

Риск смерти от злокачественных новообразований органов верхнего отдела желудочно-кишечного тракта в Уральской когорте аварийно-облученного населения

Микрюкова Л.Д., Завьялов Д.А.

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

*Онкопатология является одним из основных отдаленных эффектов воздействия ионизирующего излучения. Проблема воздействия малых доз остается одной из наиболее сложных. Цель исследования – анализ дозовой зависимости риска смертности от злокачественных новообразований верхнего отдела желудочно-кишечного тракта у членов Уральской когорты аварийно-облученного населения с 1950 по 2020 год. Материалы и методы: Уральская когорта облученного населения включает в себя лиц, пострадавших в результате двух радиационных аварий на Южном Урале. Период наблюдения – 71 год, численность когорты на конец наблюдения – 62592 человека, число человеко-лет под риском – 1964136. Всего было установлено 1587 случаев злокачественных новообразований данной локализации, из них – 844 у мужчин, 743 – у женщин. В качестве реперной использовалась доза на желудок. Максимальная доза за весь период наблюдения составила 1,13 Гр, средняя – 0,04 Гр. Анализ проводился с использованием программ статистического пакета Epi-*surge* методом Пуассоновской регрессии с применением простой параметрической модели избыточного относительного риска. Значимость результатов оценивалась методом максимального правдоподобия с 95 % вероятностью. Результаты исследования и обсуждение: При анализе риска смертности всех злокачественных новообразований верхнего отдела пищеварительного тракта дозовая зависимость имела линейный характер и наблюдалась уже при двухлетнем минимальном латентном периоде: избыточный относительный риск составил 0,76/Гр ($p=0,03$). Дозовая зависимость смертности от злокачественных новообразований ротовой полости также имела линейный характер при двухлетнем минимальном латентном периоде, избыточный относительный риск на 1 Гр дозы составил 4,95 ($p=0,01$). Величины риска развития других злокачественных новообразований органов верхнего отдела желудочно-кишечного тракта не показали значимой зависимости от дозы на желудок. Проведена оценка влияния модифицирующих факторов на величину радиогенного риска. Заключение: По результатам проведенного исследования получен статистически значимый избыточный относительный риск смерти от всех злокачественных новообразований верхних отделов желудочно-кишечного тракта и от злокачественных новообразований ротовой полости.*

Ключевые слова: *избыточный относительный риск, канцерогенный риск, ионизирующее излучение, смертность, злокачественные новообразования.*

Введение

В середине прошлого века произошли две аварии на производственном объединении «Маяк» в Челябинской области. Пострадали жители Челябинской, Курганской и Свердловской областей. Первая авария была связана с загрязнением реки Теча сбросами радиоактивных отходов с 1949 г. по 1956 г., вторая авария в результате которой образовался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) произошла из-за взрыва емкости-хранилища жидких радиоактивных отходов в 1957 году. Население подверглось внешнему и внутреннему облучению в разных дозах. В клиническом отделении Южно-Уральского Федерального научно-клинического центра медицинской биофизики ФМБА России организовано обследование и лечение пострадавшего населения. Благодаря научному наблюдению и длительному сбору информации (более 70 лет) о последствиях радиационных аварий была сформирована Уральская когорта аварийно-облученного населения (УКАОН) [1-3].

В результате воздействия ионизирующего излучения в отдаленном периоде по данным литературы наиболее часто регистрируются злокачественные новообразования [4-6]. Рак верхних отделов желудочно-кишечного тракта (ВОЖКТ), включающий злокачественные новообразования ротовой полости, пищевода, желудка, двенадцатиперстной кишки, печени, желчевыводящих путей и желчного пузыря, поджелудочной железы является одной из самых распространенных причин смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) в мире, например, в США это вторая по значимости причина смертности от ЗНО [7]. В структуре смертности от рака в России онкологические заболевания системы пищеварения занимают также одно из ведущих мест, составляя 29,3 % [8]. В структуре заболеваемости в России одним из самых распространенных ЗНО является рак желудка – пятое место, в структуре смертности от злокачественных новообразований занимает 3-е место [9]. В структуре смертности рак пищевода в РФ занимает 6-е место [10]. Так как ЗНО верхних отделов желудочно-кишечного тракта имеют

Микрюкова Людмила Дмитриевна

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики

Адрес для переписки: 454141, Россия, Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: mikludm@mail.ru

высокую степень распространенности в структуре заболеваемости и смертности как во всем мире, так и в РФ, представляет интерес оценка влияния дозы и нерадиационных факторов на риск смертности ЗНО ВОЖКТ у населения, подвергнувшегося действию длительного хронического облучения. Достаточная численность когорты, длительный период наблюдения (с 1950 по 2020 год), расчет индивидуальных доз облучения дают возможность провести такой анализ в Уральской когорте аварийно-облученного населения.

Цель исследования – анализ дозовой зависимости риска смертности от злокачественных новообразований верхнего отдела желудочно-кишечного тракта у членов Уральской когорты аварийно-облученного населения с 1950 по 2020 год.

Материалы и методы

Для анализа дозовой зависимости смертности населения от ЗНО верхнего отдела пищеварительного тракта использовалась объединенная когорта лиц, облученных в результате двух аварий на ПО «Маяк» на Южном Урале. Период наблюдения 71 год (с 1950 по 2020 годы). Территория наблюдения за смертностью включала населенные пункты Челябинской и Курганской областей. Численность Уральской когорты аварийно-облученного населения на конец наблюдения (2020 г.) составила 62592 человека. По демографическим характеристикам 44 % состава когорты (27789 человек) составляли мужчины, 56 % (34803 человек) – женщины. По этническому составу преобладало славянское, преимущественно русское население и включало 45007 человек (72 %), группа татар и башкир включала 17585 человек (28 %). Облученные на реке Теча составили 68 % изучаемой когорты (42665 человек), облученные на ВУРСе – 32 % (19937 человек). По возрасту на начало облучения 52 % от состава когорты установлены в возрастной категории от 0 до 19 лет, 41 % - от 20 до 59 лет, только 7 % от состава когорты были старше 60 лет. На конец периода наблюдения 68 % от общего числа когорты умерли (34938 человек), причина смерти установлена у 31896 человек (91 %). Потери из-под наблюдения 5614 человек (11 %). 18 % изучаемой когорты составили мигранты.

