

Продолжительность жизни у работников ПО «Маяк» после острой лучевой болезни разной степени тяжести

В.И. Тельнов, Т.В. Азизова, М.Б. Мосеева, М.В. Банникова

Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства, г. Озерск, Челябинская область, Россия

Оценка влияния радиационного воздействия на продолжительность жизни человека — актуальная проблема радиационной медицины. Целью исследования явился анализ продолжительности жизни в группе работников ПО «Маяк» после острой лучевой болезни, подвергшихся в результате аварийных ситуаций острому внешнему облучению в значительных дозах, и участников аварий без заболевания. Анализ проведен у 58 умерших работников ПО «Маяк» (50 мужчин и 8 женщин) с помощью программы STATISTICA 10. Изучены 5 показателей продолжительности жизни: статичные — до и после острого облучения, общая продолжительность жизни, а также потенциальные — потерянные годы потенциальной жизни и доля лиц, проживших менее 35 лет. В результате исследования у работников с тяжелой и особенно крайне тяжелой степенью болезни относительно работников средней и легкой степени тяжести заболевания и участников аварий установлено статистически значимое сокращение статичных показателей, за исключением продолжительности жизни до острого облучения, и повышение потенциальных показателей. Причиной сокращения продолжительности жизни при крайне тяжелой степени заболевания было его экстремальное течение. При тяжелой степени тяжести сокращение продолжительности жизни было обусловлено, главным образом, преждевременной смертностью от злокачественных новообразований. Установлена статистически значимая линейная регрессионная зависимость показателей продолжительности жизни от натурального логарифма дозы острого облучения. На 1 логарифм дозы облучения продолжительность жизни после острого облучения сокращалась на 8,3 лет, общая — на 8,8 лет, а потерянные годы потенциальной жизни повышались на 8,4 лет. Относительный риск повышения доли работников, проживших менее 35 лет при заболевании тяжелой и крайне тяжелой степени тяжести, а также при дозах острого облучения более 10 Гр по сравнению с остальными работниками, был существенно повышен, составил 26,8 и 18,8 (ДИ: 3,8–191,1 и 2,7–129,8; $p < 0,001$) соответственно. Таким образом, у работников ПО «Маяк» впервые установлено сокращение продолжительности жизни после острой лучевой болезни.

Ключевые слова: работники ПО «Маяк», острое внешнее облучение, острая лучевая болезнь, причины смерти, продолжительность жизни, регрессионный анализ, относительный риск.

Введение

Продолжительность жизни (ПЖ) как интегральный показатель исторически и в настоящее время отражает многие аспекты уровня и качества жизни, включая здоровье населения, социально-экономические условия его проживания, характер старения, а также многие другие [1, 2]. Снижение ПЖ может быть вызвано воздействием неблагоприятных факторов различной природы [3, 4]. Изучение воздействия ионизирующего излучения на ПЖ представляет важную задачу радиационной медицины и демографии. На начальном этапе в экспериментальных исследованиях данной проблемы было показано, что сокращение ПЖ является универсальным эффектом разных видов радиационного воздействия [5, 6]. Значимые результаты, свидетельствующие о сокращении ПЖ после внешнего и внутреннего облучения, были получены: в когортах аме-

риканских и британских радиологов [7, 8]; в японской когорте LSS (Life Span Study) лиц, подвергшихся облучению в результате атомной бомбардировки [9]; у рисовальщиц циферблатов и у больных туберкулезом костей или анкилозирующим спондилитом, которые подверглись воздействию радия, в том числе в результате лечения [10–12]; в когорте работников производственного объединения (ПО) «Маяк», подвергшихся инкорпорации плутония-239 [13, 14]. В последние годы в этой когорте были получены данные о сокращении продолжительности здоровой жизни [15].

В отличие от перечисленных выше исследований, остается не изученной проблема ПЖ у людей после острой лучевой болезни (ОЛБ). К настоящему времени в мире накоплен огромный медико-дозиметрический объем материалов по изучению ОЛБ [16–19]. Однако све-

Азизова Тамара Васильевна

Южно-Уральский институт биофизики

Адрес для переписки: 456783, Россия, г. Озерск, Челябинская область, Озерское шоссе, д. 19; E-mail: clinic@subi.su

дения об оценке ПЖ при ОЛБ разной степени тяжести в доступной литературе отсутствуют. По-видимому, трудности в изучении данной проблемы связаны, в первую очередь, с тем, что, как правило, для анализа исследователи располагали очень небольшими по численности группами и недостаточно полными, а иногда и отсутствующими данными медицинского наблюдения. Во вторую очередь, это обусловлено необходимостью практически полной убыли представителей исходной группы с ОЛБ, что позволяет добиться максимально возможной численности индивидов (силы мощности исследования) при анализе ПЖ. Для изучения эффектов и последствий острого облучения был создан регистр ОЛБ, развившейся у работников в результате кратковременного облучения высокой мощности во время радиационных аварий на ПО «Маяк» [20, 21]. Важно подчеркнуть, что для более полного анализа проблемы необходимо использовать не только статические, но и потенциальные показатели ПЖ.

Цель исследования – оценка комплекса показателей ПЖ у умерших работников ПО «Маяк» из регистра ОЛБ на основе данных многолетнего динамического наблюдения.

Материалы и методы

Исследование проведено в группе работников ПО «Маяк», входящих в Регистр ОЛБ, содержащий на 31 декабря 2020 г. первичные данные на 77 случаев: 75 случаев до 2007 г. [20] и 2 новых случая (военнослужащие) по мере получения дополнительных сведений были идентифицированы до 2020 г. [22]. Регистр включает медико-демографическую, дозиметрическую и профессиональную информацию, входящую в состав актуализированной базы данных (БД) «Радиационные аварии на ПО «Маяк»» и медико-дозиметрической БД «Клиника» за весь период наблюдения [23].

В результате проведенной ретроспективной экспертизы из 77 «исторических» диагнозов ОЛБ была подтверждена у 54 (70,1%) работников. У 23 (29,9%) человек с зарегистрированной в прошлые годы ОЛБ легкой степени тяжести «исторический» диагноз не был подтвержден. Эти пациенты (18 человек) были определены как участники радиационных аварий. В 5 случаях провести экспертизу «исторического» диагноза было невозможно из-за недостатка данных. По состоянию на 31 декабря 2020 г. жизненный статус известен для 64 (83,1%) чело-

век; 13 (16,9%) человек выехали из г. Озерска, и их жизненный статус не известен. Из 64 человек с известным жизненным статусом 58 (90,6%) умерли, а 6 (9,4%) живы. В таблице 1 представлено распределение умерших работников регистра ОЛБ в зависимости от степени тяжести заболевания.

