

Микрюкова Л.Д.

## Смертность от рака лёгкого в когорте населения, подвергшегося хроническому радиационному воздействию

ФГБУН «Уральский научно-практический центр радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства», 454141, Челябинск, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** В работе представлены результаты исследования, направленного на оценку эпидемиологического риска для здоровья населения, проживающего на Южном Урале в населенных пунктах, загрязненных радиоактивными отходами в результате аварий на ПО «Маяк».

**Цель работы** – оценка показателей смертности от рака лёгких (РЛ) у населения, пострадавшего вследствие хронического радиационного воздействия на Южном Урале.

**Материалы и методы.** В Уральскую когорту аварийно-облучённого населения (УКАОН) включены 62 592 человека, из них 27 789 мужчин и 34 803 женщины. Это население пострадало от хронического радиационного облучения на Южном Урале с 1950 по 1960 г. на реке Тече и Восточно-Уральском радиоактивном следе. Период наблюдения – 71 год (с 1950 по 2020 г.).

**Результаты.** За 71 год в когорте на территории наблюдения зарегистрировано 925 случаев смерти от РЛ. Число человеко-лет наблюдения под риском – 1 964 140. Анализ динамики показателей смертности от РЛ в период 1950–2020 гг. выявил статистически значимый рост. Как грубые, так и стандартизованные по возрасту коэффициенты смертности статистически значимо выше у мужчин по сравнению с женщинами (примерно в 13,5 раза). Установлено достоверное увеличение показателей смертности от РЛ у мужчин с 2016 по 2020 г. в сравнении с более ранними десятилетними периодами. Смертность от РЛ среди женщин растёт медленно, различия по периодам статистически недостоверны. Стандартизованные показатели смертности от РЛ статистически значимо выше у славян (преимущественно русских) по сравнению с группой тюрков (татары и башкиры) во все периоды наблюдения, кроме последнего (с 2016 по 2020 г.). Стандартизованные коэффициенты смертности от РЛ в УКАОН достоверно выше у курящих по сравнению с некурящими (более чем в 20 раз).

**Ограничения исследования.** В изучаемой когорте отмечена относительно большая доля неизвестных причин смерти, а также доля населения, потерянного для наблюдения, к которым относятся лица, мигрировавшие с территории наблюдения, и лица с неизвестным статусом на конец периода наблюдения. Это может уменьшить статистическую силу исследования, но не должно приводить к ухудшению его качества, так как известны точная дата входа и выхода с территории наблюдения при подсчёте человеко-лет и данные о случаях смерти от РЛ для сравниваемых групп.

**Заключение.** Проведённый анализ смертности от РЛ в когорте облучённого населения за период с 1950 по 2020 г. выявил следующие тенденции, характерные и для населения России в целом: рост смертности от РЛ в последние годы наблюдения, стандартизованные по возрасту коэффициенты смертности статистически значимо выше у мужчин, чем у женщин, у курящих по сравнению с некурящими.

**Ключевые слова:** рак лёгкого; Уральская когорта аварийно-облучённого населения (УКАОН); смертность; стандартизованные показатели

**Соблюдение этических стандартов.** Протокол № 2 от 21.02.2025 г. заседания Этического комитета ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России.

**Для цитирования:** Микрюкова Л.Д. Смертность от рака лёгкого в когорте населения, подвергшегося хроническому радиационному воздействию. Гигиена и санитария. 2025; 104(3): 265–271. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-3-265-271> <https://elibrary.ru/tljwoh>

**Для корреспонденции:** Микрюкова Людмила Дмитриевна, e-mail: mikludm@mail.ru

**Благодарности.** Выражена благодарность коллективу биофизической лаборатории УНПЦ РМ за предоставленные оценки доз, коллективу отдела базы данных «Человек» за обновлённые данные регистров медико-дозиметрической базы данных УНПЦ РМ, а также всему коллективу эпидемиологической лаборатории за подготовку данных к анализу.

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года».

Поступила: 21.06.2024 / Поступила после доработки: 07.08.2024 / Принята к печати: 03.12.2024 / Опубликована: 31.03.2025

Lyudmila D. Mikryukova

## Lung cancer mortality in a cohort of population exposed to chronic radiation

Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal medical biological agency of Russia, Chelyabinsk, 454141, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The paper presents the results of studies aimed at assessing epidemiological risk to the health of the population residing in the territories contaminated as a result of production activity of Production Association “Mayak” in the South Urals.

**The objective of the work** is to estimate mortality rates from lung cancer (LC) in the population chronically exposed to radiation in the South Urals.

**Materials and methods.** The South Urals Population Exposed to Radiation (SUPER) Cohort of sixty two thousand five hundred ninety two people (27,789 are men, 34,803 – women) includes all persons exposed to radiation in the South Urals from 1950 to 1960 on the Techa River and the South Urals Radioactive Trace. The follow-up period is 71 years (from 1950 to 2020).