Всего за изучаемый период было установлено 1587 случаев ЗНО ВОЖКТ. В таблице 1 показано распределение случаев по полу и по этнической принадлежности, а также распределение числа человеко-лет.

Таблица 1. Демографические характеристики случаев смерти от ЗНО верхнего отдела ЖКТ

[Table 1. Demographic characteristics of deaths from upper gastrointestinal cancer]

Характеристики [Characteristics]	Случаи ЗНО ВОЖКТ [Cancer cases]		
	Количество [n]	%	Человеко-годы [Person-years]
Мужчины [Male]	844	53	828209
Женщины [Female]	743	47	1135931
Татары и башкиры [Tatars & Bashkirs]	496	31	646474
Русские [Russian]	1091	69	1317666
Вся когорта [Whole cohort]	1587	100	1964140

Число лиц, умерших от ЗНО верхнего отдела ЖКТ, составило 1587 человек. У мужчин было зарегистрировано больше случаев ЗНО, чем у женщин (844 против 743 соответственно). По этническому составу 69 % от всех случаев зарегистрировано у русских (1091 случай), 31 % – у татар и башкир (496 случаев). Число человеко-лет под риском при проживании на территории наблюдения за смертностью у членов когорты, умерших от ЗНО ВОЖКТ, составило 1964140.

В таблице 2 показаны причины смерти от рака верхнего отдела ЖКТ по отдельным локализациям.

Таблица 2. Случаи смерти от ЗНО верхнего отдела ЖКТ в зависимости от локализации

[Table 2. Deaths from upper gastrointestinal cancers by site]

Локализация ЗНО ВОЖКТ [Cancer site]	Мужчины [Male]		Женщины [Female]		Всего [Whole cohort]	
	n	%	n	%	n	%
Ротовая полость [Oral cavity]	77	9	18	2	95	6
Пищевод [Esophagus]	126	15	97	13	223	14
Желудок [Stomach]	473	56	426	57	899	57
Печень, желчный пузырь и протоки [Liver, gallbladder and ducts]	86	10	120	16	206	13
Поджелудочная железа [Pancreas]	82	10	82	11	164	10
Все [All upper gastrointestinal tract]	844	100	743	100	1587	100

В структуре смертности от онкологических заболеваний верхнего отдела органов пищеварения у членов УКАОН максимальное количество случаев зарегистрировано от ЗНО желудка (57 %), далее идут ЗНО пищевода и печени (14 % и 13 % соответственно), 10 % составляют ЗНО поджелудочной железы, 6 % - ротовой полости. Злокачественные новообразования желудка являются самой частой локализацией ЗНО в верхнем отделе ЖКТ как у мужчин, так и у женщин (56 % и 57 % соответственно). Доля злокачественных новообразований пищевода и поджелудочной железы в процентном отношении по полу почти не отличается, а доля ЗНО печени у женщин больше (16 % против 10 % у мужчин).

Дозы

Население пострадавших территорий подверглось сочетанному облучению: внешнему в связи с повышенным уровнем и внутреннему за счет употребления продуктов питания и воды. Основными дозообразующими радионуклидами являлись долгоживущие ^{90}Sr и ^{137}Cs . Расчет доз в УКАОН за весь период наблюдения проведен на основе TRDS-2016, которая была разработана в биофизической лаборатории [11-13]. Чтобы оценить риск ЗНО ВОЖКТ была выбрана доза на желудок. Доза, накопленная в стенках желудка, была рассчитана на каждый год наблюдения. При расчете доз учитываются: история проживания человека на территории наблюдения за смертностью, пол, возраст, биокинетические характеристики человека (метаболические характеристики в зависимости от возраста облучения и конституции

человека, пищевое поведение) и окружающей среды. Расчеты проводятся для восьми радионуклидов: ^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{144}Ce , ^{103}Ru , ^{106}Ru [13]. Максимальная доза на желудок за весь период наблюдения составила 1,13 Гр, средняя – 0,04 Гр.

Статистический анализ

В основе статистического анализа использован статистический пакет EPICURE (программа DATAB и AMFIT) [14].

Анализ риска смерти от ЗНО ВОЖКТ проводился с использованием простой параметрической модели избыточного относительного риска (ИОР) на основе Пуассоновской регрессии в AMFIT статистического пакета Epicure [14].

Модель ИОР представлена формулой:

$$\lambda(a,d,z)=\lambda_0(a,z_0)(1+p(d)\varepsilon(z_i)),$$

где $\lambda(a,d,z)$ – общий риск заболеваемости ЗНО в зависимости от достигнутого возраста (a), дозы (d) и других факторов (z);

z_0 – другие факторы, которые могут влиять на базовые уровни (λ_0);

z_i – факторы, которые могут модифицировать ИОР. Избыточный риск описывается как произведение функции дозового ответа $p(d)$ на функцию модификации эффекта ($\varepsilon(z_i)$).

В перечень анализируемых факторов вошли: пол, возраст начала облучения (категории по 20 лет от 0 до 60+), этническая принадлежность (русские или татары и башкиры), факт эвакуации, территория первого облучения (река Теча или ВУРС), статус облучения (облучен после рождения, дополнительно облучен внутриутробно или дополнительно облучены родители), наличие рака у родственников (да, нет, неизвестно), курение (курит, не курит или бросил, не известно), территория проживания (сельская местность или город), достигнутый возраст (категории по 20 лет от 0 до 80+), календарный период (до 1986 г. и после), год рождения членов когорты (до 1935 г. и после), дозовые категории с латентным периодом 0, 2, 5, 10 и 15 лет (с нижней границей 0; 0,002; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 > Гр).