Поглощенными дозами внешнего облучения являлись верифицированные оценки доз острого облучения, полученные расчетным путем на основании показаний индивидуальных плечочных дозиметров работников и территориальных дозиметров, регистрирующих гамма-излучение в различных точках рабочих помещений [24]. Средние поглощенные дозы колебались от $1,06 \pm 0,35$ Гр у участников аварии до $64,75 \pm 50,59$ Гр при ОЛБ IV степени тяжести, мощность дозы – от $0,021 \pm 0,021$ до $0,466 \pm 0,490$ Гр с^{-1} соответственно.

Статистический анализ проводился с помощью программы STATISTICA 10 и включал следующие исследования:

- дескриптивный, ранговый корреляционный и регрессионный анализы, а также сравнение средних по критерию Стьюдента;

- непараметрические методы сравнения средних по U-критерию Манна – Уитни и по одностороннему точному критерию Фишера для сравнения частот в случае асимметричного распределения исследуемых показателей;

- оценка относительного риска – OR (relative risk) ухудшения показателей ПЖ с определением его значимости с помощью 95% доверительного интервала на основе четырехпольных таблиц для групп с разными дозами острого внешнего облучения и степенью тяжести ОЛБ [25].

В настоящем исследовании осуществлялся не только статичный подход, при котором проводилась непосредственная оценка ПЖ, фиксирующая число прожитых лет, в частности, ПЖ до острого облучения, ПЖ после острого облучения, общая ПЖ, как их сумма, но и потенциальные показатели: потерянные годы потенциальной жизни (ПГПЖ) – potential years of life lost (PYLL), то есть число лет, не дожитых до нормативного возрастного предела, называемого жизненным потенциалом, а также доля лиц, не доживших до определенного возраста, в частности, до критически низкого значения ПЖ (табл. 2) [14].

Потенциальные показатели ПЖ все шире и шире применяются в медицине [26, 27]. В связи с тем, что в когорте населения ожидаемая ПЖ всегда больше, чем в общей

Таблица 1

Распределение умерших работников в зависимости от степени тяжести ОЛБ

[Table 1

Distribution of deceased workers by the acute radiation syndrome (ARS) severity]

Степень тяжести ОЛБ [ARS severity]	Мужчины [Males]	Женщины [Females]	Все [Total]
Крайне тяжелая (IV) [Extreme]	6	1	7
Тяжелая (III) [Severe]	3	2	5
Средняя (II) [Moderate]	4	1	5
Легкая (I) [Light]	23	2	25
Всего ОЛБ [Total number of ARS]	36	6	42
Участники аварий [Accident participants]	14	2	16
Все [Total]	50	8	58

популяции, на 10–15 лет [28], для оценки ПГПЖ использовали повозрастные показатели ожидаемой ПЖ при рождении, полученные в когорте работников ПО «Маяк» 1948–1958 годов найма, а именно: до 77 лет у мужчин и до 81 года у женщин. ПГПЖ определяли как разницу между ожидаемой ПЖ в когорте и общей ПЖ. В 2018 г. ожидаемая ПЖ при рождении у городского населения РФ составила 68,1 лет у мужчин и 78,1 лет у женщин [29]. Неблагоприятной особенностью ожидаемой ПЖ при рождении у населения РФ является 10-летняя гендерная разница.

Результаты исследования и обсуждение

Как следует из таблицы 3, первое место в структуре причин смерти у мужчин занимают болезни системы кровообращения, второе – злокачественные новообразования, третье – внешние причины, в том числе ОЛБ, и в 1 случае – болезни органов пищеварения. У женщин преобладали злокачественные новообразования и болезни системы кровообращения. Смерть от ОЛБ тяжелой и крайне тяже-

лой степени тяжести, как у мужчин, так и у женщин, была основной причиной среди всех внешних причин.

Учитывая, что 90,6% членов регистра ОЛБ к настоящему времени умерли, в таблице 4 представлены результаты оценки ПЖ до острого облучения, ПЖ после острого облучения, общая ПЖ как их сумма, доля работников, не доживших до 35 лет, и ПГПЖ.

Из таблицы 4 видно, что статичные показатели ПЖ при ОЛБ разной степени тяжести были статистически значимо ниже, за исключением ПЖ до острого облучения, а доля работников, не доживших до 35 лет, и ПГПЖ – статистически значимо выше у работников с ОЛБ тяжелой и особенно крайне тяжелой степени, чем при ОЛБ меньшей степени тяжести, а также у участников аварии без ОЛБ. Не установлено подобных изменений в зависимости от возраста найма на работу и возраста на момент острого облучения. Для сравнения отметим, что доля лиц, не доживших до 35 лет, в соответствующей по возрасту и полу группе лиц (24–34 лет) из когорты работников 1948–1958 годов найма составила всего 2,1%.

Таблица 2

Показатели продолжительности жизни и их характеристика

[Table 2]

Indicators of lifetime and their characteristics	
Показатели ПЖ, лет [Lifetime indicators, years]	Характеристика [Characteristic]
1. Статичные: [1. Static:]	
ПЖ до острого внешнего облучения [Lifetime before acute external exposure]	ПЖ от даты рождения до даты острого внешнего облучения [Lifetime from date of birth to date of acute external exposure]
ПЖ после острого внешнего облучения [Lifetime after acute external exposure]	ПЖ от даты острого внешнего облучения до даты смерти [Lifetime from the date of acute external exposure to the date of death]
Общая ПЖ [Total lifetime]	ПЖ от даты рождения до даты смерти [Lifetime from date of birth to date of death]
2. Потенциальные: [2. Potential:]	
Потерянные годы потенциальной жизни (ПГПЖ) [potential years of life lost (PYLL)]	Число лет, не дожитых до ожидаемой ПЖ при рождении [Number of years short of expected life at birth]
Доля лиц, не доживших до критически низкого возраста [The proportion of people who did not live to a critically low age]	Доля лиц, не доживших до 35 лет [The proportion of people who did not live up to 35 years]

Таблица 3

Структура причин смерти умерших работников регистра ОЛБ

[Table 3]