**Results.** Over a 71-year follow-up period, 925 LC-related death cases have been registered in the cohort in the follow-up territory. The number of person-years at risk was 1,964,140. The results of analyzing the trends in LC mortality rates between 1950 and 2020 showed a statistically significant increase. Both crude and age-standardized mortality rates in men are statistically significantly higher than in women (by a factor of about 13.5). A significant increase in LC mortality rates was found in men from 2016 to 2020 compared to earlier 10-year periods. LC mortality rate among women is increasing slowly and differences by periods are statistically unreliable. Standardized LC mortality rates are statistically significantly higher in the Slavs (predominantly Russians) compared to the Turkic group (Tatars and Bashkirs) over all follow-up periods, except for the last one from 2016 to 2020. Standardized LC mortality rates in the SUPER cohort in smokers are significantly higher compared to non-smokers (more than 20-fold).

**Limitations.** Relatively high percentage of unknown causes of death in the current study of the analyzed cohort is characterized by a high percentage of the unknown causes of death, as well as of the population lost to follow-up. The latter includes people who migrated from the catchment area and people whose vital status is unknown as of the end of the follow up period. All these factors could decrease the statistical power of the study but would not lower the quality since the exact date of the entry to and exit from the catchment area, the number of person-years and deaths from lung cancer are known for the compared groups.

**Conclusion.** The analysis of LC mortality rate in the cohort of the exposed population for the period from 1950 to 2020 revealed the following trends, typical for the general population of Russia as well: an increase in LC mortality rate in the recent follow-up years, age-standardized mortality rates are statistically significantly higher in men than in women, in smokers than in non-smokers.

**Keywords:** lung cancer; Southern Urals populations exposed to radiation cohort (SUPER); mortality; standardized rates

**Compliance with ethical standards.** Protocol No. 2 of the meeting of the Ethics Committee of the Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal Medical and Biological Agency of Russia dated 02/21/2025.

**For citation:** Mikryukova L.D. Lung cancer mortality in a cohort of population exposed to chronic radiation. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(3): 265–271. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-3-265-271> <https://elibrary.ru/tljwoh> (In Russ.)

**For correspondence:** Lyudmila D. Mikryukova, e-mail: mikludm@mail.ru

**Conflict of interests.** The author declares no conflict of interest.

**Acknowledgment.** 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 until 2030». The author would like to express gratitude to the teams of several departments of the Urals Research Center for Radiation Medicine: to Biophysics laboratory - for the provided dose estimates, to the department Database "Human" for the updated data of the registries of the Urals Research Center for Radiation Medicine medical and dosimetric database, and to the staff of the Epidemiology Laboratory for the preparation of the data for the analysis.

Received: June 21, 2024 / Revised: August 7, 2024 / Accepted: December 3, 2024 / Published: March 31, 2025

## Введение

Производственное объединение (ПО) «Маяк» находится в Челябинской области. Деятельность этого первого в СССР предприятия атомной промышленности началась в 1948 г. Сброс жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк» в реку Течу за период с 1949 по 1956 г. привёл к облучению более 30 тыс. жителей прибрежных деревень. В результате взрыва хранилища жидких радиоактивных отходов в 1957 г. на ПО «Маяк» образовался Восточно-Уральский радиоактивный след, вызвавший облучение населения численностью 22,5 тыс. человек [1, 2]. Уральский научно-практический центр радиационной медицины (УНПЦ РМ) был создан с целью оказания медицинской помощи населению, проживающему на загрязнённых территориях, а также для изучения влияния последствий хронического радиационного воздействия на здоровье людей.

Рак лёгкого (РЛ) относится к числу злокачественных новообразований (ЗНО) с высоким уровнем смертности. По данным литературы, РЛ относится к мультифакторной патологии. Основными факторами риска являются пол, курение, возрастные изменения, особенности генотипа и фенотипа, а также факторы окружающей среды, в том числе воздействие ионизирующей радиации и радона [3–8]. По данным ВОЗ, в 2022 г. РЛ был наиболее распространённой онкологической патологией в мире, на его долю приходится 12,4% от общего числа новых случаев рака (2,5 млн), то есть каждый восьмой случай рака в мире. РЛ был главной причиной смерти от злокачественных новообразований в 2022 г. (1,8 млн случаев, 18,7% от общего числа смертей от рака) [3, 4]. РЛ является также одним из самых часто диагностируемых ЗНО и в других облучённых когортах – японской когорте пострадавших в результате атомной бомбардировки (LSS), когорте работников ПО «Маяк». Оценки избыточного относительного риска РЛ в результате гамма-облучения в когорте «Маяк» ниже, чем сопоставимые риски в LSS: ИОР на 100 мГр в когорте «Маяк» составляет 0,024 (95% ДИ: 0,008–0,044), LSS (вся когорта) – 0,064 (95% ДИ: 0,038–0,094) [9, 10]. Анализ структуры смертности в когорте ВУРС (1957–2014 гг.) показал, что ЗНО трахеи, бронхов и лёгкого являются самой частой причиной смерти (22,3% от всех ЗНО). РЛ у мужчин в когорте ВУРС составлял 36,3% от всех ЗНО [11]. При анализе по этническим группам в общей структуре смертности от ЗНО в КВУРС у славян РЛ был самой частой патологией (24,3%). У татар и башкир на первом месте в структуре смертности от ЗНО в КВУРС была смертность от ЗНО желудка (19,3%), а смертность от ЗНО трахеи, бронхов и лёгкого на втором месте (18,4%) [11].

