

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-355>

УДК 314.48



ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ COVID-19 НА ОБЩУЮ СМЕРТНОСТЬ СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ ОЗЕРСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА

М.В. Осипов[✉]

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики ФМБА, Озерск, Россия

Введение. В условиях пандемии COVID-19, оказавшей влияние на избыточную смертность от всех причин, представляется актуальной оценка комплексного воздействия факторов производственного облучения и инфекционного агента SARS-CoV-2 на смертность среди населения города атомной промышленности в целях разработки эффективных мер профилактики и охраны здоровья населения и персонала.

Цель. Ретроспективный анализ интенсивности общей смертности населения Озерского городского округа (ОГО) в период пандемии COVID-19 в зависимости от влияния факторов риска радиационной и нерадиационной природы.

Материалы и методы. Проведено ретроспективное когортное исследование жителей Озерского городского округа, умерших от различных причин в период 2020–2023 гг. Анализировали ежегодные отчеты Росстата и муниципального отдела статистики. Данные о заболеваемости и смертности от COVID-19 предоставлены Центром гигиены и эпидемиологии № 71 г. Озерска. Оценка функции выживаемости в зависимости от наличия заболевания COVID-19 с учетом влияния возраста и дозы внешнего профессионального облучения работников ПО «Маяк» выполнена с использованием метода Каплана – Майера. Анализ влияния заболеваемости COVID-19 с учетом дозы профессионального облучения на интенсивность смертности от всех причин выполнен методом пропорциональных рисков Кокса.

Результаты. На основании анализа динамики показателей смертности определен период, связанный с пиком пандемической смертности от всех причин среди населения ОГО. Выявлено значимое влияние заболевания COVID-19 ($p < 0,05$) в зависимости от достигнутого возраста и дозы профессионального облучения на смертность от всех причин в течение пандемического периода. Показано, что выраженный эффект наличия заболевания COVID-19 на общую смертность являлся следствием мультипликативного влияния нескольких факторов риска, из которых значимое влияние оказывали достигнутый возраст и доза внешнего облучения.

Выводы. Превышение показателя общей смертности среди населения Озерского городского округа в пандемический период по сравнению с аналогичным показателем по России является следствием влияния факторов риска, специфичных для населения, проживающего вблизи объектов ядерно-промышленного комплекса. Полученные результаты представляют интерес для прогноза возможного ущерба, связанного с возникновением возможных пандемических ситуаций.

Ключевые слова: пандемия; COVID-19; общая смертность; профессиональное облучение; риск

Для цитирования: Осипов М.В. Влияние пандемии COVID-19 на общую смертность среди населения Озерского городского округа. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2025. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-355>

Финансирование: работа выполнена без спонсорской поддержки.

Соответствие принципам этики: не требовалось одобрение биоэтического комитета, поскольку исследование выполнено на основе обезличенных данных медицинских карт (архивные материалы).

Благодарность: автор выражает благодарность сотрудникам отдела статистики администрации Озерского городского округа за предоставленную информацию, а также лично руководителю Центра гигиены и эпидемиологии Ширяеву И.В. за оказанную помощь в проведении исследования.

Потенциальный конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

✉ Осипов Михаил Викторович osipov@subi.su

Статья поступила: 17.07.2025 **После доработки:** 19.09.2025 **Принята к публикации:** 15.10.2025 **Online first:** 27.12.2025

IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON ALL-CAUSE MORTALITY IN THE OZERSK URBAN DISTRICT

Mikhail V. Osipov[✉]

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

Introduction. In the context of the COVID-19 pandemic, which has impacted all-cause excess mortality, it appears relevant to evaluate the synergistic effects of occupational radiation exposure and the SARS-CoV-2 infectious agent on the overall mortality in the population of a nuclear industry city. This is especially important for increasing the effectiveness of health protection and prevention measures among population and professionals.

Objective. A retrospective analysis of all-cause mortality rates in the population of the Ozersk urban district (OUD) during the COVID-19 pandemic, adjusted for the influence of radiation and non-radiation risk factors.

Materials and methods. A retrospective cohort study among residents of the Ozersk urban district who died from various causes in 2020–2023 was conducted. Annual reports from Rosstat and the Municipal Statistics department were analyzed. Data on COVID-19 morbidity and mortality were provided by the Center for Hygiene and Epidemiology No. 71 in Ozersk. The survival function was assessed depending on COVID-19 status, with adjustment for age and external occupational radiation dose among workers of the Mayak Production Association, using the Kaplan–Meier method. The impact of COVID-19, considering occupational radiation dose, on all-cause mortality rates was analyzed using the Cox proportional hazards model.

