ЛВ, Петунина НА. Молекулярно-генетические маркеры как факторы риска развития рака щитовидной железы. *Терапевтический архив*. 2019;91(10):119–23.  
Rogova MO, Novosad SV, Martirosian NS, Trukhina LV, Petunina NA. Molecular markers as risk factors for thyroid cancer. *Therapeutic Archive*. 2019;91(10):119–23 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.26442/00403660.2019.10.000357>
  56. Xing M. Molecular pathogenesis and mechanisms of thyroid cancer. *Nature Reviews Cancer*. 2013;13(3):184–99.  
<https://doi.org/10.1038/nrc3431>
  57. Lima J, Trovisco V, Soares P, Máximo V, Magalhães J, Salvatore G, et al. BRAF mutations are not a major event in post-Chernobyl childhood thyroid carcinomas. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2004;89(9):4267–71.  
<https://doi.org/10.1210/jc.2003-032224>
  58. Кочергина ЕВ, Горский АИ, Чекин СЮ, Корело АМ, Туманов КА, Зеленская НС и др. Радиационно-эпидемиологическое исследование заболеваемости потомков первого поколения участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. *Радиация и риск*. 2021;30(1):110–30.  
Kochergina EV, Gorski AI, Chekin SYu, Korelo AM, Tumanov KA, Zelenskaya NS, et al. General morbidity among children of Chernobyl cleanup workers: radiation epidemiological study. *Radiation and Risk*. 2021;30(1):110–30 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-1-110-130>
  59. Коренев НМ, Бориско ГА, Кашина-Ярмак ВЛ. Состояние здоровья детей, рожденных в семьях родителей, облученных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. *Здоровье ребенка*. 2012;6:66–70.  
Korenev NM, Borisko GA, Kashina-Yarmak VL. Health status of children, born in families of parents which were irradiated due to Chernobyl NPP accident. *Pediatric Health*. 2012;6:66–70 (In Russ.).  
EDN: [PFXMEZ](https://doi.org/10.1038/nrendo.2011.142)
  60. Лягинская АМ, Туков АР, Осипов ВА, Ермалицкий АП, Прохорова ОН. Врожденные пороки развития у потомства ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2009;49(6):694–702.  
Lyaginskaya AM, Tukov AR, Osipov VA, Ermalitskiy AP, Prokhorova ON. Congenital malformations among offspring of the liquidators of the consequences from Chernobyl accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2009;49(6):694–702.  
EDN: [KYGPDV](https://doi.org/10.3389/fendo.2012.00067)
  61. Котеров АН, Бирюков АП. Дети участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Сообщение 1. Оценка принципиальной возможности зарегистрировать радиационные эффекты. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2012;57(1):58–79.  
Koterov AN, Biryukov AP. The offspring of liquidators of Chernobyl atomic power station accident 1. The estima-

- tion of the basic opportunity to register of radiation effects. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2012;57(1):58–79 (In Russ.).  
EDN: [SNYBRL](#)
62. Агаджанян АВ, Сусков ИИ. Геномная нестабильность у детей, рожденных после аварии на ЧАЭС (исследования *in vivo* и *in vitro*). *Генетика*. 2010;46(6):834–43.  
EDN: [MSQIOV](#)  
Aghajanyan AV, Suskov II. Genomic instability in children born after the Chernobyl nuclear accident (*in vivo* and *in vitro* studies). *Russian Journal of Genetics*. 2010;46(6):740–9.  
<https://doi.org/10.1134/S1022795410060153>
63. Сусков ИИ, Кузьмина НС, Сускова ВС, Балева ЛС, Сипягина АЕ. Проблема индуцированной геномной нестабильности как основы повышенной заболеваемости у детей, подвергающихся низкоинтенсивному воздействию радиации в малых дозах. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2006;46(2):167–77.  