Сначала была проведена оценка базовых уровней факторов риска, оказывающих влияние на смертность от ЗНО ВОЖКТ, а затем анализ дозовой зависимости смертности ЗНО ВОЖКТ.

Оценка базовых уровней

Влияние параметров на уровни смертности от всех ЗНО ВОЖКТ и по отдельным локализациям, относящимся к верхнему отделу ЖКТ, было проверено как дифференцированно, так и в различных сочетаниях. Для расчета базовых уровней смертности были выбраны только факторы, оказывающие статистически значимое влияние на них (как при расчете значения ИОР по всем органам ВОЖКТ, так и по отдельным причинам смерти от ЗНО, относящимся к этой группе).

При расчете величины ИОР смертности всех ЗНО ВОЖКТ было установлено влияние следующих факторов: показатель смертности был выше у мужчин относительно женщин, у курящих выше, чем у некурящих или бросивших курить, у сельских жителей выше, чем у городских, выше у кого есть рак у родственников, у неэвакуированных выше, чем у эвакуированных, у родившихся до 1935 г. выше, чем у родившихся после 1935 г., и показатели увеличивались

с увеличением достигнутого возраста.

В модель базовых уровней смертности ИОР ЗНО ротовой полости кроме значимых показателей: пол (показатели выше у мужчин), курение (выше у курящих), достигнутый возраст (увеличивались с увеличением достигнутого возраста) были также добавлены факторы - территория первого облучения (выше у облученных на реке), календарный период (выше до 1986 года). Остальные показатели в модели базовых уровней смертности этой локализации не включены, т. к. были не значимы.

Результаты и обсуждение

Проблема воздействия малых доз остается одной из наиболее сложных. Прежде всего потому, что при оценке последствий радиационных катастроф, в результате которых пострадало население, на популяционном уровне играют роль сложности связаны с количественной оценкой малых доз облучения населения. Серьезные методические трудности возникают при выделении радиационной составляющей среди экологически неблагоприятных факторов, других нерадиационных факторов риска различной природы, воздействующих на человека. В особенности ценными могут быть эпидемиологические исследования, полученные на популяциях, получивших не только внешнее облучение, но и внутреннее (например, при поступлении радионуклидов внутрь с пищей и водой) или комбинированное облучение, а также облучение в течение продолжительных периодов времени.

Учитывая доказанное канцерогенное влияние ионизирующего излучения и относительно высокую смертность от злокачественных новообразований верхнего отдела органов пищеварительной системы изучение закономерностей смертности и рисков смерти ЗНО данных локализаций в облученных популяциях представляется важной задачей.

В развитии злокачественного новообразования существует период с опухолевого повреждения одной клетки до развития клинически выраженного заболевания – латентный период. Для уточнения минимального латентного периода (МЛП) развития ЗНО ВОЖКТ при расчете величин ИОР смертности в зависимости от дозы облучения на каждого человека и на каждый календарный год были рассчитаны дозы с минимальным латентным периодом развития ЗНО ВОЖКТ в 2, 5, 10 и 15 лет. Были протестированы линейная, квадратичная и линейно-квадратичная модели дозовой зависимости ИОР.

В таблице 3 показаны результаты анализа ИОР смертности от всех ЗНО ВОЖКТ в зависимости от минимального латентного периода и вида дозовой зависимости.

Значимые величины ИОР были получены при 0- и 2-летнем минимальном латентном периоде в линейной модели. При этом величина ИОР и доверительные интервалы отличаются незначительно, $p=0,03$ в обеих моделях, отклонение модели чуть меньше при минимальном латентном периоде равно 2 годам. Увеличение минимального латентного периода до 5, 10 или 15 лет приводило к увеличению неопределенности оценки ИОР. Учитывая, что минимальный латентный период необходим для развития злокачественного новообразования, то для дальнейшего анализа и расчетов модификации риска нерадиационными факторами нами была использована доза с минимальным латентным периодом в 2 года. Величина ИОР при этом составила 0,76/Гр (95 % ДИ: 0,07;1,60), $p=0,03$.

Таблица 3. ИОР смертности ЗНО ВОЖКТ при различных минимальных латентных периодах (линейная и квадратичная модели)
[Table 3. ERR values of mortality from all upper gastrointestinal cancers depending on the stomach dose (linear and quadratic models)]

Минимальный латентный период, лет [Minimal latent period, years]	ИОР/Гр, 95 % ДИ [ERR/Gy (95 % CI)]	p	Отклонение модели [Deviance]	Избыточные ЗНО [Excess cases]	Атрибутивный риск, % [Attributable risk]
Линейная модель [Linear model]					
0	0,73 (0,06;1,55)	0,03	12548,80	52,9	3,3
2	0,76 (0,07;1,60)	0,03	12548,58	53,4	3,4
5	0,64 (-0,03;1,47)	0,06	12549,99	43,6	2,7
10	0,21 (-0,45;0,87)	>0,5	12552,99	13,5	0,9
Квадратичная модель [Quadratic model]					
0	0,92 (-0,36;2,20)	0,15	12551,37	16,4	1,0
2	0,90 (-0,39;2,19)	0,18	12551,62	15,5	1,0
5	0,64 (-0,63;1,91)	0,34	12552,51	10,5	0,7

Дозовая зависимость лучше всего описывалась линейной моделью ($p=0,03$). В квадратичной ($p=0,15$) и линейно-квадратичной ($p>0,5$, данные в таблице не приводятся) моделях величины ИОР были незначимыми. Отношение доли избыточных случаев ЗНО ВОЖКТ, рассчитанных по модели, к общему числу злокачественных новообразований верхнего отдела ЖКТ в когорте показывает величину атрибутивного риска. Атрибутивный риск для ЗНО ВОЖКТ в линейной модели с минимальным латентным периодом в 2 года составил 3,4 %, и, следовательно, 53 из 1587 случаев ЗНО ВОЖКТ могли быть результатом воздействия ионизирующей радиации.