Детальный анализ этой патологии в изучаемой когорте является актуальной задачей. По данным ранее проведённых исследований, в общей структуре смерти от новообразований в объединённой Уральской когорте аварийно-облучённого населения (УКАОН) за 1950–2019 гг. наибольший удельный вес имеют ЗНО лёгкого – 19% от всех злокачественных новообразований. РЛ в структуре смертности от ЗНО у мужчин в УКАОН также занимает первую строку – 31% от всех случаев [12, 13].

Оценка показателей смертности от РЛ и факторов риска у облучённого населения играет важную роль в прогнозировании и планировании профилактических мер по минимизации вредных последствий для здоровья в медицинских учреждениях загрязнённых территорий или территорий вблизи предприятий, имеющих производство с ядерным циклом.

## Материалы и методы

Анализ смертности от РЛ проводили в Уральской когорте аварийно-облучённого населения, которая была создана в 2018 г. В УКАОН вошли лица, облучённые с 1950 по 1960 г. на реке Тече и на территориях Восточно-Уральского радиоактивного следа. Для исследования использовали информацию из медико-дозиметрической базы данных «Человек», созданной и постоянно обновляемой в УНПЦ РМ с середины XX века [2]. Источниками были данные регистра причин смерти и данные ракового регистра облучённых, созданного и поддерживаемого в УНПЦ РМ, начиная с 1950-х годов. Основной источник информации о случаях смерти от РЛ – свидетельства о смерти. Сбор информации о причинах смерти проводится на постоянной основе. С учётом длительного периода наблюдения за когортой использовали и другие источники информации, в более ранние периоды на бумажных носителях: данные экспертных советов по установлению причинной связи болезни и смерти с облучением, извещения о впервые выявленном ЗНО из областного онкологического диспансера, приведшие к смерти, архивные документы клинического отделения УНПЦ РМ и др. Для населения, проживавшего в Челябинской и Курганской областях и включённого в состав УКАОН при анализе смертности, использовали информацию о причинах смерти начиная с 1950 г. Эта территория определена как территория наблюдения за смертностью (ТНС). В УКАОН 65% населения, включённого в когорту, были облучены только на реке Тече, 32% – лица, облучённые в результате аварии на ВУРС, 3% – в результате двух аварий.

В табл. 1 показан жизненный статус членов УКАОН на 31.12.2020 г., а также число лиц с известной или неизвестной причиной смерти, потерянных из-под наблюдения, и мигрантов.

На территории наблюдения за смертностью (ТНС) проживает 51 030 человек из 62 592 членов УКАОН, 11 562 человека (18% когорты) — мигранты. Всего на ТНС в 2020 г. проживали 10 478 (21%), умерли 34 938 человек (68%). Потеряны для наблюдения 5614 человек (11%). Из числа умерших членов когорты причина смерти известна у 31 896 человек (91%), что является достаточно высоким показателем при длительном периоде наблюдения за когортой. В изучаемой когорте было 34 803 женщины (56%) и 27 789 мужчин (44%). По этническому составу основу когорты составили две группы населения: русские (72%), татары и башкиры (28%).

**Дозиметрические характеристики.** Индивидуальные дозы облучения лёгких для членов УКАОН рассчитывали с использованием системы TRDS-2016 в биофизической лаборатории УНПЦ РМ. В основе расчёта доз учитывали историю проживания каждого человека для определения дозы внешнего и внутреннего облучения, пол, возраст, биокинетические характеристики человека и окружающей среды. Расчёты проводили для восьми радионуклидов (<sup>90</sup>Sr, <sup>89</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>95</sup>Zr, <sup>95</sup>Nb, <sup>144</sup>Ce, <sup>103</sup>Ru, <sup>106</sup>Ru). В системе учитываются метаболические характеристики в зависимости от возраста облучения и конституции человека, пищевое поведение. Средняя доза облучения для лёгких в УКАОН составила 0,038 Гр, максимальная — 0,995 Гр.

**Статистический анализ.** Статистический анализ прошёл с использованием статистического пакета EPICURE (программы DATAB) [14]. В DATAB выполнен подсчёт случаев и человеко-лет у членов анализируемой когорты по основным демографическим характеристикам: пол, национальность, возраст на начало облучения.

**Методы расчёта коэффициентов смертности.** Для анализа смертности рассчитывали грубые коэффициенты за весь период, а также повозрастные коэффициенты на 100 000 человеко-лет. Расчёт коэффициентов смертности проводили по формуле (1):

$$\text{Коэффициент смертности} = n_{lg} \cdot 100 000 / N_{pyr}, \quad (1)$$

где  $n_{lg}$  — число случаев смерти от ЗНО лёгких за период;  $N_{pyr}$  — число человеко-лет за период.

При подсчёте коэффициентов смертности применяли метод прямой стандартизации по возрасту и 95%-е доверительные интервалы. Доверительные интервалы (ДИ) рассчитывали с 95%-й вероятностью для распределения Пуассона [15].