© М.В. Осипов, 2025

Results. The analysis of mortality rate dynamics revealed the period associated with the peak of pandemic all-cause mortality in the OUD population. A significant influence of COVID-19 ($p < 0.05$) on all-cause mortality during the pandemic period, dependent on attained age and occupational radiation dose, was revealed. It was demonstrated that the pronounced effect of COVID-19 on all-cause mortality was a consequence of the multiplicative influence of several risk factors, among which attained age and external radiation dose had a significant impact.

Conclusions. The excess all-cause mortality rate in the OUD population during the pandemic period compared to the corresponding rate for the population of Russian Federation is a consequence of the impact of risk factors specific to population residing in the vicinity of nuclear industrial facilities. The results obtained are of interest for forecasting the potential harm associated with the emergence of possible future pandemic situations.

Keywords: pandemic; COVID-19; all-cause mortality; occupational exposure; risk

For citation: Osipov M.V. Impact of the COVID-19 pandemic on all-cause mortality in the Ozersk urban district. *Extreme Medicine*. 2025. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-355>

Funding: this study was conducted without sponsorship.

Compliance with the ethical principles: ethical approval was not required for this study since anonymized medical record data (archival materials) were used.

Acknowledgments: the author expresses his gratitude to the staff of the Statistics Department of the Ozersk Urban District Administration for providing the information, and personally to I.V. Shiryayev, the Head of the Center for Hygiene and Epidemiology, for his assistance in conducting this study.

Potential conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

✉ Mikhail V. Osipov osipov@subi.su

Received: 17 July 2025 **Revised:** 19 Sep. 2025 **Accepted:** 15 Oct. 2025 **Online first:** 27 Dec. 2025

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное распространение новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 привело к пандемии заболеваемости COVID-19, что обусловило рост показателя общей смертности среди населения как в целом по России, так и в различных регионах по сравнению с предыдущими годами [1, 2]. Основными факторами риска, влияющими на смертность от всех причин в период пандемии, помимо заболевания COVID-19, считаются пожилой возраст, мужской пол, наличие коморбидных состояний и расовые/этнические различия [3].

Спецификой общей смертности среди населения города атомной промышленности Озерска является хроническое воздействие ионизирующего излучения, которому подвергаются работники производственного объединения «Маяк» (ПО «Маяк») [4]. В многочисленных исследованиях доказано влияние ионизирующего излучения на риск смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) и прочих причин [5–7], что может рассматриваться как дополнительный фактор риска, влияющий на интенсивность смертности в период пандемии.

Среди опубликованных научных работ в отечественных и зарубежных изданиях из списков, индексируемых в научно-электронных библиотеках «eLibrary» и «PubMed», отсутствуют исследования по оценке риска, связанного с влиянием заболевания COVID-19, с учетом других факторов риска, включая дозы профессионального облучения, на интенсивность смертности от всех причин в период пандемии.

Цель исследования — ретроспективный анализ интенсивности общей смертности населения Озерского городского округа (ОГО) в период пандемии COVID-19 в зависимости от влияния факторов риска радиационной и нерадиационной природы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено ретроспективное когортное исследование жителей Озерского городского округа (ОГО), умерших от различных причин в период 2020–2023 гг. Для вычисления грубого показателя общей смертности использовали данные официальной статистики^{1,2} за период 2013–2023 гг. Показатель общей смертности (μ) на 1000 человек (‰) вычислялся по стандартной методике, приведенной в работе [1]. Анализ интенсивности риска смерти был выполнен в когорте лиц, доживших до даты объявления пандемии COVID-19 (11.03.2020) и умерших от всех причин в последующий трехлетний период.

Источником информации для проведения исследования являлись данные о заболеваемости и смертности от COVID-19, предоставленные Центром гигиены и эпидемиологии № 71 г. Озерска. Данные о дозе внешнего профессионального облучения для работников производственного объединения «Маяк» получены из регистра работников ПО «Маяк» [5, 6]. Функция дожития по методу Каплана – Майера для умерших от всех причин в течение периода 2020–2023 гг. вычислялась в зависимости от возраста, достигнутого на момент смерти [8]. Для характеристики достигнутого возраста на дату начала наблюдения использовали категориальную переменную, содержащую возрастные интервалы 0–19, 20–39, 40–59, 60–79, 80 лет и старше. Укрупнение возрастных интервалов использовалось в целях увеличения статистической мощности для групп с небольшим количеством наблюдений ($n < 30$).

В зависимости от наличия факта найма на основные или вспомогательные производства ПО «Маяк» в период 1948–2016 гг. население ОГО подразделяли на две категории: «население» и «персонал». Данные о величине накопленной эффективной дозы внешнего

¹ Паспорт Озерского городского округа <http://ozerskadm.ru/regulatory/passport/> (дата обращения: 22.02.2025).