Такой же анализ был проведен для ЗНО отдельных органов ЖКТ.

Анализ риска ЗНО ротовой полости представлен в таблице 4. При расчете величины ИОР была получена статистически значимая положительная величина при минимальном латентном периоде 0, 2,5 и 10 лет. Лучшие показатели для величины риска в линейной модели наблюдались при 0- и 2-летнем МЛП и были очень близки. Т.к. для реализации развития злокачественного новообразования нужен латентный период мы использовали величину ИОР с 2-летним минимальным латентным периодом, которая для ЗНО ротовой полости составила 4,95/Гр (95 % ДИ: 0,81; 12,49), $p=0,01$. Согласно линейной модели с минимальным латентным периодом в 2 года атрибутивный риск для ЗНО ротовой полости составил 15,3 %.

Таблица 4. ИОР смертности ЗНО ротовой полости при различных минимальных латентных периодах
[Table 4. ERR of mortality from oral cavity cancers depending on the stomach dose (linear and quadratic models)]

Минимальный латентный период, лет [Minimal latent period, years]	ИОР/Гр, 95 % ДИ [ERR/Gy (95 % CI)]	p	Отклонение модели [Deviance]	Избыточные ЗНО [Excess cases]	Атрибутивный риск, % [Attributable risk]
Линейная модель [Linear model]					
0	5,17 (0,94;12,94)	0,01	1184,42	15,3	16,1
2	4,95 (0,81;12,49)	0,01	1184,91	14,5	15,3
5	4,10 (0,31;11,05)	0,03	1186,59	12,1	12,8
10	4,14 (0,31;11,20)	0,03	1186,62	11,7	12,3
Квадратичная модель [Quadratic model]					
0	9,04 (0,68;24,92)	0,03	1186,54	6,4	6,7
2	8,79 (0,39;24,89)	0,04	1187,03	6,1	6,4
5	7,13 (-0,37;22,13)	0,07	1188,18	4,9	5,2

Более высокая оценка риска для локализаций ЗНО ротовой полости в сравнении со всеми ЗНО ВОЖКТ сопровождается и большей неопределенностью, доверительный интервал, составил от 0,81 до 12,49. При тестировании квадратичной модели также получены положительные значения ИОР, но доверительный интервал при этом еще шире по сравнению

с линейной моделью. Тестирование линейно-квадратичной модели не выявило дозовой зависимости и в таблице 4 не приводится.

В таблице 5 показаны результаты анализа по отдельным локализациям ЗНО органов верхнего отдела ЖКТ по линейной модели с 2- и 5-летними минимальными латентными периодами.

Таблица 5. ИОР смертности ЗНО ВОЖКТ разных локализаций

[Table 5. ERR of mortality from upper gastrointestinal cancers depending on the stomach dose by site (linear model)]

Локализация ЗНО [Cancer site]	Случаи [Cases]	Минимальный латентный период 2 года [Minimal latent period 2 years]		Минимальный латентный период 5 лет [Minimal latent period 5 years]	
		ИОР/Гр (95 % ДИ)	p	ИОР/Гр (95 % ДИ)	p
Ротовая полость [Oral cavity]	95	4,95 (0,81; 12,49)	0,01	4,10 (0,31; 11,05)	0,03
Пищевод [Esophagus]	223	1,54 (-0,93; 4,00)	0,19	2,17 (-0,25; 6,29)	0,09
Желудок [Stomach]	899	0,68 (-0,28; 1,64)	0,13	0,567 (-0,38; 1,51)	0,20
Печень, желчный пузырь и протоки [Liver, gallbladder and ducts]	206	-0,13 (-1,55; 1,29)	> 0,5	-0,17 (-1,59; 1,26)	> 0,5
Поджелудочная железа [Pancreas]	164	0,87 (-1,27; 3,01)	0,36	0,66 (-1,40; 2,71)	0,49
Печень, желчный пузырь и протоки + поджелудочная железа [Liver, gallbladder and ducts + pancreas]	370	-0,07 (-1,21; 1,07)	> 0,5	-0,20 (-1,30; 0,90)	> 0,5
Все органы ВОЖКТ [All upper gastrointestinal tract]	1587	0,76 (0,07; 1,60)	0,03	0,64 (-0,03; 1,47)	0,06

Также был проведен анализ риска смерти от ЗНО пищевода, желудка, печени, поджелудочной железы и совместно печени и поджелудочной железы. Не было выявлено статистически значимой дозовой зависимости для ЗНО указанных органов по отдельности.

По данным в таблице 5 можно видеть, что значимая линейная дозовая зависимость наблюдается только для ЗНО ротовой полости ($p=0,01$) и для всех ЗНО ВОЖКТ ($p=0,03$). Квадратичная и линейно-квадратичные модели не выявили значимой дозовой зависимости смертности ЗНО для других локализаций и здесь не приводятся.

Модификация дозового ответа

В работе с использованием программы AMFIT у членов исследуемой УКАОН была проведена оценка возможной модификации дозового ответа различными нерадиационными факторами. Модификация дозового ответа проводилась путем расчета дозовой зависимости в разных группах, объединенных каким-либо общим признаком. Достаточная численность когорты и длительный период наблюдения позволили получить статистически значимые значения ИОР для отдельных групп и провести их корректное сравнение. Результаты оценки модификации ИОР для смертности ЗНО всех органов ВОЖКТ по линейной модели с минимальным латентным периодом 2 года представлены в таблице 6.