## Результаты

За весь период наблюдения в УКАОН было выявлено 925 случаев смерти от РЛ. Число человеко-лет нахождения под риском составило 1 964 140, 813 случаев было установлено у мужчин (88%), 112 — у женщин (12%). Наибольшее число случаев смерти от РЛ установлено в возрастной категории 60–79 лет — 591 случай (64%) и в возрастной категории от 40 до 59 лет — 281 случай (30%), в сумме они составляют 94% всех умерших от ЗНО лёгких. До 40 лет выявлено всего два случая смерти от РЛ.

В табл. 2 представлены сравнительные демографические характеристики лиц с РЛ по полу, этнической принадлежности, возрасту на начало облучения, принадлежности к когортам облучённых (когорта реки Течи, когорта ВУРС), дозовым группам в сравнении со всей когортой УКАОН.

По количественным характеристикам в процентном отношении в когорте умерших от РЛ за наблюдаемый период преобладали мужчины (88 и 12% соответственно), во всей наблюдаемой когорте УКАОН распределение было более равномерным, женщины составляли 56%. По этническому составу распределение в обеих группах одинаково: славянское население (преимущественно русские) — 72%, татары и башкиры — 28%. Большинство членов когорт проживало на момент начала облучения в Челябинской области. В объединённую когорту УКАОН включены лица, проживавшие и родившиеся с 1950 по 1960 г. на загрязнённых территориях,

Таблица 1 / Table 1

**Характеристика членов УКАОН по жизненному статусу, причинам смерти, проживанию на территории наблюдения за смертностью (ТНС) на 31.12.2020 г.**

**Characteristics of members of the South Urals Population Exposed to Radiation (SUPER) by life status, causes of death, residence in the mortality catchment area as of 12.31.2020.**

Параметр / Parameters	<i>n</i>	%
Жив / Alive	<b>10 478</b>	<b>21</b>
Умерли, всего / Total died	<b>34 938</b>	<b>68</b>
Причина смерти известна	31 896	91
Cause of death is known		
Причина смерти неизвестна	3058	9
Cause of death unknown		
Потерянные для наблюдения	<b>5614</b>	<b>11</b>
Lost from follow-up		
Всего на ТНС	<b>51 030</b>	<b>100</b>
Total persons on the mortality catchment area		
Мигранты / Migrants	11 562	18
Всего / Total	62 592	100

При мечание. Полужирным шрифтом выделен численный состав членов УКАОН в зависимости от жизненного статуса.

**Note.** The number of members of the SUPER depending on their life status is shown in bold.

а в когорту реки Течи входят только лица, родившиеся до 1950 г., что может влиять на динамику показателей смертности.

На начало облучения в когорте УКАОН было 35% лиц до десятилетнего возраста, а в когорте умерших от РЛ — 24% (см. табл. 2). Лиц старше 70 лет на момент начала облучения, умерших от РЛ, нет. Дозовые характеристики в обеих когортах отличаются незначительно: первая дозовая группа больше в процентном соотношении (57% против 48%), в остальных группах различия меньше.

В когорте УКАОН проведена оценка грубых и стандартизованных показателей смертности в зависимости от пола и этнической принадлежности. Грубый коэффициент смертности во всей когорте составил 47,10 (95% ДИ: 44,09–50,3). В табл. 3 приведены грубые и стандартизованные показатели смертности от ЗНО лёгкого в изучаемой когорте в зависимости от пола и этнической принадлежности (на  $10^5$  человеко-лет).

Как грубые, так и стандартизованные по возрасту коэффициенты смертности от РЛ у мужчин в исследуемой когорте значительно выше по сравнению с женщинами (примерно в 13,5 раза), различия статистически достоверны. После применения стандартизации показатели смертности у мужчин становятся выше, у женщин — понижаются. Все показатели смертности от РЛ (грубые и стандартизованные) выше в этнической группе тюрков (татары и башкиры) по сравнению со славянами (преимущественно русские), но различия статистически недостоверны. По данным литературы, показатели смертности РЛ значительно больше в азиатских регионах (в Восточной Азии — 28,1 на 100 000 человек) [4].

На рис. 1 показаны стандартизованные показатели смертности от ЗНО лёгкого в зависимости от периода наблюдения за когортой УКАОН. Показатели смертности от РЛ у мужчин в УКАОН значительно выше, чем у женщин. Это соответствует данным мировой и национальной статистики [3–8]. Установлено достоверное увеличение показателей смертности от РЛ у мужчин с 2016 по 2020 г. в сравнении с более ранними десятилетними периодами. Смертность от РЛ среди женщин растёт, но медленно, и поскольку с учётом значений доверительных интервалов различия по периодам статистически недостоверны, по-видимому, это больше связано с увеличением процента курящих женщин. В последние периоды наблюдения (2006–2020 гг.) показатели смертности

