

DOI 10.12737/article\_58f0b95734e699.63790534

**В.И. Тельнов, Ф.Д. Третьяков, П.В. Окатенко****ИНКОРПОРАЦИЯ ПЛУТОНИЯ-239 И СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ У РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК» ПРИ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕОПУХОЛЕВЫХ ПРИЧИНАХ СМЕРТИ**

Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерк, Челябинская обл. E-mail: tvj@subi.su

Тельнов В.И. – к.м.н., с.н.с., зам. директора по научной работе; Третьяков Ф.Д. – к.м.н., с.н.с., зав. отделом радиационной безопасности; Окатенко П.В. – начальник группы лаборатории радиационной эпидемиологии

**Реферат**

**Цель:** Оценка влияния инкорпорации плутония-239 на продолжительность жизни у работников ПО «Маяк» на основе анализа смертности и возраста смерти при опухолевых и неопухолевых заболеваниях с учетом органов основного и неосновного депонирования радионуклида.

**Материал и методы:** В анализ включена когорта работников ПО «Маяк» 1948–1958 гг. найма с известным содержанием плутония-239 в организме численностью 3478 чел., в том числе 2414 мужчин (1739 умерших и 675 живых) и 1064 женщины (604 умерших и 460 живых). В зависимости от инкорпорации плутония-239 оценивали продолжительность жизни как интегральную характеристику повышенной и преждевременной смертности на основе анализа смертности и возраста смерти при опухолевой и неопухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования радионуклида. Статистический анализ проводили с помощью программы STATISTICA.

**Результаты:** Установлено, что с увеличением инкорпорации плутония-239 в организме умерших работников происходит сокращение продолжительности жизни в целом на 5,2 года у мужчин и на 6,6 года у женщин, а после начала работы – на 6,9 лет у мужчин и на 7,7 лет у женщин. Во всей когорте снижение продолжительности жизни было менее выраженным и составило 4,2 года у мужчин и 2,7 года – у женщин, а после начала работы – соответственно 6,2 лет и 3,0 года. Установлена связь повышения смертности от опухолевых причин у мужчин и женщин, главным образом, за счет злокачественных новообразований легких и печени, являющихся основными органами депонирования плутония-239. Впервые выявлено связанное с инкорпорацией плутония-239 снижение возраста смерти (преждевременная смертность) при опухолевой и неопухолевой патологии основных и неосновных органов депонирования как у мужчин, так и у женщин. При этом в отличие от повышенной смертности, преждевременная смертность отмечалась при всех изученных причинах смерти в виде достоверного сдвига или тенденции. Повышенная и преждевременная смертность – это два относительно разных процесса, приводящих к сокращению продолжительности жизни у профессиональных работников, подвергшихся инкорпорации плутония-239.

**Ключевые слова:** когорта работников ПО «Маяк», плутоний-239, органы основного и неосновного депонирования, опухолевые и неопухолевые причины смерти, возраст смерти, возраст найма на работу, продолжительность жизни

Поступила: 30.10.2016. Принята к публикации: 20.02.2017

**Введение**

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о неблагоприятном влиянии ионизирующего излучения на состояние здоровья облученных людей. На это указывают данные по оценке влияния радиации как на различные системы организма облученных людей, так и на развитие пострadiационных эффектов, проявляющихся на более низких уровнях биологической организации [1]. Однако для интегральной характеристики неблагоприятного влияния ионизирующего излучения на организм в целом наиболее информативным показателем, по мнению ряда исследователей, является сокращение продолжительности жизни (ПЖ) у облученных людей [2, 3]. В результате проведенных исследований было установлено достоверное влияние облучения на сокращение ПЖ у японцев, подвергшихся атомной бомбардировке [4]. Вместе с тем, данная проблема продолжает обсуждаться в отношении других категорий облученных людей, в особенности подвергшихся хроническому облучению [5]. Однако исследований такого рода в литературе явно недостаточно. Кроме того, в выполненных исследованиях вообще не изучалась роль отдельных причин смерти в сокращении ПЖ у облученных людей. В этом отношении большого внимания заслуживает когорта работников ПО «Маяк», которые подвергались преимущественно хроническому внешнему и внутреннему облучению в широком диапазоне доз. До настоящего времени исследований влияния инкорпорации плу-

тония-239 на ПЖ у людей не проводилось, тогда как результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о существенном сокращении ПЖ у млекопитающих при разных путях поступления различных соединений плутония-239 [6].