Таблица 6. Модификация ИОР смертности ЗНО ВОЖКТ

[Table 6. ERR modification of mortality from all upper gastrointestinal cancers]

Параметры [Parameters]	Количество [n]	ИОР/Гр [ERR/Gy]	95 % ДИ [95 % CI]		p
			Нижняя граница [Lower]	Верхняя граница [Upper]	
Вся когорта [Whole cohort]	1587	0,76	0,07	1,60	0,03
Этническая принадлежность [Ethnicity]					
Татары/башкиры [Tatars and Bashkirs]	496	1,33	0,30	2,57	0,02
Русские [Russian]	1091	0,44	-0,33	1,21	0,26

Параметры [Parameters]	Количество [n]	ИОР/Гр [ERR/Gy]	95 % ДИ [95 % CI]		p
			Нижняя граница [Lower]	Верхняя граница [Upper]	
Пол [Sex]					
Мужчины [Male]	844	0,48	-0,41	1,38	0,29
Женщины [Female]	743	1,08	0,11	2,33	0,05
Облучение родителей [Parental exposure]					
Не облучены [Not exposed]	1480	0,75	0,07	1,59	0,04
Облучены [Exposed]	107	-0,14	-3,48	3,20	> 0,5
Территория первого облучения [First exposure accident]					
Река Теча [Techa river]	1144	0,76	0,07	1,60	0,04
ВУРС [EURT]	443	0,69	-3,28	4,65	> 0,5
Городской/сельский житель [Urban/Rural]					
Сельский [Rural]	1326	0,71	0,01	1,58	0,07
Город [Urban]	261	1,19	-0,83	3,20	0,29
Календарный период [Calendar period]					
1956-1985	808	0,98	0,10	2,08	0,05
1986-2020	779	0,50	-0,40	1,40	0,27
Рак у родственников [Cancer in relatives]					
Нет [No]	812	0,88	-0,19	1,94	0,11
Есть [Yes]	621	0,61	-0,31	1,54	0,19
Нет информации [No information]	154	1,20	-1,70	4,09	0,49
Возраст начала облучения, лет [Age at exposure]					
10	–	0,21	-0,24	0,66	0,36
40	–	0,85	-0,07	1,77	0,07

По данным таблицы 6 в большинстве сравниваемых групп значимая зависимость величины ИОР наблюдалась только для представителей одной группы, поэтому корректное сравнение дозовой зависимости в рассматриваемых группах на данном этапе не представляется возможным. В целом наблюдалась статистически значимая дозовая зависимость показателя ИОР смерти от ЗНО ВОЖКТ в группе татар и башкир (ИОР/Гр=1,33; 95 % ДИ: 0,30; 2,57), $p=0,02$; а также для женщин (ИОР/Гр=1,08; 95 % ДИ: 0,11; 2,33), $p=0,05$; у членов когорты (представляющих большинство), родители которых не облучены ($p=0,04$); у облученных на реке Тече ($p=0,04$); у заболевших в первые 35 лет (до 1986 г.) после начала облучения.

При изучении параметра возраст начала облучения был получен значимый линейный тренд – риск увеличивался с возрастанием возраста начала облучения, но разницы между точечными оценками риска в 10 и 40 лет нет (табл. 6).

Не было выявлено статистически значимой модификации ИОР для всех ЗНО ВОЖКТ фактором наличия рака у родственников. Другие незначимые факторы в таблице не представлены.

Была проведена оценка возможной модификации значимых значений ИОР смертности ЗНО ротовой полости

нерадиационными факторами в УКАОН. Полученные оценки ИОР с данными факторами имели большие неопределенности, поэтому сделать вывод об их влиянии на величину дозовой зависимости в настоящее время не представилось возможным, и они не приводятся.

По литературным данным результаты подобных исследований на данный момент неоднозначны и противоречивы. Так, в последнем обновлении оценок риска смерти от солидных ЗНО отдельных локализаций в объединенной когорте работников атомной промышленности Франции, Великобритании и США (INWORKS) ЗНО ротовой полости, желудка, пищевода, печени и поджелудочной железы в сумме составляют 23,6 % от всех смертей от ЗНО. В результате анализа авторы находят положительную связь накопленной дозы со смертями от ЗНО желудка, поджелудочной железы (ИОР/Гр 1,00 (-0,13; 2,47) и ИОР/Гр 0,06 (-0,80; 1,22) соответственно) и не находят или находят негативную ассоциацию с ЗНО печени, ротовой полости и пищевода [15].

В когорте работников ПО «Маяк» получен статистически значимый относительный риск заболеваемости раком желудка 1,48 (95 % ДИ: 1,10; 1,98) при поглощенной в стенке желудка дозе внешнего гамма-излучения более 1,0 Гр [16].

Также в этой когорте была выявлена статистически значимая положительная зависимость между поглощенными в печени дозами внутреннего альфа-излучения от инкорпорированного плутония-239 и риском ЗНО печени [17–18].

В исследовании заболеваемости и смертности от ЗНО пищеварительной системы у ликвидаторов аварии на ЧАЭС в период с 1986 по 1997 год авторы отмечают, что показатели стандартизованных отношений заболеваемости и смертности, а также статистически не значимые радиационные риски, не позволяют сделать вывод о влиянии радиационного фактора на заболеваемость и смертность от данного класса заболеваний. Также авторы указывают на то, что для уточнения данных оценок необходим более длительный период наблюдения [19].

В обзоре посвященном смертности от раковых и нераковых заболеваний в японской когорте выживших после ядерной бомбардировки (LSS) авторы отмечают статистически значимый избыточный относительный риск смерти от ЗНО желудка, пищевода и печени (ИОР/Гр 0,28 (0,14; 0,42), ИОР/Гр 0,51 (0,11; 1,06) и ИОР/Гр 0,36 (0,18; 0,58) соответственно) [20].

Заключение

В работе представлены результаты продолжающегося исследования радиационных эффектов в когорте, объединяющей население, облученное в период с 1950 по 1960 г. в двух радиационных инцидентах на Южном Урале. Впервые было проведено исследование показателей риска смертности ЗНО органов верхнего отдела пищеварительного тракта (ротовой полости, пищевода, желудка, поджелудочной железы, печени, желчевыводящих путей и желчного пузыря), в Уральской когорте аварийно-облученного населения за 71-летний период наблюдения от дозы и нерадиационных факторов. Для анализа использованы дозы, накопленные в желудке за весь период наблюдения (с 1950 по 2020 год), рассчитанные по TRDS-2016.