Таблица 2 / Table 2

## Сравнительные характеристики всей когорты и группы умерших от РЛ за 1950–2020 гг.

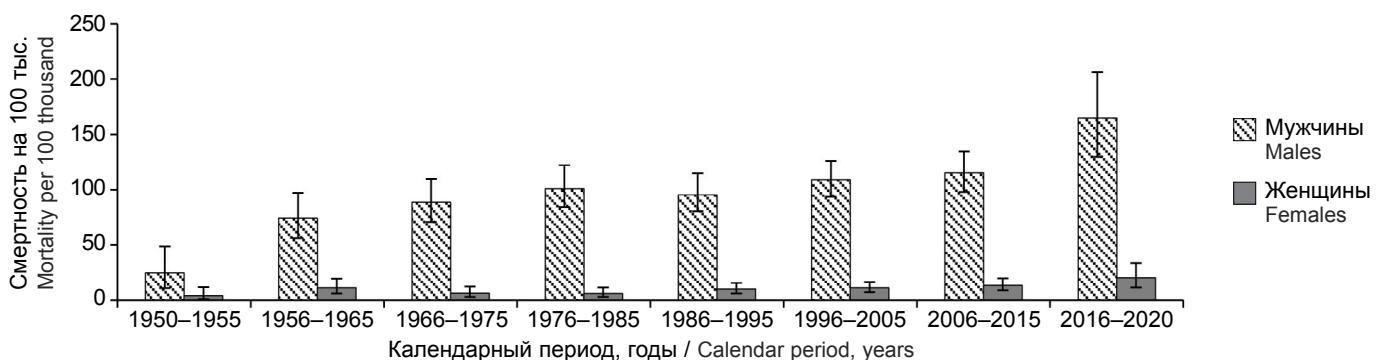
Comparative characteristics of the entire cohort and the group of people who died from lung cancer (LC) for 1950–2020

Характеристика Characteristics		Всего человек People		Умершие от РЛ Died from LC	
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Вся когорта / Whole cohort		62 592	100	925	100
Пол / Sex	Мужчины / Males	27 789	44	813	88
	Женщины / Females	34 803	56	112	12
Этнический состав Ethnicity	Русские / Russians	45 007	72	258	72
	Татары и башкиры / Tatars and Bashkirs	17 585	28	667	28
Область начала облучения Territory of the beginning of radiation	Челябинская область / Chelyabinsk Oblast	47 769	76	776	84
	Курганская область / Kurgan Oblast	14 832	24	149	16
Причина радиационной аварии Cause of the radiation accident	Облучён только на реке Тече Exposed to radiation only at the Techa River	40 615	65	594	64
	Облучён на реке Тече + на территории ВУРС Exposed to radiation only the Techa River + territory of the East Ural radioactive trace (EURT)	2 070	3	43	5
	Облучён только на территории ВУРС Exposed to radiation only on the EURT territory	19 907	32	288	31
Возраст на начало облучения, лет Age of beginning of exposure, years	< 10	22 183	35	224	24
	10–19	10 557	17	205	22
	20–29	10 180	16	207	22
	30–39	6416	10	114	12
	40–49	5322	9	103	11
	50–59	3476	6	45	5
	60–69	2568	4	24	3
	70–79	1477	2	3	0
	> 80	413	1	0	0
Распределение по дозовым группам, Гр (средняя поглощённая доза на лёгкие) Distribution by dose groups, Gy (average absorbed dose to the lungs)	0 < 0.010	35 391	57	440	48
	0.010 < 0.050	17 465	28	284	31
	0.050 < 0.100	5489	9	113	12
	0.100 < 0.200	2001	3	36	4
	0.200 < 0.300	817	1	13	1
	0.300 < 0.500	979	2	26	3
	> 0.500	450	1	13	1

Таблица 3 / Table 3

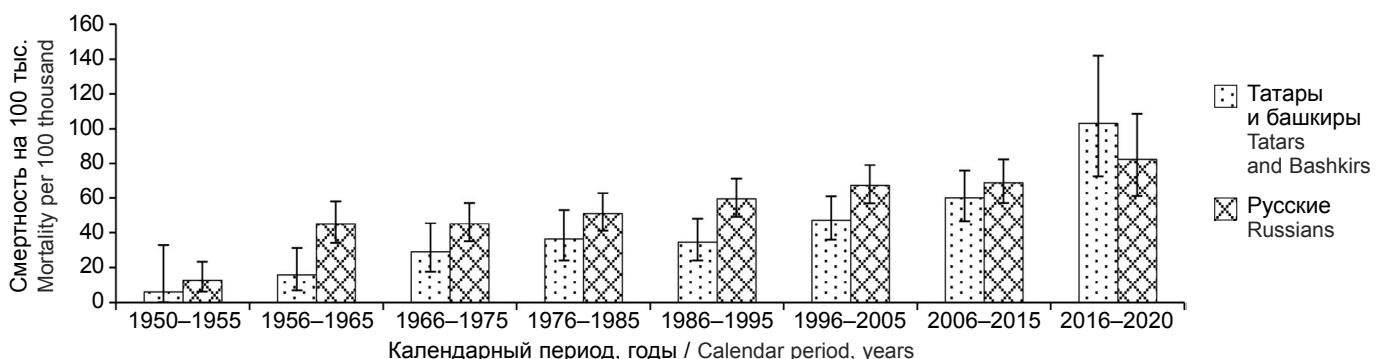
Грубые и стандартизованные показатели смертности от РЛ в изучаемой когорте в зависимости от пола и этнической принадлежности (на 10<sup>5</sup> человеко-лет)Crude and standardized mortality rates from LC in the study cohort depending on sex and ethnicity (per 10<sup>5</sup> person-years)

Параметр Parameters	Мужчины Males	Женщины Females	Русские Russians	Татары / башкиры Tatars / Bashkirs
Всего человек / People, total	813	112	258	667
Человеко-лет / People-years	828 209	1 35 930	646 474	1 317 660
Грубый коэффициент смертности / Crude mortality rate coefficient	98.2	9.9	39.9	50.6
95% ДИ / 95% CI	91.52–105.27	8.13–11.94	35.07–45.17	45.61–52.99
Стандартизованный коэффициент смертности Standardized mortality rate coefficient	117.5	8.6	42.6	49.2
95% ДИ / 95% CI	109.51–125.96	7.06–10.37	37.45–48.22	45.61–52.99



**Рис. 1.** Динамика стандартизованных показателей смертности от рака лёгкого в изучаемой когорте в зависимости от пола за весь период наблюдения.