Следует отметить, что смертность работников ПО «Маяк» хорошо изучена в плане оценок канцерогенного риска [7]. Целью настоящего исследования явилась оценка влияния инкорпорации плутония-239 на ПЖ у работников ПО «Маяк» на основе анализа смертности и возраста смерти при опухолевых и неопухолевых причинах смерти с учетом органов основного и неосновного депонирования радионуклида. Данное исследование явилось логическим продолжением выполненных ранее работ [8, 9].

**Материал и методы**

Материалом для исследования явилась когорта работников 1948–1958 гг. найма (1901–1940 годов рождения) с известным содержанием плутония-239 в организме, входящая в состав Медико-дозиметрического регистра персонала ПО «Маяк» [10], и прослеженная до 2009 года. Доля умерших составила 71,2 % среди мужчин и 53,3 % среди женщин (всего – 66,2 %), что является допустимым для изучения ПЖ у данной когорты [4]. Сведения о дозах внешнего гамма-облучения были получены в отделе радиационной и общей безопасности ПО «Маяк» по данным индивидуального фотоконтроля [11]. Данные по инкорпорации плутония-239 в

организме были получены в дозиметрическом отделе ЮУрИБФ на основе дозиметрической системы «Дозы 2008», разработанной в рамках российско-американского сотрудничества [12]. Распределение накопленных доз внешнего гамма-облучения и инкорпорации плутония-239 в организме во всей когорте и в субкогортах умерших и живых работников ПО «Маяк» было представлено ранее [9].

Сведения о причинах смерти и другие характеристики умерших лиц были получены из Регистра причин смерти населения Озерска [13], а также из медицинской и архивной документации. Демографический анализ включал изучение ПЖ в выделенной когорте работников в зависимости от инкорпорации плутония-239, возраста смерти и показателя смертности, т.е. числа случаев смерти (ЧСС) на 10<sup>5</sup> человеко-лет наблюдения во всей когорте, включающей умерших и живых, по формуле:

$$\text{ЧСС на } 10^5 \text{ чел.-лет} = \text{ЧСС}/\text{ЧЧЛ} \times 100000,$$

где: ЧСС – число случаев смерти за период наблюдения от начала работы до 2009 года; ЧЧЛ – число человеко-лет наблюдения.

Анализ проводился для опухолевых (злокачественные новообразования) и неопухолевых причинах смерти (по МКБ-9) с учетом органов основного (легкие и печень за исключением скелета) и неосновного (другие органы) депонирования радионуклида. Кроме того, была проведена оценка ПЖ работников с учетом возраста найма на работу. Такой подход имеет важное значение, т.к. именно с возраста найма на работу и начинается изучение когорты работников, за пределами которой остаются демографические события предшествующего периода в исходной популяции. Так, если согласно таблицам смертности переписи населения России 1959 года ожидаемая ПЖ при рождении у мужчин и женщин составляла 62,8 и 71,1 год, то в возрасте 24 года – 44,1 и 51,7 соответственно [14]. В конечном счёте, расчетная ПЖ, как сумма 24 лет и ожидаемой

ПЖ для данного возраста составляла 68,1 и 75,7 лет соответственно, что примерно на 5 лет больше.

Статистический анализ данных проводили с помощью программы STATISTICA 10.0.

### Результаты исследования и обсуждение

Ранее было установлено, что в когорте работников ПО «Маяк» 1948–1958 гг. найма наибольшую достоверную положительную корреляционную связь возраст смерти, т.е. ПЖ, имел с возрастом найма на работу, меньшую – с инкорпорацией плутония-239 и не был связан с накопленной дозой внешнего гамма-облучения [9]. При этом содержание плутония-239 не имело существенной связи с накопленной дозой внешнего гамма-облучения.