Suskov II, Kuzmina NS, Suskova VS, Baleva LS, Sipyagina AE. The problem of induced genome instability as the basis of increased morbidity among children exposed to low-intensity radiation at low doses. *Radiation Biology. Radioecology*. 2006;46(2):167–77 (In Russ.).  
EDN: [HTGIRR](#)
64. Балева ЛС, Сухоруков ВС, Сипягина АЕ, Карахан НМ, Воронкова АС, Садыков АР. Роль геномной нестабильности и экспрессии генной сети белка р53 в процессах онкогенеза в 1–2-м поколениях детей, проживающих на радиационно-загрязненных территориях. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2017;62(1):81–6.  
Baleva LS, Sukhorukov VS, Sipyagina AE, Karakhan NM, Voronkova AS, Sadykov AR. The role of genomic instability and expression of the p53 protein gene network in the processes of oncogenesis in first- and second-generation children living in radioactively contaminated areas. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2017;62(1):81–6 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.21508/1027-4065-2017-62-1-81-86>
65. Агаджанян А, Сусков И. Transgenerational genomic instability in children of irradiated parents as a result of the Chernobyl nuclear accident. *Mutation Research*. 2009;671(1-2):52–7.  
<https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2009.08.012>
66. Балева ЛС, Сипягина АЕ, Смирнова СГ, Селиванова ЕИ, Кузьмина ТБ, Орлова НВ и др. Значение исследования частоты мутантных клеток по локусам Т-клеточного рецептора у детей ликвидаторов аварии на ЧАЭС для формирования групп высоко канцерогенного риска. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2010;55(4):102–9.  
Baleva LS, Sipyagina AE, Smirnova SG, Selivanova EI, Kuzmina TB, Orlova NV, et al. Value of studying the frequency of mutant cells from T-cell receptor loci in Chernobyl accident liquidator's children in forming high carcinogenic risk groups. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2010;55(4):102–9 (In Russ.).  
EDN: [MVAHX](#)
67. Yeager M, Machiela MJ, Kothiyal P, Dean M, Bodelon C, Suman S, et al. Lack of transgenerational effects of ionizing radiation exposure from the Chernobyl accident. *Science*. 2021;372(6543):725–9.  
<https://doi.org/10.1126/science.abg2365>
68. Замулаева ИА, Смирнова СГ, Орлова НВ, Верещагина АО, Чекин СЮ, Смирнова ИА и др. Соматический мутагенез по локусу Т-клеточного рецептора у жителей загрязненных радионуклидами территорий в результате аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2006;46(3):307–14.  
Zamulaeva IA, Smirnova SG, Orlova NV, Vereschagina AO, Chekin SYu, Smirnova IA, et al. Somatic mutagenesis at T-cell receptor locus in inhabitants of radiation polluted regions as a result of the Chernobyl disaster. *Radiation Biology. Radioecology*. 2006;46(3):307–14 (In Russ.).  
EDN: [HTVIRR](#)
69. Смирнова СГ, Орлова НВ, Крикунова ЛИ, Мкртчян ЛС, Замулаева ИА. Частота лимфоцитов с мутациями по локусу Т-клеточного рецептора у жителей радиационно загрязненных районов Брянской области спустя 28 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2016;56(3):285–92.  
Smirnova SG, Orlova NV, Krikunova LI, Mkrtychyan LS, Zamulaeva IA. Frequency of lymphocytes with mutations at the locus of T-cell receptor in resident of radiation polluted Bryansk region after 28 years after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2016;56(3):285–92 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.7868/S0869803116030164>
70. Горобец ВФ, Давыдов ГА, Горобец НЯ, Давыдова ЕВ. Динамика физического развития детей из Калужской области, облученных вследствие инкорпорации <sup>131</sup>I на различных этапах раннего онтогенеза. *Радиация и риск*. 2020;29:129–39.  