² Федеральная служба государственной статистики (Росстат) <http://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 22.02.2025).

гамма-облучения для персонала были получены с использованием регистра персонала ПО «Маяк» [10]. Сравнительный анализ интенсивности риска смерти для различных возрастных групп населения с учетом дозы профессионального облучения проводился с использованием метода пропорциональных рисков Кокса [11]. Интенсивность смертности от всех причин (h) определяли следующим соотношением:

$$h_t = h_0(t) \times e^{\beta x_i}, \quad (1)$$

где h_t — интенсивность риска смерти от всех причин в момент времени t ; $h_0(t)$ — базовая интенсивность риска смерти в момент времени t ; β_i — коэффициент регрессии; x_i — значение ковариаты, определяющей фактор риска.

Модель регрессии строили путем пошагового включения предикторов в базовую модель. Для сравнения базовой и расширенной моделей использовался тест отношения правдоподобий (Likelihood ratio test, LRT). Проверка предположения о пропорциональности рисков проводилась при помощи теста Кокса (Cox proportional hazards test), критическое значение вероятности отвержения нулевой гипотезы о том, что пропорциональность рисков нарушена, оценивали на уровне значимости 0,95. Оценку статистической значимости коэффициента регрессии проводили с использованием теста хи-квадрат Вальда (Wald's Chi-square). Проверка мультиколлинеарности параметров осуществлялась при помощи оценки фактора инфляции переменных (VIF), рассчитываемого по формуле (2):

$$VIF = \frac{1}{1 - R_j^2}, \quad (2)$$

где R^2 — коэффициент детерминации при регрессии j -й переменной.

Допустимое значение коэффициента мультиколлинеарности j -й переменной в модели принималось ≤ 5 . Оценка статистической значимости различий между функциями выживаемости для различных факторов риска проводилась с использованием непараметрического критерия (log-rank тест) [9]. Для принятия решения о статистической значимости различий использовался общепринятый уровень значимости $\alpha = 0,05$, соответствующий доверительному интервалу 95%. Результаты считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе работы на основании данных о численности населения и количестве умерших от всех причин в Озерском городском округе и в России за период 2013–2023 гг. были вычислены грубые показатели общей смертности от всех причин (Crude Mortality Rate, CMR). Динамика изменения грубого показателя общей смертности в Озерском городском округе по сравнению с данными по России за период 2013–2023 гг. представлена на рисунке 1.

Установлено, что динамика показателя общей смертности в период 2020–2023 гг. в ОГО аналогична уровням по России в целом. При этом значения

показателя общей смертности в ОГО начиная с 2016 г. и в течение всего пандемического периода являются более высокими по сравнению с показателями по России (максимальное расхождение наблюдалось в 2021 г.: 17,2% по РФ и 18,3% по г. Озерску) (рис. 1). Превышение показателя общей смертности по г. Озерску по сравнению с данными по России при сопоставлении нестандартизованных показателей может являться следствием различий в возрастном составе населения.

Значимое превышение показателя общей смертности в ОГО относительно его среднего значения, рассчитанного для предпандемического периода (13,7%) [2], зафиксировано в течение трехлетнего периода 2020–2022 гг. Выраженное отклонение показателя смертности от всех причин в ОГО от его ожидаемого значения наблюдали в 2020 г. на уровне 16,2%, оно достигло пика (18,3%) в 2021 г. с последующим резким снижением в 2022 г. до 14,6%, вернувшись к допандемическим значениям (12,7%) в 2023 г. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости более детального рассмотрения периода 2020–2022 гг., соответствующего максимальной пандемической активности.

Для этой цели была выделена когорта жителей ОГО, доживших до даты объявления пандемии и умерших от всех причин в течение периода 11.03.2020–31.12.2022.

Распределение изучаемой когорты по полу, возрасту, наличию заболевания COVID-19 как основной причины смерти и интервалам накопленной дозы внешнего гамма-излучения персонала представлено в таблице 1.