Для дальнейшего анализа субкогорты умерших была подразделена на 5 практически одинаковых групп ( $n = 468-469$ ) в зависимости от уровня содержания плутония-239. Далее эти группы были подразделены на гендерные подгруппы. Как видно из табл. 1, с увеличением содержания плутония-239 в организме наблюдалось снижение среднего возраста смерти, т.е. сокращение ПЖ как у мужчин (максимально на 5,2 лет), так и у женщин (максимально на 6,9 лет). Учитывая существенную связь возраста найма на работу с возрастом смерти, была также определена ПЖ после начала работы (как разница между ПЖ и возрастом найма), которая снижалась с увеличением содержания плутония-239 в организме (максимально у мужчин на 6,6 лет и у женщин на 7,7 лет). Следует отметить, что согласно данным переписи населения Российской Федерации 1959 г., ожидаемая продолжительность предстоящей жизни в наблюдаемом диапазоне возраста найма на работу от 24,2 до 25,6 лет у мужчин и от 24,8 до 25,6 лет у женщин составляла от 43,9 и 42,7 лет у мужчин и от 50,9 до 50,2 лет у женщин соответственно [14]. При этом расчетная ПЖ, как сумма возраста найма и ожидаемой ПЖ для данного

Таблица 1

#### Сокращение продолжительности жизни (ПЖ) в субкогорте умерших работников с разным содержанием плутония-239 в организме

Группы по содержанию плутония-239 в организме, кБк	<i>n</i>	Год рождения	ПЖ, лет	Сокращение ПЖ, лет	Возраст найма на работу, лет	ПЖ после начала работы, лет	Сокращение ПЖ после начала работы, лет
Мужчины ( <i>n</i> = 1739)							
1-я: < 0,200	313	1925,5	69,6 ± 0,54	–	24,2 ± 0,32	45,4 ± 0,48	–
2-я: 0,200–0,525	362	1925,6	67,7 ± 0,49 <sup>b</sup>	1,9	24,4 ± 0,33	43,3 ± 0,45 <sup>b</sup>	2,1
3-я: 0,526–1,070	350	1925,5	67,2 ± 0,50 <sup>b</sup>	2,4	24,2 ± 0,29	43,0 ± 0,46 <sup>d</sup>	2,4
4-я: 1,071–2,710	354	1925,1	66,7 ± 0,52 <sup>c</sup>	2,9	24,7 ± 0,32	42,0 ± 0,50 <sup>d</sup>	3,4
5-я: > 2,710	360	1922,8 <sup>d</sup>	64,4 ± 0,58 <sup>d</sup>	5,2	25,6 ± 0,34 <sup>c</sup>	38,8 ± 0,55 <sup>d</sup>	6,6
Женщины ( <i>n</i> = 604)							
1-я: < 0,200	155	1926,4	74,6 ± 0,66	–	24,8 ± 0,44	49,8 ± 0,58	–
2-я: 0,200–0,525	107	1925,6	73,4 ± 0,86	1,2	25,4 ± 0,53	48,0 ± 0,73 <sup>a</sup>	1,8
3-я: 0,526–1,070	118	1926,4	72,9 ± 0,74	1,7	23,7 ± 0,47	49,2 ± 0,73	0,6
4-я: 1,071–2,710	115	1925,6	72,2 ± 0,82 <sup>a</sup>	2,4	25,1 ± 0,51	47,1 ± 0,77 <sup>b</sup>	2,7
5-я: > 2,710	109	1924,0 <sup>d</sup>	67,7 ± 1,19 <sup>c</sup>	6,9	25,6 ± 0,49	42,1 ± 1,16 <sup>d</sup>	7,7

Примечание: Здесь и далее отмечены достоверные различия с первой группой: <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> –  $p < 0,01$ ; <sup>c</sup> –  $p < 0,001$ ; <sup>d</sup> –  $p < 0,0001-0,00001$

Таблица 2

**Сокращение продолжительности жизни (ПЖ) во всей когорте работников (умерших и живых) с разным содержанием плутония-239 в организме**