Structure of causes of death of deceased workers included in the ARS registry						
Причины смерти [The causes of death]	Мужчины [Male]		Женщины [Female]		Все [Total]	
	n	%	n	%	n	%
Злокачественные новообразования [Malignant neoplasms]	11	22,0	3	37,5	14	24,1
Болезни системы кровообращения [Diseases of the circulatory system]	28	56,0	3	37,5	31	53,5
Болезни органов пищеварения [Diseases of the digestive system]	1	2,0	–	–	1	1,7
ОЛБ [The ARS]	7	14,0	1	12,5	8	13,8
Внешние причины [External causes]	3	6,0	1	12,5	4	6,9
Все [Total]	50	100,0	8	100,0	58	100,0

Показатели продолжительности жизни умерших работников из регистра ОЛБ

Таблица 4

[Table 4]

Lifetime indicators of deceased workers from the register of ARS

Степень тяжести ОЛБ [ARS severity]	Продолжительность жизни, лет [Lifetime, years]				
	До острого облучения [Before acute exposure]	После острого облучения [After acute exposure]	Общая [Total]	Общая менее 35 лет, % [Total less 35 years, %]	Потерянные годы потенциальной жизни [potential years of life lost]
Крайне тяжелая (IV) [Extreme]	27,8±3,80	0,04±0,030 ^a	27,84±3,83 ^a	85,7 ^b	49,8±4,48 ^a
Тяжелая (III) [Severe]	32,7±8,38	23,7±19,49 ^a	56,5±14,45 ^a	16,7	22,1±13,31 ^a
Средняя (II) [Moderate]	28,2±6,62	44,9±9,90	73,1±8,89	–	4,7±7,46
Легкая (I) [Light]	30,2±7,72	38,2±12,68	68,4±10,56	–	8,9±10,55
Участники аварий [accident participants]	30,9±6,76	43,0±14,68	73,8±14,68	6,3	3,7±14,54

Отмечены статистически значимые различия: а – (p < 0,05) по U-критерию Манна – Уитни относительно последующих групп; b – (p < 0,05) относительно группы ОЛБ III степени тяжести и участников аварий по одностороннему точному критерию Фишера. [Statistically significant differences were noted: a – (p < 0.05) according to the Mann-Whitney U-test relative to subsequent groups; b – (p < 0.05) relative to the of the acute radiation syndrome III severity and accident participants according to one-sided Fisher’s exact test.]

В результате анализа структуры причин смерти, как следует из таблицы 5, при крайне тяжелой степени ОЛБ ведущей причиной являлось данное радиационное поражение, при тяжелой степени ОЛБ – злокачественные новообразования (60%) и радиационное поражение (20%). У работников с ОЛБ средней и легкой степени тяжести, а также у участников аварии структура причин смерти приближалась к общепопуляционным значениям [29].

При этом общая ПЖ умерших от злокачественных новообразований работников с ОЛБ III степени тяжести была статистически значимо меньше, чем в группе работников с ОЛБ I–II степенями тяжести и участников аварий без ОЛБ, умерших от злокачественных новообразований: 58,6±1,83 лет против 68,3±9,52 лет соответственно (t=3,29; p < 0,01 для 14 случаев). Распределение общей ПЖ при злокачественных новообразованиях во всей груп-

Структура причин смерти и общая ПЖ у работников с разной степенью тяжести ОЛБ

Таблица 5

[Table 5]

Structure of causes of death and total lifetime (LT) in workers by the ARS severity

Степень тяжести ОЛБ [ARS severity]	Злокачественные новообразования [Malignant neoplasms]		Болезни системы кровообращения [Diseases of the circulatory system]			ОЛБ [ARS]			Прочие [Others]			Все [Total]			
	n	%	ПЖ, лет [LT, years]	n	%	ПЖ, лет [LT, years]	n	%	ПЖ, лет [LT, years]	n	%	ПЖ, лет [LT, years]	n	%	ПЖ, лет [LT, years]
Крайне тяжелая (IV) [Extreme]	–	–	–	–	–	–	7	100,0	27,84±3,83	–	–	–	7	100,0	27,84±3,83a
Тяжелая (III) [Severe]	3	60,0	58,6±1,83c	1	20,0	73,0	1	20,0	33,0	–	–	–	5	100,0	56,5±14,45a
Средняя (II) [Moderate]	1	20,0	69,0	4	80,0	74,0±10,30	–	–	–	–	–	–	5	100,0	73,1±9,19
Легкая (I) [Light]	8	32,0	68,4±12,02	15	60,0	69,8±9,72	–	–	–	2	8,0	57,5±9,19	25	100,0	68,4±10,60
Участники аварий [accident participants]	2	12,5	67,0±1,41	11	68,8	77,4±12,14	–	–	–	3	18,8	65,3±14,95	16	100,0	73,8±14,76

c – (p < 0,01) относительно групп ОЛБ I–II степени тяжести и участников аварии по t-критерию; остальные обозначения те же, что и в таблице 4. [c – (p < 0.01) relative to ARS groups I–II severity and accident participants according to t-criterion; other designations are the same as in table 4.]

пе работников было нормальным и не имело расхождений между сравниваемыми группами, вследствие чего U-критерий Манна – Уитни оказался статистически незначимым. Следует отметить, что средний возраст смерти от злокачественных новообразований в РФ в 2018 г. достигал у мужчин 68,6 лет, а у женщин – 70,6 лет [30]. С учетом соотношения полов, в группе работников регистра ОЛБ средний возраст смерти от злокачественных новообразований составил бы в РФ 68,9 лет, что очень близко к возрасту смерти в группе работников с ОЛБ I–II степени тяжести и участников аварий без ОЛБ.

Для оценки связи радиационных факторов и показателей ПЖ были определены ранговые коэффициенты корреляции Спирмена. В таблице 6 представлены статистически значимые ранговые коэффициенты корреляции исследованных показателей, за исключением ПЖ до острого облучения, свидетельствующие о связи степени тяжести ОЛБ и дозы острого облучения с показателями ПЖ. Мощность дозы острого облучения не имела статистически значимой связи ни с одним из исследованных показателей ПЖ.

Таблица 6

Ранговые коэффициенты корреляции (R) радиационных факторов и показателей продолжительности жизни
[Table 6
Rank correlation coefficients for radiation factors and life expectancy measures]

Продолжительность жизни, лет [Lifetime, years]:	Степень тяжести ОЛБ [ARS severity]	Доза острого облучения, Гр [Acute exposure dose, Gy]
До острого облучения [Before acute exposure]	-0,04*	-0,05*
После острого облучения [After acute exposure]	-0,51	-0,33
Общая [Total]	-0,54	-0,35
Общая менее 35 лет, % [Total less 35 years, %]	-0,54	-0,51
Потерянные годы потенциальной жизни [potential years of life lost]	0,54	0,38

* – $p > 0,05$ [* – $p > 0,05$].