Представленные данные свидетельствуют о практически равном соотношении мужчин и женщин среди умерших от всех причин в пандемический период. Наибольшая доля умерших от всех причин в пандемический период (81,4%) соответствовала достигнутому возрасту старше 60 лет. Среднее значение достигнутого возраста на дату начала наблюдения составило $70,90 \pm 0,25$ года: для мужчин — $65,90 \pm 0,35$ года,

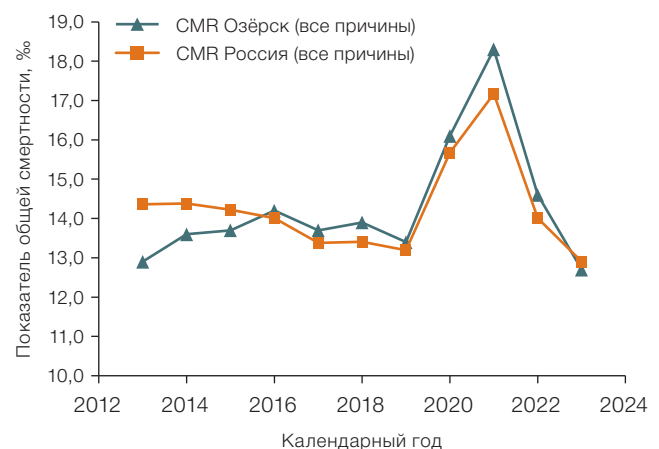


Рисунок подготовлен автором

Рис. 1. Показатели общей смертности (CMR) в России и в Озерском городском округе за период 2013–2023 гг.

Таблица 1. Характеристика когорты жителей Озерского городского округа, умерших в пандемический период, в зависимости от достигнутого возраста, пола, дозы внешнего производственного облучения и заболевания COVID-19

Параметр	Абсолютное количество	Доля, %	COVID-19 (%)*
Пол			
Мужчины	1961	49,4	459 (46,3)
Женщины	2008	50,6	532 (53,7)
Достигнутый возраст, лет			
0–19	21	0,5	3 (0,3)
20–39	188	4,7	30 (3,0)
40–59	638	16,1	135 (13,6)
60–79	1695	42,7	477 (48,1)
80+	1427	36,0	346 (34,9)
Накопленная доза, мЗв			
0	117	2,9	23 (2,3)
0–9	389	9,8	100 (10,1)
10–99	339	8,5	78 (7,9)
100+	63	1,6	14 (1,4)
Не измерялась (население)	3061	77,1	776 (78,3)
Основная причина смерти			
U07.1, U07.2	425	10,7	370 (37,3)
Прочие причины	3421	89,3	621 (62,7)
Всего	3969	100,0	991 (25,0)

Таблица составлена автором

Примечание: * — доля в % рассчитана от общего числа случаев в каждой подгруппе.

для женщин — $75,80 \pm 0,32$ года. Средний возраст смерти населения ОГО в пандемический период составил $72,50 \pm 0,32$ года: для мужчин — $67,50 \pm 0,35$ года, для женщин — $77,30 \pm 0,32$ года. Доля умерших, основной причиной смерти которых являлось заболевание COVID-19 (включая лиц с отсутствием идентификации SARS-CoV-2), составила 10,7%.

В изучаемой когорте доля случаев заболевания COVID-19, накопленных за пандемический период, составила 25% и преобладала среди женщин (53,7%). Распределение по достигнутому возрасту достигало максимума 48,1% среди лиц 60–80 лет. Суммарная доля лиц, заболевших COVID-19 в течение пандемического периода и подвергавшихся воздействию внешнего гамма-облучения, составила 21,7%. Доля лиц, обращавшихся за медицинской помощью по поводу заболевания COVID-19 в течение пандемического периода, у которых именно это заболевание стало основной причиной смерти, составила 37,2%.

Оценка интенсивности смерти от всех причин в зависимости от возраста населения ОГО выполнена при помощи функции дожития по методу Каплана – Майера для возрастных интервалов 0–39,

40–59, 60–79, 80 лет и старше. Динамика интенсивности риска смерти от всех причин среди населения ОГО по возрастным интервалам представлена на рисунке 2.

Функция дожития характеризует фактически наблюдаемую долю (%) лиц, доживших до определенного момента наблюдения в зависимости от достигнутого возраста. Данные, представленные на рисунке 2, свидетельствуют о значительном увеличении интенсивности смерти населения в возрастной группе до 40 лет, более выраженной в течение первых двух лет пандемического периода (2020–2021 гг.). Наименьшая интенсивность смертности от всех причин в течение всего периода пандемии была характерна для мужчин и женщин трудоспособного возраста (40–59 лет). Попарное сравнение функций дожития при помощи log-rank теста показало наличие статистически значимых различий ($p = 0,012$) для возрастных интервалов 19–39 лет (средний достигнутый возраст $34,00 \pm 0,33$ года) и 40–59 лет (средний достигнутый возраст $51,70 \pm 0,22$ года).