**Fig. 1.** Trend in standardized mortality rates from LC in the study cohort depending on sex for the entire observation period.



**Рис. 2.** Динамика стандартизованных показателей смертности от рака лёгкого в изучаемой когорте в зависимости от этнической принадлежности за весь период наблюдения.

**Fig. 2.** Trend in standardized mortality rates from LC in the study cohort depending on ethnicity for the entire observation period.

от РЛ становятся выше и у мужчин, и у женщин, что может быть связано и с изменением возрастной структуры УКАОН. При сравнительном анализе показателей смертности в изучаемой когорте тенденция в динамике по периодам наблюдения прослеживается такая же, как и во всех необлучённых когортах населения [5–8, 16]: показатели смертности от РЛ среди мужчин и женщин в целом возрастают, но в отдельные периоды отмечается небольшое снижение смертности.

На рис. 2 показана динамика показателей смертности от РЛ в изучаемой когорте в зависимости от этнической принадлежности за весь период наблюдения. В обеих группах стандартизованные показатели смертности от РЛ повышаются по мере старения когорты. Стандартизованные показатели смертности от РЛ статистически значимо выше у славян (преимущественно русских) по сравнению с группой тюрков (татары и башкиры) во все периоды наблюдения, кроме последнего (2016–2020 гг.). В этом периоде коэффициент смертности от РЛ становится больше у тюрков, причём при сравнении со всеми остальными периодами наблюдения различия статистически значимы с когортой тюрков до 2005 г., с когортой славян – до 1996 г. Детальный много-

факторный анализ с расчётом риска будет задачей предстоящего исследования. Курение остаётся одним из основных факторов риска РЛ, что подтверждают эпидемиологические исследования во всём мире [3–4, 16–20]. В когорте УКАОН фактор риска «курение» мы анализировали по следующим критериям: курит; курил, но перестал; не курит; нет сведений о курении. Информация о статусе курения известна в настоящий момент для 37% изучаемой когорты. Из зарегистрированных 925 случаев РЛ статус «курит» имели 250 человек, из них только две женщины; «курил, но перестал» – 42 человека (одна женщина); «никогда не курил» – 47 человек (16 мужчин, 31 женщина), «нет сведений о курении» – 586 человек (508 мужчин, 78 женщин).

В табл. 4 отражены стандартизованные показатели смертности от РЛ в изучаемой когорте в зависимости от курения.

Среди лиц с известным статусом о курении стандартизованные коэффициенты смертности от РЛ в УКАОН достоверно ниже у некурящих по сравнению с курящими (более чем в 20 раз). Более детальный анализ фактора «курение» будет выполнен позднее на основе полученной информации.

Таблица 4 / Table 4

**Стандартизованные показатели смертности от РЛ в изучаемой когорте в зависимости от курения (на 10<sup>5</sup> человеко-лет)**  
Standardized mortality rates from LC in the study cohort depending on smoking (per 10<sup>5</sup> person-years)

Параметр Parameters	Курит Smokes	Курил, но перестал Smoked, but stopped	Не курит Does not smoke	Нет сведений о курении No information about smoking
Стандартизованный коэффициент смертности Standardized mortality rate	179.2	54.7	7.7	52.0
95% ДИ / 95% CI	157.52–202.85	39.38–73.95	5.66–10.24	47.94–56.26

## Обсуждение

Ретроспективный анализ смертности от РЛ проведён среди 62 592 членов УКАОН, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в диапазоне малых и средних доз облучения в результате радиационных аварий на Южном Урале.

Достоинствами проведённого исследования являются: большая численность изучаемой когорты, длительный период наблюдения (более 70 лет), широкий диапазон доз. В анализ включено всё население (оба пола, все возрастные группы). В то же время в проведённом исследовании есть ограничения, к которым можно отнести относительно большую долю неизвестных причин смерти в изучаемой когорте, а также долю населения, потеряного для наблюдения (лица, мигрировавшие с территории наблюдения, и лица с неизвестным статусом на конец периода наблюдения). Это может уменьшить статистическую силу исследования, но не должно приводить к ухудшению качества исследования, так как известны точная дата входа и выхода с территории наблюдения при подсчёте человеко-лет и данные о случаях смерти от РЛ для сравниваемых групп.