Gorobets VF, Davydov GA, Gorobets NYa, Davydova EV. Effects of prenatal exposure to the Chernobyl radioiodine on postnatal physical development of children from the Kaluga region. *Radiation and Risk*. 2020;29:129–39 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.21870/0131-3878-2020-29-1-129-139>
71. Davis S, Day RW, Kopecky KJ, Mahoney MC, McCarthy PL, Michalek AM, et al. Childhood leukaemia in Belarus, Russia, and Ukraine following the Chernobyl power station accident: results from an international collaborative population-based case-control study. *International Journal of Epidemiology*. 2006;35(2):386–96.  
<https://doi.org/10.1093/ije/dyi220>
72. Цыб АФ, Матвеевко ЕГ, Горобец ВФ, Боровикова МП, Темникова ЕИ, Горобец НЯ. Динамика морфофункционального состояния щитовидной железы у внутриутробно облученных детей из юго-западного региона Калужской области в течение первого десятилетия после Чернобыльской аварии. *Радиация и риск*. 2001;12:42–7.  
Tsyb AF, Matveenko EG, Gorobets VF, Borovikova MP, Temnikova EI, Gorobets NYa. Dynamics of the morphological and functional state of thyroid in utero irradiated children from the south-west part of the Kaluga region during the first ten years after the Chernobyl accident. *Radiation and Risk*. 2001;12:42–7 (In Russ.).  
EDN: [IJTMFL](#)
73. Горобец ВФ. Заболеваемость тиреопатиями в дупербатный период детей из Калужской области, облученных вследствие инкорпорации техногенного <sup>131</sup>I на неонатальном и раннем грудном этапе развития. *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности*. 2012;1(7):11–7.  
Gorobets VF. Incidence of thyroid diseases in the period before puberty at the Kaluga oblast children irradiated owing to technogenic incorporation <sup>131</sup>I on neonatal and early breast-feeding stage. *Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2012;1(7):11–7 (In Russ.).  
EDN: [PJBFGN](#)
74. Горобец ВФ. Динамика заболеваемости тиреопатиями в допубертатный период детей из юго-западного региона Калужской области, облученных внутриутробно вследствие инкорпорации техногенного йода-131. *Радиация и риск*. 2012;21(1):30–8.  
Gorobets VF. The dynamics of thyroid diseases incidence in the period before puberty at children from southwest region of the Kaluga oblast irradiated in utero owing to technogenic iodine-131 incorporation. *Radiation and Risk*. 2012;21(1):30–8 (In Russ.).  
EDN: [ORDUJL](#)

75. Горобец ВФ. Анализ динамики заболеваемости тиреопатиями в допубертатном возрасте детей из Калужской области, облученных вследствие инкорпорации техногенного <sup>131</sup>I в антенатальном, неонатальном и грудном периодах развития. *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности*. 2013;2(10):109–16.

Gorobets VF. Analyses of dynamics of thyroid diseases incidence in the period before puberty at the Kaluga region children irradiated owing to technogenic <sup>131</sup>I incorporation on antenatal, neonatal and breast-feeding stages of development. *Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2013;2(10):109–16 (In Russ.).