Количество работников ПО «Маяк», умерших в течение изучаемого периода, составило 908 (22,9%) человек. Среднее значение накопленной дозы

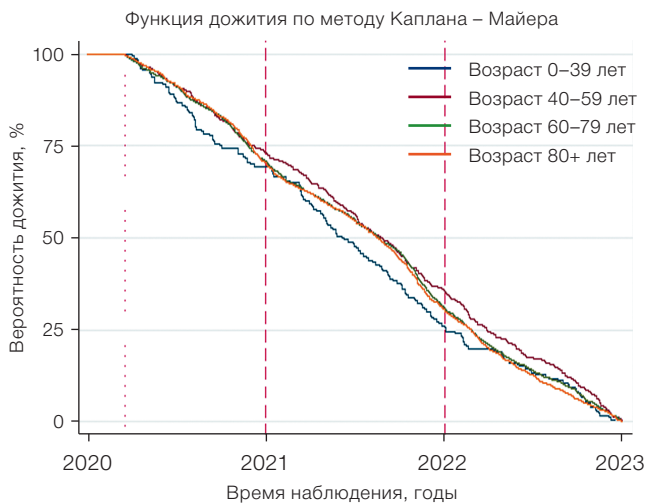


Рисунок подготовлен автором

Рис. 2. Функция дожития для различных возрастных групп населения Озерского городского округа, умерших в течение пандемического периода: точками обозначена дата 11.03.2020

внешнего гамма-облучения для работников (включая 117 человек с нулевыми измеренными дозами) составило $27,60 \pm 1,97$ мЗв (медиана 7,11 мЗв, максимум 547,05 мЗв). Функция дожития по методу Каплана – Майера была построена для категорий «население» и «персонал». Динамика интенсивности смертности от всех причин среди населения ОГО в зависимости от наличия контакта с воздействием производственного облучения представлена на рисунке 3.

Данные, представленные на рисунке 3, свидетельствуют об увеличении интенсивности смертности от всех причин среди персонала ПО «Маяк» по сравнению с населением, достигшей наибольшего отклонения во время пика распространения коронавирусной инфекции в 2021 г. Сравнение функций дожития среди персонала для маргинальных категорий накопленной дозы внешнего облучения (измеренное значение дозы 0 мЗв и лица, накопившие дозу более 100 мЗв) при помощи log-rank теста показало пограничную

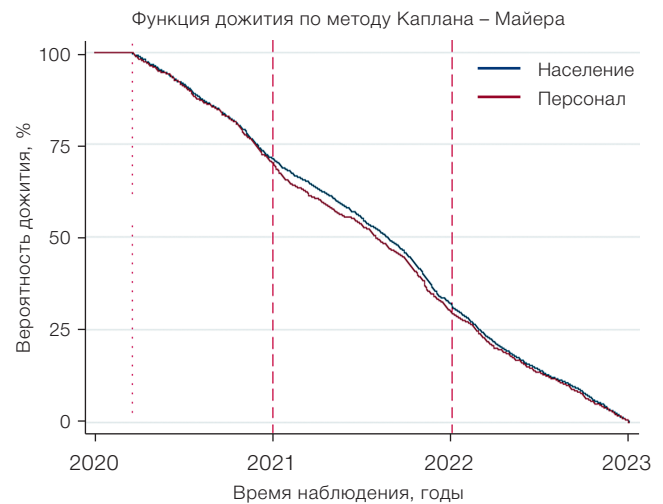


Рисунок подготовлен автором

Рис. 3. Функция дожития для умерших в Озерском городском округе в течение пандемического периода в зависимости от наличия контакта с воздействием внешнего профессионального облучения

статистическую значимость различий в смертности от всех причин в период пандемии ($p = 0,053$).

Результаты регрессионного анализа интенсивности смертности от всех причин с учетом возраста, пола, заболевания COVID-19 и накопленной дозы внешнего гамма-облучения, выполненные в многофакторной модели регрессии Кокса, представлены в таблице 2.

Оценки параметров модели свидетельствуют о том, что влияние пола не является линейным предиктором при сравнении смертности от всех причин в период пандемии. Влияние прямого эффекта воздействия суммарной дозы внешнего гамма-облучения, включенной в модель в виде линейного предиктора, показало статистически значимое увеличение ($p = 0,033$) интенсивности смертности от всех причин на 0,1% на 1 мЗв по сравнению с необлученными.