Следует отметить, что довольно высокая статистически значимая корреляционная связь между исследованными показателями ПЖ (коэффициенты ранговой корреляции, R от 0,6 до 0,8) является отражением разных сторон единого процесса сокращения ПЖ, обусловленного радиационным воздействием, а именно: сокращением ПЖ после острого облучения и общей ПЖ и повышением ПГПЖ, последние из которых характеризуют снижение жизненного потенциала индивида. Так, например, 50-летние мужчины во Франции в 1900 и 2000 гг. с точки зрения достигнутого возраста одинаковы, а с точки зрения жизненного потенциала нет. Действительно, ожидаемая ПЖ 50-летнего мужчины в 1900 г. составляла 19 лет, а в 2000 г. – 29 лет, то есть была на 10 лет больше [31]. Кроме того, 40-летний мужчина в ЕС-15 в 2005 г. имел такую же ожидаемую ПЖ, как 32-летний мужчина в 1960 г. В РФ и г. Озерске (место проживания работников ПО «Маяк») у 40-летних мужчин ожидаемая ПЖ, напротив,

соответствовала 48- и 46-летнему мужчине, то есть их жизненный потенциал был меньше [32].

На рисунке представлена динамика 3 показателей: ПЖ до острого облучения, ПЖ после острого облучения (вместе составляют общую ПЖ) и ПГПЖ. Из рисунка видно, что с повышением степени тяжести ОЛБ (рис. А) и натурального логарифма дозы острого облучения (рис. В) ПЖ до острого внешнего облучения не изменялась, то есть не имела связи с облучением, а ПЖ после острого облучения, напротив, сокращалась, в результате чего сокращалась общая ПЖ и в конечном счете повышались ПГПЖ. Таким образом, ведущий вклад в сокращение общей ПЖ в обоих случаях вносило сокращение ПЖ после острого внешнего облучения.

На дальнейшем этапе был проведен линейный регрессионный анализ зависимости 3 показателей ПЖ – ПЖ после острого облучения, общей ПЖ и ПГПЖ – от натурального логарифма (Ln) дозы острого внешнего облучения. В связи с небольшим числом случаев общей ПЖ менее 35 лет и их неравномерным распределением по дозовой шкале данный показатель не был включен в ре-

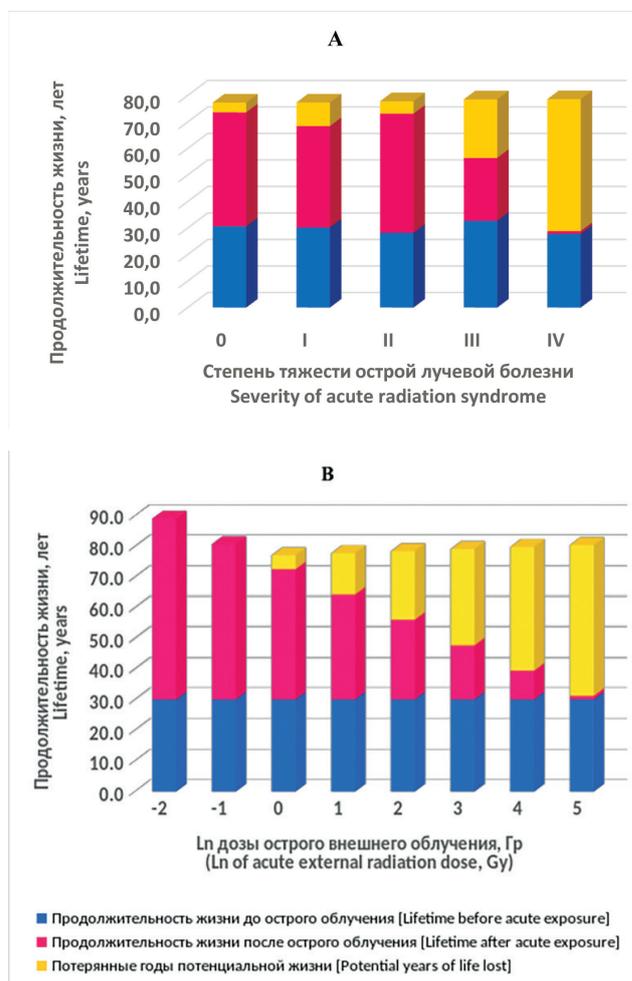


Рис. Динамика показателей ПЖ в зависимости от степени тяжести ОЛБ (А) и от натурального логарифма дозы острого внешнего облучения, Гр (Б)

[Fig.] Lifetime measures dynamics in relation to acute radiation syndrome severity (A) and natural logarithm of the dose of acute external exposure, Gy (B)

грессионный анализ. В результате анализа были получены статистически значимые уравнения регрессии, описывающие зависимость исследованных показателей ПЖ от Ln дозы острого облучения (табл. 7). Установлено, что на 1 Ln дозы ПЖ после острого облучения сокращалась на 8,3, общая ПЖ – на 8,8, а ПГПЖ, напротив, повышались на 8,4 лет. Отрицательные значения ПГПЖ свидетельствуют о том, что при низких дозах облучения общая ПЖ превышала ожидаемую ПЖ в когорте при рождении.

При оценке относительного риска повышения доли работников с общей ПЖ меньше 35 лет за референтный ОР, равный 1, принимали риск в группах с ОЛБ меньшей степени тяжести и участников аварий без ОЛБ, а также с меньшими дозами острого внешнего облучения. В результате было установлено, что данный показатель у работников при тяжелой и крайне тяжелой степени тяжести ОЛБ составил 26,8 относительно работников со средней и легкой степенью тяжести ОЛБ и участников аварий без ОЛБ (табл. 8). При подобном анализе в отношении дозы острого облучения показано, что у работников, подвергшихся облучению в поглощенных дозах более 10 Гр, относительный риск повышения доли работников с общей ПЖ

меньше 35 лет составил 18,8 относительно работников, подвергшихся меньшим дозам облучения.

Полученные величины относительного риска, характеризующие кратность его повышения относительно референтной группы, являются очень высокими, что обусловлено чрезвычайно сильным сокращением ПЖ при ОЛБ тяжелой и крайне тяжелой степени тяжести и дозах острого облучения более 10 Гр.