Группы по содержанию плутония-239 в организме, кБк	n	Год рождения	ПЖ, лет	Сокращение ПЖ, лет	Возраст найма на работу, лет	ПЖ после начала работы, лет	Сокращение ПЖ после начала работы, лет
<b>Мужчины (n = 2414)</b>							
1-я: < 0,200	504	1929,8	70,8 ± 0,36	–	22,9 ± 0,23	47,9 ± 0,34	–
2-я: 0,200–0,525	520	1929,8	69,4 ± 0,38 <sup>b</sup>	1,4	23,4 ± 0,25	46,0 ± 0,37 <sup>c</sup>	1,9
3-я: 0,526–1,070	488	1929,1	68,8 ± 0,40 <sup>c</sup>	2,0	23,3 ± 0,24	45,5 ± 0,39 <sup>d</sup>	2,4
4-я: 1,071–2,710	466	1928,6	68,5 ± 0,44 <sup>c</sup>	2,3	23,8 ± 0,26	44,7 ± 0,44 <sup>d</sup>	3,2
5-я: > 2,710	436	1926,6 <sup>d</sup>	66,6 ± 0,54 <sup>d</sup>	4,2	24,9 ± 0,30	41,7 ± 0,55 <sup>d</sup>	6,2
<b>Женщины (n = 1062)</b>							
1-я: < 0,200	251	1927,9	75,6 ± 0,45	–	23,6 ± 0,32	52,0 ± 0,42	–
2-я: 0,200–0,525	195	1927,7	75,1 ± 0,54	0,5	23,7 ± 0,36	51,4 ± 0,50	0,6
3-я: 0,526–1,070	209	1927,4	75,2 ± 0,50	0,4	23,2 ± 0,31	52,2 ± 0,49	0
4-я: 1,071–2,710	201	1926,9	75,0 ± 0,55	0,6	23,9 ± 0,34	51,1 ± 0,56	0,9
5-я: > 2,710	206	1926,2 <sup>c</sup>	72,9 ± 0,75 <sup>b</sup>	2,7	23,9 ± 0,32	49,0 ± 0,80 <sup>c</sup>	3,0

Примечание: Обозначения те же, что и в табл. 1

возраста, колебалась от 68,1 до 68,3 лет у мужчин и от 75,7 до 75,8 лет у женщин, т.е. была практически одинаковой. При анализе сокращения ПЖ во всей когорте работников (умерших и живых) в зависимости от содержания плутония-239 было установлено снижение ПЖ (максимально на 4,2 года у мужчин и на 2,7 года у женщин). Такое сокращение ПЖ после начала работы во всей когорте работников составило 6,2 лет у мужчин и 3,0 года – у женщин (табл. 2). Следует отметить, что эффект сокращения ПЖ в группах мужчин и женщин с наибольшей инкорпорацией плутония-239 на самом деле является более выраженным, т.к. представители этих групп относительно 1-й группы родились раньше на 2,7 и 2,4 года (умершие) и на 3,2 и 1,7 года (вся когорта) соответственно (табл. 1 и 2).

При сравнении смертности в 4-й и 5-й группах мужчин с более высоким содержанием плутония-239 в организме (более 1,069 кБк) относительно 1-й группы выявлено достоверное повышение данного показателя при всех опухолевых причинах смерти, которое было обусловлено, как видно из табл. 3, исключительно повышением смертности от опухолевой патологии органов основного депонирования радионуклида. Смертность при всех неопухолевых причинах у мужчин 3-й и 4-й групп были достоверно повышены, а в 5-й группе не имели существенных отличий. При этом, как видно из табл. 3, повышение смертности в 3-й группе было обусловлено неопухолевой патологией органов основного и неосновного депонирования, в 4-й группе – неопухолевой патологией органов неосновного депониро-

Таблица 3

**Смертность (на 10<sup>5</sup> чел.-лет) и возраст смерти (ВС, лет) при опухолевой и неопухолевой патологии в группах работников с разным содержанием плутония-239 в организме с учетом органов основного и неосновного депонирования радионуклида**