Исключение из анализа лиц, основной причиной смерти которых было заболевание COVID-19 (U07.X), приводило к увеличению статистической значимости

Таблица 2. Результаты моделирования интенсивности смерти от всех причин с учетом возраста, пола и накопленной дозы внешнего облучения (доверительный интервал 95%)

Параметр	Коэффициент	Стандартная ошибка	p	[95% ДИ]	
Пол (мужчины)	1,064	0,034	0,062	0,997	1,137
Возраст (категории по 20 лет)	1,093	0,022	<0,001	1,050	1,138
Накопленная доза, мЗв	1,001	0,0005	0,033	1,0001	1,002
COVID-19	4,942	0,20	<0,001	4,560	5,357
Взаимодействие переменных					
COVID-19	1,424	0,228	0,027	1,041	1,948
Влияние возраста и COVID-19	1,494	0,074	<0,001	1,356	1,647
Влияние дозы и COVID-19	1,002	0,001	0,050	0,999	1,004

Таблица составлена автором

эффекта дозы облучения ($p = 0,01$) и росту интенсивности смертности от всех причин до 0,11% на каждый 1 мЗв дозы внешнего гамма-излучения. Данное наблюдение свидетельствует, что хроническое воздействие ионизирующего излучения у работников ПО «Маяк» являлось фактором риска, который в период пандемии более специфичен для причин смерти, не связанных с COVID-19.

Интенсивность риска смерти от всех причин возрастала в 1,001 раза при увеличении накопленной дозы внешнего облучения на 1 мЗв. Исходя из прогнозных оценок, полученных в модели, для персонала ПО «Маяк», облученного в дозе 27,6 мЗв (среднее значение в изучаемой когорте), интенсивность риска смерти от всех причин возрастала на 2,8% по сравнению с необлученными. Прогноз влияния величины накопленной дозы внешнего гамма-облучения на интенсивность смертности в пандемический период среди работников ПО «Маяк», нанятых на основные и вспомогательные производства в период 1948–2000 гг., представлен на рисунке 4.

Модель регрессии Кокса (рис. 4) показывает различия в прогнозируемой величине интенсивности риска смерти от всех причин в пандемический период у работников, накопивших различные дозы внешнего гамма-облучения — 10 мЗв и 1 Зв. Исходя из этого, накопление дозы внешнего гамма-облучения 1 Зв с учетом среднего достигнутого возраста работников 70 лет привело бы к смерти 95% работников ПО «Маяк» в течение первых двух лет пандемического периода.

Влияние наличия диагноза заболевания COVID-19, установленного пациентам в период 2020–2022 гг., представлено на рисунке 5.

Полученные результаты свидетельствуют, что заболевание COVID-19 является значимым предиктором, увеличивающим интенсивность риска смерти от всех причин среди населения ОГО, с учетом влияния дозы профессионального внешнего облучения и достигну-

того возраста. Оценка прямого эффекта влияния заболевания COVID-19 свидетельствует о повышении интенсивности риска смерти от всех причин в когорте в 4,9 раза при наличии у пациента по крайней мере одного случая заболевания, по поводу которого он обращался за медицинской помощью.

Включение в модель взаимодействия наличия заболевания COVID-19 с достигнутым возрастом показало, что прямой эффект «маскируется» влиянием возраста пациента. На каждые 20 лет увеличения возраста эффект наличия заболевания COVID-19 увеличивает интенсивность риска смерти от всех причин на 49%, при этом влияние прямого эффекта остается статистически значимым, но снижается до 1,42 ($p < 0,05$).

Включение в модель взаимодействия дозы облучения персонала и заболевания COVID-19 показало, что по сравнению с интактным населением интенсивность риска смерти от всех причин у облученных, переболевших COVID-19, была выше на 0,2%, однако данный коэффициент имел пограничную статистическую значимость ($p = 0,05$), что указывает на возможную нелинейность отмеченного взаимодействия.

ОБСУЖДЕНИЕ

Повышение показателя общей смертности среди населения ОГО в период пандемии COVID-19 по сравнению с данными по России свидетельствует о влиянии факторов риска, являющихся специфичными для населения города атомной промышленности [4]. Помимо непосредственного ущерба здоровью населения, нанесенного воздействием SARS-CoV-2, значимым фактором риска является старение населения Озерского городского округа [12]. Другим фактором, влияющим на грубый показатель смертности от всех причин, может являться хроническое радиационное воздействие, которому подвергается персонал предприятия ядерно-промышленного комплекса.

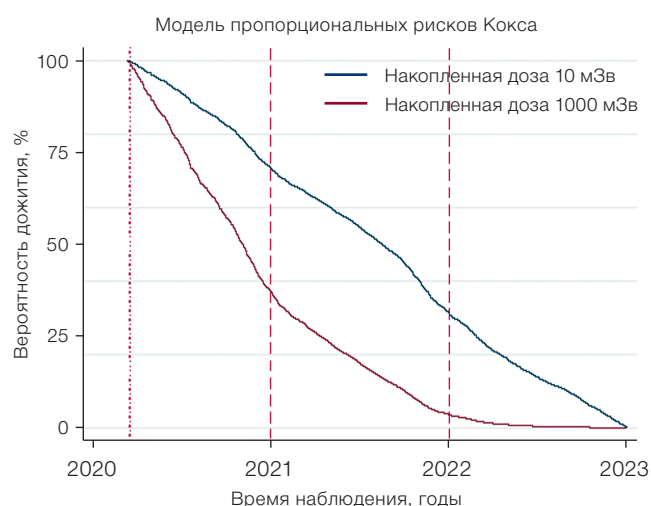


Рисунок подготовлен автором

Рис. 4. Прогнозные оценки интенсивности риска смерти от различных причин в течение пандемического периода 2020–2023 гг. для персонала ПО «Маяк» в зависимости от накопленной дозы внешнего гамма-облучения