Следовательно, одновременный анализ нескольких показателей ПЖ, являющихся составными частями ожидаемой ПЖ при рождении в когорте, позволяет дать более объективную оценку сокращения ПЖ. При этом отсутствие связи с радиационным воздействием ПЖ до острого облучения исключает влияние на этот показатель других неизвестных случайных факторов, например, различий в возрасте найма на работу или на момент острого облучения. Выявленное в исследовании снижение ПЖ после острого облучения свидетельствует о том, что именно это обстоятельство является основной причиной сокращения общей ПЖ. Повышение ПГПЖ и доли лиц, не доживших до 35 лет, является отражением снижения жизненного потенциала у работников ПО «Маяк» после ОЛБ.

Таблица 7

Оценка зависимости показателей продолжительности жизни от натурального логарифма дозы острого внешнего облучения

[Table 7]

Association of lifetime measures with a natural log of acute exposure dose

Продолжительность жизни, лет [Lifetime, years]	Уравнения регрессии [Regression equations]	F*	p-value
После острого облучения [After acute exposure]	$= (42,62 \pm 2,91) - (8,28 \pm 1,71) \times \text{Ln дозы, Гр}$ [$= (42,62 \pm 2,91) - (8,28 \pm 1,71) \times \text{Ln doses, Gy}$]	23,4	<0,00002
Общая [Total]	$= (72,88 \pm 2,70) - (8,75 \pm 1,59) \times \text{Ln дозы, Гр}$ [$= (72,88 \pm 2,70) - (8,75 \pm 1,59) \times \text{Ln doses, Gy}$]	30,3	<0,000001
Потерянные годы потенциальной жизни [potential years of life lost]	$= (6,64 \pm 2,37) + (8,41 \pm 1,39) \times \text{Ln дозы, Гр}$ [$= (6,64 \pm 2,37) + (8,41 \pm 1,39) \times \text{Ln doses, Gy}$]	36,8	<0,000001

* – критерий Фишера [* – Fisher's test].

Таблица 8

Относительный риск (ОР) повышения доли лиц с общей ПЖ менее 35 лет у работников с разной степенью тяжести ОЛБ и дозой острого внешнего облучения

[Table 8]

Relative risk (RR) of increase of the ratio of individuals with total lifetime less than 35 years among workers with various severity degrees of ARS and dose of acute external exposure

Группы [Groups]	Общая продолжительность жизни, лет [Total lifetime, years]			ОР* [RR]	95% ДИ [95% CI]	
	< 35	≥ 35	Все [Total]		min	max
По степени тяжести ОЛБ [By ARS severity]						
I–II+участники аварии [I–II+ accident participants]	1	45	46	1,00	Референтный [Reference]	
III–IV	7	5	12	26,8	3,8	191,1
По дозам острого внешнего облучения, Гр [By acute radiation doses, Gy]						
>10	2	48	50	1,00	Референтный [Reference]	
≤10	6	2	8	18,8	2,7	129,8

* – жирным шрифтом отмечены статистически значимые ОР: $p < 0,001$ [* – statistically significant RRs ($p < 0.001$) are marked in bold].

Динамика соотношения этих показателей, за исключением доли лиц, не доживших до 35 лет, отчетливо видна на рисунке.

Заключение

Таким образом, в группе работников ПО «Маяк» с ОЛБ, подвергшихся в результате аварийных ситуаций острому внешнему облучению в значительных дозах, впервые проведена оценка ПЖ. Необходимыми условиями для выполнения настоящего исследования явились: наличие регистра ОЛБ и практически полная аварийная и естественная убыль работников, достигшая 90,6%.

В результате проведенного исследования установлено статистически значимое сокращение ПЖ после острого облучения и общей ПЖ и статистически значимое повышение доли лиц с общей ПЖ менее 35 лет и ПГПЖ у работников с ОЛБ тяжелой и особенно крайне тяжелой степени относительно работников с ОЛБ средней и легкой степени тяжести, а также участников аварий без ОЛБ. При этом причиной сокращения ПЖ при ОЛБ IV степени тяжести было крайне тяжелое течение заболевания вследствие облучения в очень высоких дозах. При ОЛБ III степени тяжести сокращение ПЖ было обусловлено, главным образом, преждевременной смертностью (в более раннем возрасте) от злокачественных новообразований, а также неблагоприятного течения ОЛБ. У работников с ОЛБ I и II степени тяжести, а также у участников аварий без ОЛБ структура причин смерти приближалась к общепопуляционным значениям.

С помощью регрессионного анализа проведена оценка зависимости показателей ПЖ от натурального логарифма дозы острого внешнего облучения у работников с ОЛБ. Установлена статистически значимая линейная зависимость ПЖ после острого облучения и общей ПЖ, а также ПГПЖ от дозы острого облучения. На 1 Lp дозы облучения ПЖ после острого облучения и общая ПЖ сокращались на 8,3 и 8,8 лет соответственно, а ПГПЖ повышались на 8,4 лет.

Относительный риск повышения доли работников с общей ПЖ менее 35 лет у работников с ОЛБ тяжелой и крайне тяжелой степенями тяжести по сравнению с работниками легкой и средней степенями тяжести ОЛБ был чрезвычайно высоким и составил 26,8. Относительный риск повышения доли работников с общей ПЖ менее 35 лет у работников с дозами острого облучения более 10 Гр относительно работников с дозами острого облучения менее 10 Гр был несколько меньше и составил 18,8. Такие высокие значения риска, очевидно, обусловлены чрезвычайно неблагоприятным воздействием острого облучения в высоких дозах на жизненный потенциал человека, который в конечном счете определяет предстоящую ПЖ в разные возрастные периоды.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Тельнов В.И. – существенный вклад в разработку концепции исследования, анализ и интерпретация данных, анализ литературы, написание текста статьи.

Азизова Т.В. – существенный вклад в разработку дизайна исследования, анализ данных, редактирование статьи и утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Мосеева М.Б. – сбор и обработка данных регистра острой лучевой болезни, подготовка таблиц.

Банникова М.В. – поиск литературы, группировка данных и подготовка иллюстраций.

Авторы согласны нести ответственность за все аспекты статьи, обеспечивая надлежащее расследование и решение вопросов, связанных с точностью или целостностью любой части работы.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу отдела радиационной безопасности и дозиметрии ФГБУН ЮУриБФ ФМБА России за предоставление доступа к базе данных ДСРМ-2013, созданной в рамках российско-американского сотрудничества. Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили улучшить качество статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального медико-биологического агентства России в рамках контракта от 28.06.2021 г. №11.315.21.2 «Совершенствование системы аварийного реагирования при чрезвычайных радиационных ситуациях и радиационных авариях» (шифр «Авария-21»).