Причины смерти	Группы по содержанию плутония-239 в организме, кБк									
	1-я: < 0,200		2-я: 0,200–0,525		3-я: 0,526–1,069		4-я: 1,070–2,708		5-я: > 2,708	
	на 10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет	на 10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет	на 10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет	на 10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет	на 10 <sup>5</sup> чел.-лет	ВС, лет
<b>Мужчины</b>										
Опухолевые	376,9	68,2	455,7	66,3	454,9	65,8	542,5 <sup>b</sup>	66,2	880,0 <sup>d</sup>	62,7 <sup>c</sup>
Легких и печени	107,7	64,7	138,0	65,3	139,6	66,5	216,0 <sup>b</sup>	65,5	511,5 <sup>d</sup>	62,8
Других органов	269,2	69,6	317,7	66,7	315,3	65,5	326,5	66,7	368,5	62,7
Неопухолевые	919,6	70,2	1057,7	68,2 <sup>a</sup>	1121,4 <sup>a</sup>	67,7 <sup>b</sup>	1157,0 <sup>a</sup>	67,0 <sup>b</sup>	1100,0	65,1 <sup>c</sup>
Легких и печени	33,1	70,1	46,0	72,8	72,1	66,8	57,6	71,0	99,0 <sup>a</sup>	64,4
Других органов	886,4	70,2	1011,7	67,8	1049,4	67,8	1099,4 <sup>a</sup>	66,8	1001,0	65,1
Все причины	1296,5	69,6	1513,4 <sup>a</sup>	67,7 <sup>b</sup>	1576,3 <sup>a</sup>	67,2 <sup>c</sup>	1699,5 <sup>c</sup>	66,7 <sup>c</sup>	1980,1 <sup>d</sup>	64,4 <sup>d</sup>
Человеко-лет наблюдения	24142		23920		22204		20830		18181	
<b>Женщины</b>										
Опухолевые	298,8	71,5	279,4	70,0	284,1	70,5	272,6	64,6 <sup>b</sup>	475,5 <sup>a</sup>	62,3 <sup>c</sup>
Легких и печени	23,0	72,3	20,0	82,5	0	–	87,6 <sup>a</sup>	65,4	336,8 <sup>d</sup>	61,6
Других органов	275,8	71,4	259,4	69,0	284,1	70,5	185,0	64,2	138,7 <sup>a</sup>	65,0
Неопухолевые	888,8	75,6	788,2	74,6	797,4	73,7	847,0	74,6	604,3 <sup>a</sup>	72,0 <sup>a</sup>
Легких и печени	23,0	73,3	49,9	68,8	27,5	69,3	29,2	72,3	79,3 <sup>a</sup>	62,3
Других органов	865,8	75,7	738,3	74,5	769,9	73,9	817,8	74,5	525,1 <sup>c</sup>	72,0
Все причины	1187,6	74,6	1067,5	73,4	1081,6	72,9	1119,7	72,2 <sup>a</sup>	1079,8	67,7 <sup>c</sup>
Человеко-лет наблюдения	13052		10023		10910		10271		10094	

Примечание: Обозначения те же, что и в табл. 1

вания. В целом смертность при всех причинах достоверно повышалась во 2–5-й группах по нарастающей с увеличением инкорпорации плутония-239.

У женщин по сравнению с мужчинами имелись некоторые особенности, в частности достоверное повышение смертности при опухолевой патологии наблюдалось только в 5-й группе. Основной вклад в это повышение вносила опухолевая патология органов основного депонирования плутония, а вклад опухолевой патологии органов неосновного депонирования при этом достоверно снижался (табл. 3). Повышение смертности при опухолевой патологии органов основного депонирования у женщин 4-й группы не приводило к увеличению смертности при всех опухолевых причинах вследствие относительно меньшего вклада опухолевой патологии других органов. Достоверное снижение смертности при неопухолевой патологии в 5-й группе женщин, несмотря на ее достоверное повышение в органах основного депонирования, было обусловлено ее значимым снижением в органах неосновного депонирования. Вследствие этого, так же как и при опухолевых причинах, смертность при всех причинах смерти в данной группе не имела отчетливых различий от остальных групп. По-видимому, такую ситуацию можно объяснить тем, что в 5-й группе значительно бóльшая доля женщин умерла в более раннем возрасте от злокачественных новообразований органов основного депонирования, не доживая, таким образом, до патологии органов неосновного депонирования, реализующейся, как видно из табл. 3, в более позднем возрасте. Также следует отметить, что возраст смерти при опухолевой патологии у мужчин и женщин был близким в отличие от неопухолевой патологии.

В отличие от смертности, у работников была отмечена однотипная динамика для среднего возраста

смерти, который снижался с увеличением инкорпорации плутония-239 при всех анализируемых причинах смерти. Это снижение отмечалось уже при содержании радионуклида в организме более 0,200 кБк при неопухолевых и всех причинах у мужчин (2-я группа) и более 0,525 кБк при всех причинах у женщин (3-я группа). Важно отметить, что в отличие от смертности, которая не повышалась при опухолевой патологии органов неосновного депонирования плутония и в меньшей степени повышалась при неопухолевых причинах смерти, средний возраст смерти, как при всех опухолевых, так и при всех неопухолевых причинах смерти, снижался (табл. 3).