Рисунок подготовлен автором

Рис. 5. Прогнозные оценки интенсивности риска смерти от различных причин в течение пандемического периода 2020–2023 гг. в зависимости от наличия или отсутствия установленного диагноза заболевания COVID-19

Влияние производственного облучения на риск смерти от различных заболеваний, помимо онкологических, является широко изучаемым в последнее время [7, 13]. Результаты настоящего исследования косвенно свидетельствуют о существенной роли ионизирующего излучения как фактора риска смерти не только от злокачественных новообразований, но также и неонкологических заболеваний.

Структура смертности от всех причин в пандемический период, помимо умерших от COVID-19 как основной причины смерти (U07.1, U07.2), включает различные кластеры заболеваний, таких как злокачественные новообразования (C00–C97). Влияние облучения, рассматриваемого в качестве потенциальной причины возникновения онкологических заболеваний у облученного персонала [5], может служить объяснением наблюдаемого увеличения интенсивности риска смерти от всех причин в исследуемой когорте после исключения из анализа умерших от COVID-19.

К возможным ограничениям настоящего исследования относится длительность периода наблюдения, который включает только первые три года с момента объявления пандемии COVID-19. Несмотря на то что официально пандемия потеряла статус чрезвычайного события в 2022 г., присутствие инфекционного агента SARS-CoV-2 с высокой мутагенностью в популяции [14] продолжает нести угрозу заболевания и возможных неблагоприятных исходов для здоровья населения, включая работников атомной отрасли. Указанный факт может иметь существенное значение для реализации возможных отдаленных последствий COVID-19, влияние которых на риск смерти еще недостаточно изучено. В целях более полного анализа данной проблемы целесообразно использование данных о динамике распространения новой коронавирусной инфекции («пандемические волны»), различиях в штаммах вируса, а также количестве инфицированных, перенесших заболевание в легкой форме и не обращавшихся за медицинской помощью.

Для более глубокого понимания механизмов влияния пандемии в контексте здоровья населения и персонала предприятий ядерно-промышленного комплекса необходимо детальное рассмотрение взаимосвязи

радиационных факторов риска и специфических причин смерти и изучение закономерностей влияния COVID-19 на риск смерти от злокачественных новообразований, что является актуальным вопросом в зарубежных исследованиях [15]. Учитывая повышенную вероятность развития злокачественных новообразований легкого у работников плутониевого производства [16], в плане продолжения исследований представляет интерес изучение взаимосвязи между дозой внутреннего облучения от инкорпорированного ^{239}Pu и смертностью от рака легкого в период пандемии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный ретроспективный анализ интенсивности общей смертности населения Озерского городского округа в период пандемии COVID-19 выявил взаимосвязь влияния отдельных факторов риска радиационной и нерадиационной природы. Среди населения города атомной промышленности Озерск период пандемии сопровождался увеличением интенсивности риска смерти от всех причин. Наиболее уязвимыми категориями с наибольшей интенсивностью смертности в пандемический период являются лица молодого и пожилого возраста и работники, имеющие контакт с воздействием производственного облучения. Влияние наличия заболевания COVID-19 на интенсивность риска смерти от всех причин осуществляется как по прямому, так и по опосредованному механизму. Наиболее значимым модификатором риска смерти от всех причин у заболевших COVID-19 является возраст.

Превышение показателя общей смертности среди населения Озерского городского округа в пандемический период по сравнению с аналогичным показателем по России является следствием влияния факторов риска, специфичных для населения, проживающего вблизи объектов ядерно-промышленного комплекса. Значимое влияние на интенсивность риска смерти от всех причин ожидается среди работников, накопивших высокие дозы внешнего облучения порядка 1 Зв, тогда как накопленные малые дозы облучения до 10 мЗв практически не влияют на изменение интенсивности общей смертности в период пандемии.