Результаты анализа динамики показателей смертности от РЛ в период 1950–2020 гг. показали статистически значимый рост смертности от РЛ, обусловленный в первую очередь изменением возрастной структуры изучаемой когорты. Отмечено статистически значимое увеличение показателей смертности от РЛ в последние периоды наблюдения за когортой (2006–2020 гг.). Как грубые, так и стандартизованные по возрасту коэффициенты смертности у мужчин в изучаемой когорте значительно выше по сравнению с женщинами (примерно в 13,5 раза), различия статистически достоверны. Полученные результаты согласуются с результатами других исследований, выполненных и в нашей стране, и за рубежом [5, 11, 17–20]. Установлено достоверное увеличение показателей смертности от РЛ у мужчин с 2016 по 2020 г. в сравнении с более ранними десятилетними периодами. Смертность от РЛ в УКАОН среди женщин медленно растёт во все периоды наблюдения, различия по периодам статистически недостоверны. По данным литературы, в России соотношение стандартизованных показателей смертности мужчин

и женщин от РЛ составляет 42,74 и 5,49 соответственно [16]. Удельный вес умерших от РЛ в России среди всех ЗНО для мужчин составлял 26,5%, для женщин – 6,8 (2016 г.) [5]. По данным МАИР, в мире за последние 20 лет в некоторых странах отмечается снижение стандартизованных показателей заболеваемости РЛ мужского населения (Австралия, Великобритания, Германия, Италия, Канада, Китай, Франция, США), в других странах отмечен незначительный рост (Норвегия, Исландия, Бразилия, Беларусь, Япония). Однако, по данным большинства раковых регистров, заболеваемость женщин РЛ существенно возросла [5–8, 16].

В УКАОН стандартизованные показатели смертности от РЛ статистически значимо выше у славян (преимущественно русских) по сравнению с группой тюрок (татары и башкиры) во все периоды наблюдения, кроме последнего (2016–2020 гг.). В этом периоде коэффициент смертности от РЛ становится больше у тюрок. По данным литературы, смертность от РЛ в Азии стала выше в последние годы по сравнению с западными странами [3, 4]. Основным фактором риска развития РЛ является курение [3–4, 16–20]. По данным литературы, среди курящих мужчин пожизненный риск развития рака лёгкого (РЛ) составляет 17,2%, среди курящих женщин – 11,6%. Этот риск значительно ниже у некурящих: 1,3% у мужчин и 1,4% у женщин [17]. Повышение риска развития РЛ на 20–30% отмечено при пассивном курении [18–20]. Стандартизованные коэффициенты смертности от РЛ в УКАОН достоверно выше у курящих по сравнению с некурящими (более чем в 20 раз).

## Заключение

Проведённый анализ смертности от РЛ в когорте облучённого населения за период с 1950 по 2020 г. выявил следующие тенденции, характерные и для общего населения России: рост смертности от РЛ в последние годы наблюдения; стандартизованные по возрасту коэффициенты смертности статистически значимо выше у мужчин по сравнению с женщинами и у курящих по сравнению с некурящими. Влияние данных параметров на показатели смертности от РЛ будет учтено в последующем анализе дозовой зависимости.

## Литература (п.п. 4, 6, 7, 9, 10, 14, 15, 17, 19, 20 см. References)

- Шойгу С.К., ред. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона. М.: Комтхкпринт; 2002.
- Аклеев А.В. Здоровье населения, проживающего на радиоактивных территориях Уральского региона. Под ред. проф. А.В. Аклеева. М.: РАДЭКОН; 2001.
- ВОЗ. Глобальное бремя онкологических заболеваний растет параллельно с ростом потребности в услугах. Доступно: <https://www.who.int/ru/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services>
- Мерабишвили В.М., Арсеньев А.И., Тарков С.А., Барчук А.А., Шербаков А.М., Демин Е.В. и др. Заболеваемость и смертность населения от рака легкого, достоверность учета. *Сибирский онкологический журнал*. 2018; 17(6): 15–26. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2018-17-6-15-26> <https://elibrary.ru/vpyszg>
- Жукова Л.Д., Чойнзонов Е.Л., Ананина О.А., Ляхова Н.П., Пикалова Л.В. Заболеваемость раком легкого в различных городах мира (обзор). *Вопросы онкологии*. 2020; 66(3): 239–46. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-3-239-246> <https://elibrary.ru/wtfbvp>
- Силкин С.С., Крестинина Л.Ю., Аклеев А.В. Восточно-Уральский радиоактивный след: смертность от злокачественных опухолей за 57-летний период (1957–2014 гг.). *Радиационная гигиена*. 2022; 15(1): 27–35. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-27-35> <https://elibrary.ru/phminm>
- Крестинина Л.Ю., Силкин С.С., Микрюкова Л.Д., Епифанова С.Б., Аклеев А.В. Риск заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1956–2017. *Радиационная гигиена*. 2020; 13(3): 6–15. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17> <https://elibrary.ru/mznllz>
- Крестинина Л.Ю., Силкин С.С. Риск смерти от солидных злокачественных новообразований в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1950–2019. *Радиационная гигиена*. 2023; 16(1): 19–31. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-19-31> <https://elibrary.ru/iyhgp>
- Клинические рекомендации «Злокачественное новообразование бронхов и легкого». М.; 2020.
- Рекомендации по ранней диагностике РЛ. Рекомендации по ранней диагностике рака легкого для врачей первичного звена; 2014.