Ранее в когорте УКАОН был проведен анализ риска заболеваемости ЗНО верхнего отдела органов пищеварения [21]. Дозовая зависимость для заболеваемости ЗНО желудка имела линейный характер и наблюдалась при двухлетнем минимальном латентном периоде: ИОР составил 0,98/Гр (95 % ДИ: 0,09; 2,10), $p=0,029$. Для заболеваемости всех ЗНО ВОЖКТ была получена положительная линейная дозовая зависимость с 90 % значимостью ИОР=0,58/Гр (95 % ДИ: -0,03; 1,31; 90 % ДИ: 0,06; 1,19).

В проведенном исследовании по результатам анализа дозовой зависимости риска смертности от всех злокачественных новообразований верхних отделов ЖКТ в когорте лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию на Южном Урале было показано, что для всех ЗНО ВОЖКТ дозовая зависимость имела линейный характер и наблюдалась уже при двухлетнем минимальном латентном периоде: ИОР составил 0,76/Гр (95 % ДИ: 0,07; 1,60), $p=0,03$. Положительные оценки риска развития ЗНО были получены для нескольких органов верхнего отдела пищеварительной системы - ротовая полость, пищевод, желудок, поджелудочная железа, но значимой дозовой зависимости была только для ротовой полости. Дозовая зависимость смертности ЗНО ротовой полости имела линейный характер при МЛП=2, ИОР на 1 Гр дозы составил 4,95 (95 % ДИ: 0,81; 12,49), $p=0,01$.

Величины риска развития ЗНО всех других органов пищеварительной системы не показали значимой дозовой зависимости от дозы на желудок.

Была проведена оценка возможной модификации величины риска смертности ЗНО всех органов ВОЖКТ и отдельно ЗНО ротовой полости нерадиационными факторами (пол, этническая принадлежность, принадлежность к облученному населению в населенных пунктах на реке Тече/ВУРСа, облучение родителей, курение, городской житель/сельский житель, наличие ЗНО у родственников первой линии родства, период наблюдения, достигнутый возраст, возраст начала облучения). Статистически значимая связь величины ИОР смертности с дозой для всех ЗНО ВОЖКТ в УКАОН была получена в группе татар и башкир, у женщин, при отсутствии облучения родителей, у облученных на реке Теча, у жителей села, в календарный период до 1986 г. При этом достоверных различий в группах не наблюдалось. Был получен значимый линейный тренд – риск увеличивался с возрастанием возраста начала облучения.

При оценке возможной модификации эффектов ИОР смертности ЗНО ротовой полости нерадиационными факторами полученные значения ИОР имели большие неопределенности, поэтому сделать вывод об их влиянии на величину дозовой зависимости на данном этапе не представилось возможным.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Микрюкова Л.Д. – дизайн исследования, анализ риска, интерпретация данных, написание статьи, редакция финального варианта статьи.

Завьялов Д.А. – анализ риска, обсуждение результатов, подготовка таблиц.

Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам ЮУрФНКЦ МБ: Е.А. Шишкиной, Е.И. Толстых, за расчет оценок индивидуальных доз для членов когорты; сотрудникам группы информационной поддержки исследований населения под руководством Тряпициной С.В. за сбор информации о местах проживания, жизненном статусе и причинах смерти членов когорты; сотрудникам научно-исследовательской лаборатории исследований эффектов облучения населения и лично Епифановой С.Б. за подготовку данных к анализу.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

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

Литература

1. Аклев А.В., Аклев А.А., Андреев С.С. Последствия радиоактивного загрязнения реки Течи. Челябинск: Книга, 2016. 390 с.
2. Аклев А.В., Киселев М.Ф. Восточно-Уральский радиоактивный след (сборник статей, посвященных последствиям аварии 1957 г. на ПО «Маяк»). Челябинск, 2012. 352 с.