Литература

1. Голубев А.Г. Естественная история продолжительности жизни и старения. 3-е издание, переработанное и дополненное. СПб: Эко-Вектор, 2021. 551 с.
2. Маликов Н.С. Продолжительность жизни как интегрирующий показатель ее качества // Уровень жизни населения регионов России. 2010. № 2(144). С. 37–44.
3. Кузнецова П. Курение как фактор сокращения ожидаемой продолжительности жизни в России // Демографическое обозрение. 2019. Т. 6, № 3. С. 31–57.
4. Борисова К.Б., Дворецкий Л.М., Федотов А.А. Ожидаемая продолжительность жизни в России: региональный разрез и воздействующие факторы // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 10-1(61). С. 203–320. DOI:10.24412/2500-1000-2021-10-1-203-209.
5. Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных: учебное пособие. М.: Высшая школа, 2004. 549 с.
6. Калистратова В.С., Беляев И.К., Жорова Е.С., и др. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. Под ред. В.С. Калистратовой. Изд. 2-е. М.: ФГБУ ГНЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016. 556 с.
7. Hauptmann M., Mohan A.K., Doody M.M., et al. Mortality from diseases of the circulatory system in radiologic technologists in the United States // American Journal of Epidemiology. 2003. Vol. 157, № 3. P. 239–248. DOI:10.1093/aje/kwf189.
8. Berrington A., Darby S.C., Weiss H.A., Doll R. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897–1997 // British Journal of Radiology. 2001. Vol. 74, № 882. P. 507–519. DOI:10.1259/bjr.74.882.740507.
9. Cologne J.B., Preston D.L. Longevity of atomic-bomb survivors // Lancet. 2000. Vol. 356, № 9226. P. 303–311. DOI:10.1016/S0140-6736(00)02506-X.
10. Vrijheid M., Cardis E., Ashmore P., et al. Mortality from diseases other than cancer following low doses of ionizing radiation: results from the 15-Country Study of nuclear

- industry workers // *International Journal Epidemiology*. 2007. Vol. 36, № 5. P. 1126–1135. DOI:10.1093/ije/dym138.
11. Polednak A.P., Stehney A.F., Rowland R.E. Mortality among women first employed before 1930 in the U.S. radium dial-painting industry. A group ascertained from employment lists // *American Journal of Epidemiology*. 1978. Vol. 107, № 3. P. 179–195. DOI:10.1093/oxfordjournals.aje.a112524.
 12. Spiess H. Life-span study on late effects of 224Ra in children and adults // *Health Physics*. 2010. Vol. 99, № 3. P. 286–291. DOI:10.1097/HP.0b013e3181cb857f.
 13. Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окатенко П.В. Инкорпорация плутония-239 и сокращение продолжительности жизни у работников ПО «Маяк» при опухолевых и неопухолевых причинах смерти // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2017. Т. 62, № 2. С. 28–34.
 14. Тельнов В.И., Лёгких И.В., Окатенко П.В. Анализ зависимости показателей продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у работников атомной промышленности при опухолевых и неопухолевых причинах смерти // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2021. Т. 66, № 6. С. 57–62. DOI:10.12737/1024-6177-2021-66-6-57-62.
 15. Тельнов В.И. Сокращение продолжительности здоровой жизни до диагностики злокачественных новообразований у работников ПО «Маяк» при инкорпорации 239Pu // *Вопросы радиационной безопасности*. 2021. № 2. С. 61–69.
 16. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. М.: Медицина, 1971. 382 с.
 17. Gusev G., Guskova A.K., Mettler F.A., et al. *Medical Management of Radiation Accidents*. London, New York, Washington DC: CRS Press, 2001. 640 p.
 18. Ильин Л.А., Соловьев В.Ю. Непосредственные медицинские последствия радиационных инцидентов на территории бывшего СССР // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2004. Т. 49, № 6. С. 37–48.
 19. McLaughlin T.P., Monahan S.P., Pruvost N.L., et al. *A Review of Criticality Accidents*. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 2000. P. 9–13.
 20. Азизова Т.В., Сумина М.В., Семенихина Н.Г. и др. Регистр острой лучевой болезни // *Вопросы радиационной безопасности*. 2007. № 3. С. 78–83.
 21. Азизова Т.В., Мосеева М.Б., Осовец С.В., Сумина М.В. Регистр острой лучевой болезни, зарегистрированной у работников предприятия атомной промышленности «Маяк» // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2011. № 4. С. 14–19.
 22. Азизова Т.В., Тельнов В.И., Мосеева М.Б. Острая лучевая болезнь в когорте работников, подвергшихся профессиональному облучению // XXII всероссийская научно-практическая конференция «Дни науки – 2022». Посвящается 80-летию НИЯУ МИФИ и 70-летию ОТИ НИЯУ МИФИ: Материалы конференции. Озёрск, 20–23 апреля 2022 г. Озёрск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2022. С. 44–48.
 23. Азизова Т.В., Тепляков И.И., Григорьева Е.С., и др. Медико-дозиметрическая база данных «Клиника» работников ПО «Маяк» и их семей // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2009. Т. 54, № 5. С. 26–35.
 24. Василенко Е.К., Сметанин М.Ю., Александрова О.Н., и др. Верификация индивидуальных доз внешнего облучения работников ПО «Маяк» (методы и результаты) // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2001. Т. 46, № 6. С. 37–57.
 25. Гринхальх Т. Основы доказательной медицины: пер. с англ. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ГЕОТАР-МЕД, 2022. 328 с.
 26. Сачек М.М., Писарик В.М., Новик И.И., Малахова И.В. Потерянные годы потенциальной жизни – один из инструментов оценки потерь здоровья населения // *Вопросы организации и информатизации здравоохранения*. 2018. № 1(94). С. 44–52.
 27. Самородская И.В., Семенов В.Ю. Потерянные годы потенциальной жизни от болезней системы кровообращения экономически активного населения Российской Федерации в 2013–2019 годах // *Российский кардиологический журнал*. 2021. Т. 26, № 5. С. 82–87. DOI:10.15829/1560-4071-2021-4161.
 28. Ediev D.M. Life expectancy in developed countries is higher than conventionally estimated. Implication from improved measurement of human longevity // *European Demographic Research Papers*. 2010. № 1. P. 1–35.
 29. Демографический ежегодник России. 2019: Статистический сборник. М.: Росстат, 2019. 252 с.
 30. Демографический ежегодник России 2019. Приложение к Демографическому ежегоднику России 2019. Смертность по причинам смерти. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/B19_16/lssWWW.exe/Stg/pril6.xls (Дата обращения: 30.01.2023).
 31. Human Mortality Database. URL: <http://www.mortality.org> (Дата обращения: 30.01.2023)
 32. Тельнов В.И. Повышение продолжительности жизни как демографическая парадигма социально-экономического развития России // *Горизонты демографического развития России: смена парадигм научного предвидения: сборник материалов IV Уральского демографического форума с международным участием. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2013. С. 393–398.*

Поступила: 04.01.2023 г.