## References

- Shoigu S.K., ed. *The Consequences of Man-Made Radiation Exposure and the Problems of Rehabilitation of the Ural Region [Posledstviya tekhnogenennogo radiatsionnogo vozdeistviya i problemy reabilitatsii Ural'skogo regiona]*. Moscow: Komtekhpript; 2002. (In Russian)
- Akleev A.V., ed. *Health Status of Population Exposed to Environmental Contamination in the Southern Urals [Zdorov'e naseleniya, prozhivayushchego na radioaktivnykh territoriyakh Ural'skogo regionala]*. Moscow: RADEKON; 2001. (In Russian)
- WHO. Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. Available at: [https://www.who.int/ru/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services/](https://www.who.int/ru/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services)
- Lam D.C., Liam C.K., Andarini S., Park S., Tan D.S.W., Singh N., et al. Lung Cancer Screening in Asia: An Expert Consensus Report. *J. Thorac. Oncol.* 2023; 18(10): 1303–22. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2023.06.014>
- Merabishvili V.M., Arseniev A.I., Tarkov S.A., Barchuk A.A., Shcherbakov A.M., Demin E.V., et al. Lung cancer morbidity and mortality. *Sibirskii onkologicheskii zhurnal*. 2018; 17(6): 15–26. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2018-17-6-15-26> <https://elibrary.ru/vpyszg> (In Russian)
- Malhotra J., Malvezzi M., Negri E., La Vecchia C., Boffetta P. Risk factors for lung cancer worldwide. *Eur. Respir. J.* 2016; 48: 889–902. <https://doi.org/10.1183/13993003.00359-2016>

7. Dela Cruz Ch.S., Tano L.T., Mattei R.A. Lung cancer: epidemiology, etiology, and prevention. *Clin. Chest. Med.* 2011; 32(4): 605–44. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2011.09.001>
8. Zhuikova L.D., Choynzonov E.L., Ananina O.A., Lyakhova N.P., Pikalova L.V. Lung cancer incidence in various cities of the world (review). *Voprosy onkologii.* 2020; 66(3): 239–46. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-3-239-246> <https://elibrary.ru/wtbpv> (in Russian)
9. Gilbert E.S., Sokolnikov M.E., Preston D.L., Schonfeld S.J., Schadilov A.E., Vasilenko E.K., et al. Lung cancer risks from plutonium: an updated analysis of data from the Mayak worker cohort. *Radiat. Res.* 2013; 179(3): 332–42. <https://doi.org/10.1667/RR3054.1>
10. Preston D.L., Sokolnikov M.E., Krestinina L.Y., Stram D.O. Estimates of radiation effects on cancer risks in the Mayak worker, Techa river and atomic bomb survivor studies. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2017; 173(1–3): 26–31. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw316>
11. Silkin S.S., Krestinina L.Yu., Akleev A.V. East Ural radioactive trace: cancer mortality over a 57-year period (1957–2014). *Radiatsionnaya gigiena.* 2022; 15(1): 27–35. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-27-35> <https://elibrary.ru/phminm> (in Russian)
12. Krestinina L.Yu., Silkin S.S., Mikryukova L.D., Epifanova S.B., Akleyev A.V. Solid cancer incidence risk in the Ural cohort of the accidentally exposed population: 1956–2017. *Radiatsionnaya gigiena.* 2020; 13(3): 6–15. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17> <https://elibrary.ru/mznllz> (in Russian)
13. Krestinina L.Yu., Silkin S.S. Solid cancer mortality risk in the southern Urals populations exposed to radiation cohort: 1950–2019. *Radiatsionnaya gigiena.* 2023; 16(1): 19–31. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-19-31> <https://elibrary.ru/iyhgp> (in Russian)
14. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A., McConney M.E. *Epicure Users Guide.* Seattle, Washington: Microsoft International Corporation; 1993.
15. Fletcher R., Fletcher S., Wagner E. *Clinical Epidemiology: The Essentials.* Lippincott Williams&Wilkins; 2012.
16. *Clinical Recommendations «Malignant Neoplasm of Bronchi and Lung» [Klinicheskie rekomendatsii «Zlokachestvennoe novoobrazovanie bronkhov i legkogo»].* Moscow; 2020. (in Russian)
17. Bray F., Laversanne M., Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Soerjomataram I., et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.* 2024; 74(3): 229–63. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
18. Recommendations for early diagnosis of RL. Recommendations for early diagnosis of lung cancer for primary care physicians. Moscow; 2014. (in Russian)
19. Peto R. *Mortality from Smoking in Developed Countries 1950–2000: Indirect Estimates from National Vital Statistics.* Oxford: Oxford University Press; 2006.
20. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). State-specific prevalence of current cigarette smoking among adults, and policies and attitudes about secondhand smoke – United States, 2000. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep.* 2001; 50(49): 1101–6.

## Сведения об авторе

**Микрюкова Людмила Дмитриевна**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. эпидемиологической лаб. ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России, 454141, Челябинск, Россия.  
E-mail: mikludm@mail.ru

## Information about the author

**Lyudmila D. Mikryukova**, PhD (Medicine), senior researcher of the Epidemiological Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal medical biological agency of Russia, Chelyabinsk, 454141, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6269-5114> E-mail: mikludm@mail.ru