3. Силкин С.С., Крестинина Л.Ю., Старцев В.Н., Аклеев А.В. Уральская когорта аварийно-облученного населения // Медицина экстремальных ситуаций. 2019. № 3. С. 393–402.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2006 Report. Annex A. Epidemiological Studies of Radiation and Cancer. 13-322. United Nations: New York, 2008.
5. Крестинина Л.Ю., Силкин С.С. Риск смерти от солидных злокачественных новообразований в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1950–2019 // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 1. С. 19–31. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-19-31.
6. Крестинина Л.Ю., Силкин С.С., Микрюкова Л.Д. и др. Риск заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1956–2017 // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 6–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17.
7. Liang J., Rastegar R., El Helou M. et al. Incidence Trends in Upper Gastrointestinal Cancer in Young Adults: A Nationwide Time-Trend Analysis Using 2001-2019 US Cancer Statistics Databases // The American journal of gastroenterology. 2025 Vol. 120, No 4. P. 890-904. DOI: 10.14309/ajg.0000000000003068.
8. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: Филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019.
9. Клинические рекомендации – Рак желудка – 2020-2021-2022 (31.01.2023) – Утверждены Минздравом РФ. URL: http://disuria.ru/load/zakonodatelstvo/klinicheskie_rekomendacii_protokoly_lechenija/54 / (Дата обращения: 01.10.2025).
10. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // CA: A Cancer Journal for Clinicians. 2021. Vol. 71, No 3. P. 209-249. DOI: 10.3322/caac.21660.
11. Дегтева М.О., Напье Б.А., Толстых Е.И. и др. Распределение индивидуальных доз в когорте людей, облученных в результате радиоактивного загрязнения реки Течи // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64, № 3. С. 46–53. DOI: 10.12737/article_5cf2364cb49523.98590475.
12. Degteva M.O., Napier B.A., Tolstikh E.I. et al. Enhancements in the Techa River Dosimetry System: TRDS-2016D Code for Reconstruction of Deterministic Estimates of Dose from Environmental Exposures // Health Physics. 2019. Vol. 117, No 4. P. 378–87. DOI: 10.1097/HP.0000000000001067.
13. Shishkina E.A., Napier B.A., Preston D.L. et al. Dose estimates and their uncertainties for use in epidemiological studies of radiation-exposed populations in the Russian Southern Urals // PLOS One. 2023. Vol. 18, No 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0288479.
14. Preston D.L., Lubin J., Pierce D., McConney. Epicure Users Guide. Seattle, Washington: Hirosoft International Company, 1993.
15. Richardson D.B., Laurier D., Leuraud K. et al. Site-specific cancer mortality after low-level exposure to ionizing radiation: findings from an update of the International Nuclear Workers Study (INWORKS) // American Journal of Epidemiology. 2025. Vol. 194, No 5. P. 1285-1294. DOI: 10.1093/aje/kwae256.
16. Жунтова Г.В., Григорьева Е.С., Азизова Т.В. Риск заболеваемости раком желудка у работников радиационно опасного предприятия // Анализ риска здоровью. 2019. № 1. С. 40–49. DOI: 10.21668/health.risk/2019.1.04.
17. Labutina E.V., Kuznetsova I.S., Hunter N. et al. Radiation risk of malignant neoplasms in organs of main deposition for plutonium in the cohort of Mayak workers with regard to histological types // Health Physics. 2013. Vol. 105, No 2. P. 165-176. DOI: 10.1097/HP.0b013e31828f57df.
18. Sokolnikov M.E., Gilbert E.S., Preston D.L. et al. Lung, liver and bone cancer mortality in Mayak workers // International Journal of Cancer. 2008. Vol. 123, No 4. P. 905-911. DOI: 10.1002/ijc.23581.
19. Бирюков А.П., Иванова И.Н., Горский А.И. и др. Анализ заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований пищеварительной системы среди ликвидаторов за 1986-1997 годы // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2001. № 12. С. 62-81.
20. Ozasa K., Shimizu Y., Suyama A. et al. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950-2003: an overview of cancer and noncancer diseases // Radiation Research. 2012. Vol. 177, No 3. P. 229-43. DOI: 10.1667/rr2629.1.
21. Крестинина Л.Ю., Завьялов Д.А. Риск развития злокачественных новообразований органов пищеварения, исключая кишечник, в Уральской когорте аварийно-облученного населения // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 18–28. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-18-28.

Поступила: 07.11.2025

Микрюкова Людмила Дмитриевна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории исследований эффектов облучения населения, Южно-Уральский Федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 454141, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 68-А; E-mail: mikludm@mail.ru; ORCID: 0000-0002-6269-5114, РИНЦ Author ID: 726108

Завьялов Данила Александрович – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории исследований эффектов облучения населения, Южно-Уральский Федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Челябинск, Россия; ORCID: 0009-0005-8754-1655, РИНЦ Author ID: 1177673

Для цитирования: Микрюкова Л.Д., Завьялов Д.А. Риск смерти от злокачественных новообразований органов верхнего отдела желудочно-кишечного тракта в Уральской когорте аварийно-облученного населения // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 2. С. 43–52. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-43-52

Mortality risk due to upper gastrointestinal cancers in Southern Urals population exposed to radiation cohort

Ludmila D. Mikryukova, Danila A. Zavyalov

Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical-Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

Cancer is one of the major late effects of exposure to ionizing radiation. Low dose effect has been still remains one of the most challenging issues. The objective of the study is to analyze the dose dependence of the risk of upper gastrointestinal cancer mortality in members of the Southern Urals Population Exposed to Radiation Cohort over the period from 1950 to 2020. Materials and Methods: Southern Urals Population Exposed to Radiation Cohort includes people aggrieved as a result of two radiation accidents in the Southern Urals. Follow up period is 71 years, cohort size at the end of the follow up is 62,259 individuals, number of person-years at risk – 1964,136. In total 1,587 upper gastrointestinal cancers have been revealed, 844 of them were found in men, and 743 – in women. Dose to the stomach was used as the reference one. Maximum dose over the whole follow up period made up 1.13 Gy, mean dose – 0.04 Gy. Statistical analysis has been performed with the Epicure software package using the Poisson regression with simple parametric model of the excess relative risk. Maximum likelihood method with 95 % probability was applied to evaluate the statistical significance of the results. Results and Discussion: The analysis of the mortality risk of all the upper gastrointestinal cancers revealed linear dose relationship which started to be observed already with 2-year minimum latency period: ERR 0.76/Gy, $p=0.03$. Dose dependence of the mortality from oral cavity cancer was also linear with 2-year minimum latency period, ERR/Gy was 4.95, $p=0.01$. The risk of the development of upper gastrointestinal cancers did not exhibit statistically significant dependence on dose to the stomach. The effect of modifying factors per unit of radiogenic risk has also been evaluated. Conclusion: Based on the results of the study, a statistically significant excess relative mortality risk of all cancers of the upper gastrointestinal and oral cavity has been obtained.

Key words: excess relative risk, carcinogenic risk, ionizing radiation, mortality, cancer.

Authors' personal contribution

Mikryukova L.D. – study design, risk analysis, data interpretation, writing the manuscript, revision of the final version of the article

Zavyalov D.A. – risk analysis, discussion of results, preparation of tables.

Acknowledgements

We express our gratitude to the staff of the SUFRCC MB: E.A. Shishkina, E.I. Tolstykh for calculating estimates of individual doses for the cohort members; to the staff of the research data support for population studies headed by S.V. Tryapitsina for collecting information on places of residence, vital status, and causes of death of cohort members; to the staff of the R&D laboratory for studies of population exposure effects and personally to S.B. Epifanova for preparing the data for analysis.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Sources of 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 until 2030".