Результаты оценки абсолютного сокращения ПЖ при всех причинах смерти во 2–5-й группах работников относительно 1-й группы, принятой в данном случае за некий стандарт, свидетельствуют о довольно монотонном снижении ПЖ во 2–4-й группах и более резком снижении в 5-й группе, как у мужчин, так и у женщин (табл. 4). При этом максимальное снижение ПЖ, имеющее выраженные гендерные особенности, наблюдалось при опухолевых причинах смерти (5,5 лет у мужчин и 9,2 лет у женщин) по сравнению с неопухолевыми причинами (5,1 лет у мужчин и 3,6 лет у женщин). Ведущей компонентой снижения ПЖ у мужчин была опухолевая патология органов неосновного депонирования, а у женщин, напротив, – патология органов основного депонирования. Что касается неопухолевого снижения ПЖ, то как у мужчин, так и у женщин ведущей компонентой была патология органов основного депонирования. В заключение следует особо отметить тот факт, что сокращение ПЖ, связанное с инкорпорацией плутония-239, наблюдалось при всех анализируемых причинах смерти.

Таблица 4

**Сокращение продолжительности жизни (лет) при опухолевой и неопухолевой патологии в группах умерших работников с разным содержанием плутония-239 в организме с учетом органов основного и неосновного депонирования радионуклида**

Причины смерти	Группы по содержанию плутония-239 в организме, кБк				
	1-я: < 0,200	2-я: 0,200–0,525	3-я: 0,526–1,069	4-я: 1,070–2,708	5-я: >2,708
<b>Мужчины</b>					
Опухолевые:	68,2 лет	-1,9	-2,4	-2	-5,5
Легких и печени	64,7 лет	+0,6	+1,8	+0,8	-1,9
Других органов	69,6 лет	-2,9	-4,1	-2,9	-6,9
Неопухолевые:	70,2 лет	-2,0	-2,5	-3,2	-5,1
Легких и печени	70,1 лет	2,7	-3,3	-0,9	-5,7
Других органов	70,2 лет	-2,4	-2,4	-3,4	-5,1
Все причины	69,6 лет	-1,9	-2,4	-2,9	-5,2
<b>Женщины</b>					
Опухолевые:	71,5 лет	-1,5	-1,0	-6,9	-9,2
Легких и печени	72,3 лет	+10,2	0	-6,9	-10,7
Других органов	71,4 лет	-2,4	-0,9	-7,2	-6,4
Неопухолевые:	75,6 лет	-1,0	-1,9	-1,0	-3,6
Легких и печени	73,3 лет	-4,5	-4,0	-1,0	-11,0
Других органов	75,7 лет	-1,2	-1,8	-1,2	-3,7
Все причины	74,6 лет	-1,2	-1,7	-2,4	-6,9

**Примечание:** Представлены абсолютные отличия в продолжительности жизни работников 2–5-й групп относительно продолжительности жизни в 1-й группе

Таблица 5

**Соотношение динамики смертности и возраста смерти при опухолевой и неопухолевой патологии в 5-й группе работников с разным содержанием плутония-239 в организме с учетом органов основного и неосновного депонирования радионуклида**

Причины смерти	Мужчины		Женщины	
	Смертность	Возраст смерти	Смертность	Возраст смерти
Опухолевые:	Повышена	Снижен	Повышена	Снижен
Легких и печени	Повышена	Снижен	Повышена	Снижен
Других органов	Не повышена	Снижен	Не повышена	Снижен
Неопухолевые:	Не повышена	Снижен	Снижена	Снижен
Легких и печени	Повышена	Снижен	Повышена	Снижен
Других органов	Не повышена	Снижен	Снижена	Не снижен
Все причины	Повышена	Снижен	Не повышена	Снижен