Тельнов Виталий Иванович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник (звание), ведущий научный сотрудник клинического отдела Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0003-3509-5372>

Азизова Тамара Васильевна – кандидат медицинских наук, главный научный сотрудник, заместитель директора по науке, заведующая клиническим отделом Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 456783, Россия, г. Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: clinic@subi.su

ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-6954-2674>

Мосеева Мария Борисовна – научный сотрудник клинического отдела Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0003-3741-6600>

Банникова Мария Владимировна – научный сотрудник клинического отдела Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-2755-6282>

Для цитирования: Тельнов В.И., Азизова Т.В., Мосеева М.Б., Банникова М.В. Продолжительность жизни у работников ПО «Маяк» после острой лучевой болезни разной степени тяжести // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 1. С. 80-90. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-80-90

Lifetime of Mayak workers after acute radiation syndrome of various severity levels

Vitaly I. Telnov, Tamara V. Azizova, Maria B. Moseeva, Maria V. Bannikova

Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Chelyabinsk region, Russia

Assessment of the impact of radiation exposure on human lifetime is an actual problem in radiation medicine. The aim of the study was to assess lifetime in Mayak PA workers who had developed acute radiation syndrome following accidental acute high-dose external exposure and in those individuals who had taken part in nuclear accidents but had not developed the syndrome. Study analyses considered 58 deceased Mayak PA workers (50 males and 8 females) and were performed using STATISTICA 10 software. Five indicators of lifetime were studied: static – before and after acute exposure, total lifetime, as well as potential – potential years of life lost and the proportion of people who lived less than 35 years. The study demonstrated significant decrease in static indicators excluding lifetime before acute exposure and increase in potential indicators of lifetime in workers with severe and especially with extreme acute radiation syndrome compared to workers with moderate and modest acute radiation syndrome and to workers free of the syndrome. The reason for the decrease of lifetime in workers with extreme acute radiation syndrome was extremely severe course of the disease. Decrease of lifetime in cases with severe level of the syndrome was mainly due to early death from malignancies. A significant linear regression association with natural logarithm of acute radiation dose in Gy was observed for lifetime indicators. At 1 logarithm of the radiation dose, the lifetime after acute exposure was reduced by 8.3 years, total lifetime by 8.8 years, and potential years of life lost increased by 8.4 years. The relative risk of the increase of the proportion of workers with less than 35 years of life was considerably higher in workers with extreme and severe acute radiation syndrome and in workers with acute radiation doses above 10 Gy compared to other groups of workers: 26.8 and 18.8 (95% CI: 3.8–191.1 and 2.7–129.8; $p < 0.001$), respectively. Thus, for the first time, a reduction in lifetime after acute radiation syndrome was found among Mayak PA workers.

Key words: Mayak workers, acute external exposure to ionizing radiation, acute radiation syndrome, causes of death, lifetime, regression analysis, relative risk

Information about the personal contribution of the authors to the work on the article

Vitaly I. Telnov – a significant contribution to the development of the research concept, analysis and interpretation of data, literature analysis, writing the text of the article.

Tamara V. Azizova – significant contribution to the development of study design, data analysis, editing of the article and approval of the final version of the article for publication.

Maria B. Moseeva – collection and processing of data from the register of acute radiation sickness, preparation of tables.

Maria V. Bannikova – literature search, grouping of data and preparation of illustrations.

The authors agree to be responsible for all aspects of the article, ensuring proper investigation and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.

Acknowledgements

The authors would like to thank the employees of the SUBI's department of radiation safety and dosimetry for providing access to the MWDS-2013 database created within the framework of the Russian-American cooperation. The authors are also grateful to the reviewers for constructive comments and suggestions that have significantly improved the quality of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Tamara V. Azizova

Southern Urals Biophysics Institute

Address for correspondence: Ozyorskoe shosse, 19, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, Russia, 456783; E-mail: clinic@subi.su

Funding

The work was financially supported by the Federal Medical and Biological Agency under contract No. 11.315.21.2 dated June 28, 2021 “Improving the emergency response system in emergency radiation situations and radiation accidents” (code “Avariya-21”).