References

1. Akleyev AV, Akleyev AA, Andreyev SS. Consequences of radioactive contamination of the Tcha River. Chelyabinsk: Kniga; 2016. 390 p. (In Russian).
2. Akleyev AV, Kiselev MF. The East Ural Radioactive Trace (a collection of articles on the consequences of the 1957 accident at the Mayak Production Association). Chelyabinsk; 2012. 352 p. (In Russian).
3. Silkin SS, Krestinina LYu, Startsev VN, Akleyev AV. Ural cohort of emergency-irradiated population. *Medsina ekstremal'nykh situatsiy = Emergency medicine*. 2019;(3): 393–402. (In Russian).
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2006 Report. Annex A. Epidemiological Studies of Radiation and Cancer. 13-322. United Nations: New York; 2008.
5. Krestinina LYu, Silkin SS. Solid cancer mortality risk in the Southern Urals populations exposed to radiation cohort: 1950–2019. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(1): 19–31. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-19-31 (In Russian).
6. Krestinina LYu, Silkin SS, Mikryukova LD, Epifanova SB, Akleyev AV. Solid cancer incidence risk in the Ural cohort of the accidentally exposed population: 1956–2017. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 6–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17. (In Russian).
7. Liang J, Rastegar R, El Helou M, Mathur K, Larson BK, Waters K, et al. Incidence Trends in Upper Gastrointestinal Cancer in Young Adults: A Nationwide Time-Trend Analysis Using 2001–2019 US Cancer Statistics Databases. *The American journal of gastroenterology*. 2025;120(4): 890–904. DOI: 10.14309/ajg.0000000000003068.
8. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality) / Ed. by Kaprin AD et al. Moscow: P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute – branch of the Federal State Budgetary Institution "National Institute of Radiology" of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2019. 250 p. (In Russian).

Lyudmila D. Mikryukova

Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics

Address for correspondence: 68A, Vorovsky Str., Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: mikludm@mail.ru

9. Clinical guidelines - Gastric cancer - 2020-2021-2022 (31.01.2023). Approved by the Russian Ministry of Health (In Russian). URL: http://disuria.ru/load/zakonodatelstvo/klinicheskie_rekomendacii_protokoly_lechenija/54 / [Accessed 01.10.2025].
10. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2021;71(3): 209-249. DOI: 10.3322/caac.21660.
11. Degteva MO, Napier BA, Tolstykh EI, Shishkina EA, Bougrov NG, Krestinina LY, et al. Individual Dose Distribution in Cohort of People Exposed as a Result of Radioactive Contamination of the Techa River. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019;64(3): 46-53. DOI: 10.12737/article_5cf2364cb49523.98590475. (In Russian).
12. Degteva MO, Napier BA, Tolstykh EI, Shishkina EA, Shagina NB, Volchkova AY, et al. Enhancements in the Techa River Dosimetry System: TRDS-2016D Code for Reconstruction of Deterministic Estimates of Dose from Environmental Exposures. *Health Physics*. 2019;117(4): 378-387. DOI: 10.1097/HP.0000000000001067.
13. Shishkina EA, Napier BA, Preston DL, Degteva MO. Dose estimates and their uncertainties for use in epidemiological studies of radiation-exposed populations in the Russian Southern Urals. *PLOS One*. 2023;18(8): e0288479. DOI: 10.1371/journal.pone.0288479.
14. Preston DL, Lubin J, Pierce D, McConney. *Epicure Users Guide*. Seattle, Washington: Hirosoft International Company; 1993.
15. Richardson DB, Laurier D, Leuraud K, Gillies M, Haylock R, Kelly-Reif K, et al. Site-specific cancer mortality after low-level exposure to ionizing radiation: findings from an update of the International Nuclear Workers Study (INWORKS). *American Journal of Epidemiology*. 2025;194(5): 1285-1294. DOI: 10.1093/aje/kwae256.
16. Zhuntova GV, Grigoreva ES, Azizova TV. Risk of morbidity with stomach cancer among workers employed at radiation-hazardous enterprise. *Health Risk Analysis*. 2019;1: 40-49. DOI: 10.21668/health.risk/2019.1.04. (In Russian).
17. Labutina EV, Kuznetsova IS, Hunter N, Harrison J, Koshurnikova NA. Radiation risk of malignant neoplasms in organs of main deposition for plutonium in the cohort of Mayak workers with regard to histological types. *Health Physics*. 201;105(2): 165-176. DOI: 10.1097/HP.0b013e31828f57df.
18. Sokolnikov ME, Gilbert ES, Preston DL, Ron E, Shilnikova NS, Khokhryakov VV, et al. Lung, liver and bone cancer mortality in Mayak workers. *International Journal of Cancer*. 2008;123(4): 905-911. DOI: 10.1002/ijc.23581.
19. Biryukov AP, Ivanova IN, Gorsky AI, Petrov AV, Matyash VA. Analysis of incidence and mortality for malignant neoplasms of the digestive system among the liquidators in 1986-1997. *Radiatsia i risk (Byulleten Natsionalnogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra) = Radiation and Risk (Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Registry)*. 2001;12: 62-81. (In Russian).
20. Ozasa K, Shimizu Y, 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): 229-243. DOI: 10.1667/rr2629.1.
21. Krestinina LY, Zavyalov DA. The risk of developing cancer of the digestive organs (excluding intestines) in the South Urals Population Exposed to Radiation Cohort. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 18-28. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-18-28.

Received: November 07, 2025

For correspondence: Lyudmila D. Mikryukova – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher and Head of the R&D Laboratory for Studies of Population Exposure Effects, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics Federal Medical-Biological Agency (68A Vorovsky Str., Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: mikludm@mail.ru); ORCID: 0000-0002-6269-5114, RSCI Author ID: 726108

Danila A. Zavyalov – Junior Researcher of the R&D Laboratory for Studies of Population Exposure Effects, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics, Federal Medical-Biological Agency, Chelyabinsk, Russia; ORCID: 0009-0005-8754-1655, RSCI Author ID: 1177673

For citation: Mikryukova L.D., Zavyalov D.A. Mortality risk due to upper gastrointestinal cancers in Southern Urals population exposed to radiation cohort. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 43–52. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-43-52