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: В.И. Скворцова — разработка концепции и структуры рукописи, целей и задач, финальное редактирование рукописи; А.Д. Каприн — разработка концепции раздела по оценке состояния здоровья у ликвидаторов и населения радиоактивно-загрязненных территорий (РЗТ); И.К. Романович — разработка концепции раздела по радиационно-гигиеническому мониторингу РЗТ Российской Федерации; И.В. Борисевич — разработка концепции раздела по анализу радиационной обстановки на РЗТ и уровней радиационного облучения населения; С.А. Иванов — подготовка раздела рукописи по оценке состояния здоровья ликвидаторов аварии на ЧАЭС и населения РЗТ; Ю.Д. Удалов — подготовка раздела рукописи по детерминированным эффектам у аварийного персонала ЧАЭС; И.А. Берзин — разработка концепции раздела по анализу радиационной обстановки на РЗТ и уровней радиационного облучения населения; А.А. Аклеев — подготовка разделов рукописи по состоянию иммунитета и патогенетическим механизмам отдаленных эффектов у ликвидаторов аварии; Ю.Р. Ахмадулина — подготовка раздела рукописи по цитогенетическим последствиям; Е.А. Блинова — подготовка раздела рукописи по биологическим маркерам рака щитовидной железы у облученных детей; А.А. Братилова — подготовка раздела рукописи по радиационно-гигиеническому мониторингу и оценке доз у населения; А.Ю. Бушманов — подготовка раздела рукописи по диагностике и лечению острой лучевой болезни (ОЛБ); И.А. Галстян — подготовка раздела рукописи по диагностике и лечению ОЛБ; В.К. Иванов — подготовка раздела рукописи по Национальному радиационно-эпидемиологическому регистру; М.В. Кончаловский — подготовка раздела рукописи по диагностике и лечению ОЛБ; О.С. Кравцова — подготовка раздела рукописи по радиационно-гигиеническому мониторингу и оценке доз у населения; И.С. Кузнецова — подготовка раздела рукописи по отдаленным эффектам у ликвидаторов; М.А. Максютов — подготовка раздела рукописи по эффектам облучения ликвидаторов и населения; Н.А. Метляева — подготовка раздела рукописи по диагностике и лечению ОЛБ; С.Ф. Соснина — подготовка раздела рукописи по трансгенерационным эффектам; Ю.В. Царева — подготовка раздела рукописи по эффектам внутриутробного облучения; С.Ю. Чекин — подготовка раздела рукописи по эффектам облучения ликвидаторов и населения; С.М. Шинкарев — подготовка раздела рукописи по оценке доз облучения щитовидной железы у населения; О.В. Щербатых — подготовка раздела рукописи по диагностике и лечению ОЛБ; Л.А. Юнанова — подготовка раздела рукописи по диагностике и лечению ОЛБ; А.В. Аклеев — подготовка финальной версии рукописи, введения и заключения, редактирование.

## Об авторах:

Скворцова Вероника Игоревна, д-р мед. наук, профессор, член-корр. РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2815-280X>  
 Каприн Андрей Дмитриевич, д-р мед. наук, профессор, академик РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>  
 Романович Иван Константинович, д-р мед. наук, профессор, академик РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0668-459X>  
 Борисевич Игорь Владимирович, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0713-7419>  
 Иванов Сергей Анатольевич, д-р мед. наук, член-корр. РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>  
 Удалов Юрий Дмитриевич, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9739-8478>  
 Берзин Игорь Александрович, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4147-8054>  
 Аклеев Андрей Александрович, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2936-2357>  
 Ахмадулина Юлия Рафисовна, канд. биол. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4394-2228>  
 Блинова Евгения Андреевна, канд. биол. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2567-7945>  
 Братилова Анжелика Анатольевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6489-3974>  
 Бушманов Андрей Юрьевич, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1565-4560>  
 Галстян Ирина Алексеевна, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7571-971X>  
 Иванов Виктор Константинович, д-р тех. наук, профессор, член-корр. РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1372-0018>  
 Кончаловский Михаил Вадимович, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0812-4596>  
 Кравцова Ольга Сергеевна, канд. биол. наук, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5543-5411>  
 Кузнецова Ирина Сергеевна, канд. биол. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1214-295X>  
 Максютов Марат Адильевич, канд. тех. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7229-0092>  
 Метляева Нэля Андреевна, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3863-8424>  
 Соснина Светлана Фаридовна, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-0963>  
 Царева Юлия Вячеславовна, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5559-4457>  
 Чекин Сергей Юрьевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6759-868X>  
 Шинкарев Сергей Михайлович, д-р тех. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0844-4733>  
 Щербатых Ольга Владимировна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6071-8984>  
 Юнанова Любовь Алексеевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6858-9219>  
 Аклеев Александр Васильевич, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2583-5808>