References

- Golubev AG. The natural history of lifespan and aging. 3rd ed., revised and enlarged. St. Petersburg: Eco-Vector; 2021. 551 p. (In Russian).
- Malikov NS. Life expectancy as an integrating indicator of its quality. *Uroven zhizni naseleniya regionov Rossii = Living standards of the population of regions of Russia*. 2010;2(144): 37–44 (In Russian).
- Kuznecova P. Smoking as a factor in reducing life expectancy in Russia. *Demograficheskoye obzreniye = Demographic Review*. 2019;6(3): 31–57 (In Russian).
- Borisova KB, Dvoretzky LM, Fedotov AA. Life expectancy in Russia: regional profile and influencing factors. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk = International Journal of the Humanities and Natural Sciences*. 2021;10-1(61): 203–320. DOI:10.24412/2500-1000-2021-10-1-203-209. (In Russian).
- Jarmonenko SP, Vainson AA. Radiobiology of man and animals: textbook. Moscow: Higher school; 2004. 549 p. (In Russian).
- Kalistratova VS, Belyaev IK, Zhorova ES, Parfenova IM, Tishchenko GS. Radiobiology of incorporated radionuclides / Ed. V.S. Kalistratova. Ed. 2nd. M.: A. I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia; 2016. 556 p. (In Russian).
- Hauptmann M, Mohan AK, Doody MM, Linet MS, Mabuchi K. Mortality from diseases of the circulatory system in radiologic technologists in the United States. *American Journal of Epidemiology*. 2003;157(3): 239–248. DOI:10.1093/aje/kwf189.
- Berrington A, Darby SC, Weiss HA, Doll R. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897–1997. *British Journal of Radiology*. 2001;74(882): 507–519. DOI:10.1259/bjr.74.882.740507.
- Cologne JB, Preston DL. Longevity of atomic-bomb survivors. *Lancet*. 2000;356(9226): 303–311. DOI:10.1016/S0140-6736(00)02506-X.
- Vrijheid M, Cardis E, Ashmore P, Auvinen A, Bae J-M., Engels H, et al. Mortality from diseases other than cancer following low doses of ionizing radiation: results from the 15-Country Study of nuclear industry workers. *International Journal of Epidemiology*. 2007;36(5): 1126–1135. DOI:10.1093/ije/dym138.
- Polednak AP, Stehney AF, Rowland RE. Mortality among women first employed before 1930 in the U.S. radium dial-painting industry. A group ascertained from employment lists. *American Journal of Epidemiology*. 1978;107(3): 179–195. DOI:10.1093/oxfordjournals.aje.a112524.
- Spieß H. Life-span study on late effects of 224Ra in children and adults. *Health Physics*. 2010;99(3): 286–291. DOI:10.1097/HP.0b013e3181cb857f.
- Telnov VI, Tretyakov FD, Okatenko PV. Incorporation of plutonium-239 and reduction of life time among Mayak employees with tumor and non-tumor causes of death. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2017;62(2): 28–34 (In Russian).
- Telnov VI, Legkikh IV, Okatenko PV. Analysis of the dependence of life time indicators on the incorporation of plutonium-239 in nuclear industry workers with tumor and non-tumor causes of death. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2021;66(6): 57–62. DOI:10.12737/1024-6177-2021-66-6-57-62 (In Russian).
- Telnov VI. Reducing the duration of healthy life before the diagnosis of malignant neoplasms in employees of the Mayak Production Association with the incorporation of 239Pu. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation Safety Problems*. 2021;2: 61–69 (In Russian).
- Guskova AK, Baysogolov GD. Radiation sickness in humans. Moscow: Medicine; 1971. 382 p. (In Russian).
- Gusev G, Guskova AK, Mettler FA, et al. Medical Management of Radiation Accidents. London, New York, Washington DC: CRS Press; 2001. 640 p.
- Ilyin LA, Solov'yev VYu. Immediate medical consequences of radiation incidents on the territory of the former USSR. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2004;49(6): 37–48 (In Russian).
- McLaughlin TP, Monahan SP, Pruvost NL, Frolov VV, Ryazanov BG, Sviridov VI. A Review of Criticality Accidents. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory; 2000. P. 9–13.
- Azizova TV, Sumina MV, Semeniagina NG, Druzhinina MB, Grigoryeva ES, Stecenko LA, et al. Register of acute radiation sickness. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation Safety Problems*. 2007;3: 78–83. (In Russian).
- Azizova TV, Moseeva MB, Osovets SV, Sumina MV. Register of acute radiation sickness registered among employees of the nuclear industry enterprise “Mayak”. *Mediko-biologicheskiye i sotsial'no-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh = Medico-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations*. 2011;4: 14–19. (In Russian).
- Azizova TV, Telnov VI, Moseeva MB. Acute radiation sickness in a cohort of workers exposed to occupational exposure. XXII All-Russian Scientific and Practical Conference “Days of Science – 2022”. Dedicated to the 80th anniversary of NRNU MEPhI and the 70th anniversary of OTI NRNU MEPhI: Proceedings of the conference. Ozersk, April 20–23, 2022 Ozersk: OTI NRNU MEPhI; 2022. P. 44–48. (In Russian).
- Azizova TV, Teplyakov II, Grigorieva ES. Medical and dosimetric database “Clinic” of employees of the Mayak Production Association and their families. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2009;54(5): 26–35. (In Russian).
- Vasilenko EK, Smetanin MYu, Aleksandrova ON, et al. Verification of individual doses of external exposure of Mayak workers (methods and results). *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2001;46(6): 37–57. (In Russian).
- Greenhalch T. Fundamentals of evidence-based medicine: Per. from English. 5th ed., revised. and additional. Moscow: GEOTAR-MED; 2022. 328 p. (In Russian).
- Sachek MM, Pisarik VM, Novik II, Malahova IV. Potential years of life lost – one of the tools for assessing the loss of public health. *Voprosy organizatsii i informatizatsii zdavookhraneniya = Problems of organization and informatization of healthcare*. 2018;1(94): 44–52. (In Russian).
- Samorodskaya IV, Semenov VYu. Potential years of life lost from diseases of the circulatory system of the economically active population of the Russian Federation in 2013–2019. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(5): 82–87. DOI:10.15829/1560-4071-2021-4161. (In Russian).
- Ediev DM. Life expectancy in developed countries is higher than conventionally estimated. Implication from improved measurement of human longevity. *European Demographic Research Papers*. 2010;1: 1–35.
- Demographic Yearbook of Russia. 2019: Statistical collection. Moscow: Russtat; 2019. 252 p. (In Russian).
- Demographic Yearbook of Russia 2019. Appendix to the Demographic Yearbook of Russia 2019. Mortality by cause

of death. Available from: https://www.gks.ru/bgd/regl/B19_16/lssWWW.exe/Stg/pril6.xls [Accessed 30 January 2023].

31. Human Mortality Database. Available from: <http://www.mortality.org> [Accessed 30 January 2023].
32. Telnov V.I. Increasing life expectancy as a demographic paradigm of the socio-economic development of Russia.

Horizons of the demographic development of Russia: changing paradigms of scientific foresight: a collection of materials from the IV Ural Demographic Forum with international participation. Yekaterinburg: Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2013. P. 393–398. (In Russian).

Received: January 04, 2023

Vitaly I. Telnov – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of the Clinical Department of the Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Russia

ORCID  <https://orcid.org/0000-0003-3509-5372>

For correspondence: Tamara V. Azizova – Candidate of Medical Sciences, Principal Research Associate, Deputy Director for Science, Head of the Clinical Department of the Southern Urals Biophysics Institute (Ozyorskoe shosse, 19, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, Russia, 456783; E-mail: clinic@subi.su)

ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-6954-2674>

Maria B. Moseeva – Researcher, Clinical Department, Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Russia

ORCID  <https://orcid.org/0000-0003-3741-6600>

Maria V. Bannikova – Researcher, Clinical Department, Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Russia

ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-2755-6282>

For citation: Telnov V.I., Azizova T.V., Moseeva M.B., Bannikova M.V. Lifetime of Mayak workers after acute radiation syndrome of various severity levels. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 80-90. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-80-90