Литература / References

- Осипов МВ, Соколова ВА, Кушнир АС. Оценка влияния пандемии COVID-19 на общий коэффициент смертности населения Озерского городского округа. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2022;24(2):74–80. Osipov MV, Sokolova VA, Kushnir AS. Evaluation of the impact of COVID-19 pandemic on overall mortality in Ozersk urban district. *Extreme Medicine*. 2022;24(2):74–80 (In Russ). <https://doi.org/10.47183/mes.2022.011>
- Osipov MV, Fomin EP. Assessment of COVID-19 pandemic-related detrimental impact on the population of nuclear city population: Two-year results. *Russian Open Medical Journal*. 2023;12:e0101. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2023.0101>
- Zhang JJ, Dong X, Liu GH, Gao YD. Risk and Protective Factors for COVID-19 Morbidity, Severity, and Mortality. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*. 2023;64(1):90–107. <https://doi.org/10.1007/s12016-022-08921-5>
- Новоселов ВН, Носач ЮФ, Ентяков БН. *Атомное сердце России*. Ред. Баранов СВ. Челябинск: Автограф; 2014. Novoselov VN, Nosach YuF, Entyakov BN. *Atomic heart of Russia*. Ed. Baranov SV. Chelyabinsk: Autograph, 2014 (In Russ.).
- Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, Gilbert ES, Vassilenko EK, Romanov SA, et al. Cancer mortality risk among workers at the Mayak nuclear complex. *Radiation Research*. 2003;159(6):787–98. [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2003\)159\[0787:cmrawa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2003)159[0787:cmrawa]2.0.co;2)
- Sokolnikov M, Preston D, Gilbert E, Schonfeld S, Koshurnikova N. Radiation effects on mortality from solid

- cancers other than lung, liver, and bone cancer in the Mayak worker cohort: 1948–2008. *PLoS One*. 2015;10(2):e0117784. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117784>
7. Moseeva MB, Azizova TV, Grigoryeva ES, Haylock R. Risks of circulatory diseases among Mayak PA workers with radiation doses estimated using the improved Mayak Worker Dosimetry System 2008. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2014;53(2):469–77. <https://doi.org/10.1007/s00411-014-0517-x>
 8. Gomes AP, Costa B, Marques R, Nunes V, Coelho C. Kaplan–Meier Survival Analysis: Practical Insights for Clinicians. *Acta Medica Portuguesa*. 2024;37(4):280–5. <https://doi.org/10.20344/amp.21080>
 9. Singh R, Mukhopadhyay K. Survival analysis in clinical trials: Basics and must know areas. *Perspectives in Clinical Research*. 2011;2(4):145–8. <https://doi.org/10.4103/2229-3485.86872>
 10. Koshurnikova NA, Shilnikova NS, Okatenko PV. Characteristics of the cohort of workers at the Mayak nuclear complex. *Radiation Research*. 1999;152(4):352–63.
 11. Deo SV, Deo V, Sundaram V. Survival analysis—part 2: Cox proportional hazards model. *Indian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2021;37(2):229–33. <https://doi.org/10.1007/s12055-020-01108-7>
 12. Тельнов ВИ, Третьяков ФД. Динамика возрастно-половой структуры населения г. Озерска (1953–2008 годы). *Медицина экстремальных ситуаций*. 2009;4:108–22.
 - Telnov VI, Tretyakov FD. Dynamics of age and sex structure of the population of Ozersk (1953–2008). *Extreme Medicine*. 2009;4:108–22 (In Russ.).
 13. Azizova TV, Muirhead CR, Moseeva MB, Grigoryeva ES, Sumina MV, O'Hagan J, et al. Cerebrovascular diseases in nuclear workers first employed at the Mayak PA in 1948–1972. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2011;50(4):539–52. <https://doi.org/10.1007/s00411-011-0377-6>
 14. Otto SP, Day T, Arino J, Colijn C, Dushoff J, Li M, et al. The origins and potential future of SARS-CoV-2 variants of concern in the evolving COVID-19 pandemic. *Current Biology*. 2021;31:R918–29. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.049>
 15. Chavez-MacGregor M, Lei X, Zhao H, Scheet P, Giordano SH. Evaluation of COVID-19 Mortality and Adverse Outcomes in US Patients with or without Cancer. *JAMA Oncology*. 2022;8(1):69–78. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2021.5148>
 16. Stram DO, Sokolnikov M, Napier BA, Vostrotin VV, Efimov A, Preston DL. Lung Cancer in the Mayak Workers Cohort: Risk Estimation and Uncertainty Analysis. *Radiation Research*. 2021;195(4):334–46. <https://doi.org/10.1667/RADE-20-00094.1>

Вклад автора. Автор подтверждает соответствие своего авторства критериям ICMJE. Исследование выполнено автором лично в полном объеме.

ОБ АВТОРЕ

Осипов Михаил Викторович, канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-0732-0379>
osipov@subi.su