Примечание: представлены отличия 5-й группы относительно 1-й группы

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о сокращении ПЖ у работников ПО «Маяк», подвергшихся инкорпорации плутония-239. С демографической точки зрения в основе сокращения ПЖ лежат два процесса: повышенная смертность и снижение возраста смерти, т.е. преждевременная смертность. Эти два процесса, как видно из табл. 5, не взаимосвязаны. На различия в динамике двух процессов при новообразованиях указывают данные Росстата, согласно которым с 2005 по 2013 гг. коэффициенты смертности у населения России практически не менялись (232,6–237,7 у мужчин и 171,5–178,0 у женщин на 100 тыс.), а возраст смерти повысился на 3,2 и 2,8 лет соответственно [15, 16]. Такая ситуация явилась основанием для разработки методического подхода к оценке вклада смертности и возраста смерти в динамику потерянных лет потенциальной жизни у населения [17]. Полученные данные позволяют высказать предположение о том, что преждевременная смертность при инкорпорации плутония-239 является не менее значимым фактором снижения ПЖ у работников ПО «Маяк», чем повышенная смертность. Разумеется, что у отдельного индивида ПЖ соответствует его возрасту смерти, однако, на групповом или популяционном уровнях ПЖ является итоговым результатом смертности и возраста смерти.

Следует отметить, что наблюдаемое у мужчин менее выраженное снижение возраста смерти при опухолевой патологии органов основного депонирования, и прежде всего легких, может быть связано с высокой распространенностью курения (от 76 до 83 %) в выделенных группах по плутонию, которое, как известно, является ведущим фактором риска рака легкого в данной гендерной группе населения [18].

Менее выраженное снижение ПЖ во всей когорте работников (см. табл. 2) можно в известной мере рассматривать как результат относительно большей радиорезистентности и, следовательно, выживаемости оставшихся в живых работников. Так, средний возраст в этой субкогорте на момент наблюдения составил  $73,6 \pm 0,19$  лет у мужчин и  $78,0 \pm 0,18$  лет – у женщин, т.е. был существенно выше ( $p < 0,001$ ), чем у умерших

( $67,1 \pm 0,24$  и  $72,5 \pm 0,39$  лет соответственно). При этом возраст найма на работу у живых оказался достоверно ниже ( $21,0 \pm 0,12$  и  $21,9 \pm 0,15$  лет соответственно;  $p < 0,001$ ), чем у умерших ( $24,6 \pm 0,14$  и  $24,9 \pm 0,22$  лет соответственно). Расчетная ПЖ с учетом возраста найма на работу у умерших работников составляла 69,2 лет у мужчин и 75,6 лет у женщин, тогда как у живых была несколько ниже (67,8 и 75,4 лет соответственно), что хорошо совпадает с демографическими представлениями о том, что лица, дожившие до более старшего возраста, должны иметь в целом большую ПЖ.

Большой интерес вызывают причины снижения ПЖ у работников ПО «Маяк». Если повышение смертности при опухолевой патологии органов основного депонирования плутония можно объяснить его мутагенным и эпигенетическим канцерогенным действием [19, 20], то снижение возраста смерти при опухолевой патологии органов неосновного депонирования и при неопухолевой патологии вообще, по-видимому, связано с радиотоксическим действием плутония на многие органы и системы организма, которое в значительной степени реализуется в более старшем возрасте, т.е. в процессе старения [6, 7, 21].

В настоящем исследовании осуществлялся статичный подход, при котором проводилась непосредственная оценка ПЖ, фиксирующая число прожитых лет. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности продолжения исследования на основе потенциального подхода – оценки потерянных годов потенциальной жизни (ПГПЖ) – potential years of life lost (PYLL), т.е. числа лет, не дожитых до нормативного возрастного предела, называемого жизненным потенциалом, и динамики числа не доживших до определенного возраста [20]. В последние годы потенциальные показатели ПЖ все шире и шире применяются в медицине труда [23, 24].

### Выводы

1. С увеличением инкорпорации плутония-239 в организме умерших работников ПО «Маяк» происходит сокращение продолжительности жизни в целом на 5,2 года у мужчин и на 6,6 года у женщин, а после

начала работы – на 6,9 лет у мужчин и на 7,7 лет у женщин. Во всей когорте (живые и умершие) снижение продолжительности жизни было менее выраженным и составило 4,2 года у мужчин и 2,7 года у женщин, а после начала работы – соответственно 6,2 лет и 3,0 года.

2. Сокращение продолжительности жизни при инкорпорации плутония-239 в когорте работников ПО «Маяк» определяется не только повышением смертности при опухолевой патологии органов основного депонирования радионуклида, но и снижением возраста смерти при опухолевой патологии органов основного и неосновного депонирования радионуклида и неопухолевой патологии в целом.

3. Показатель сокращения продолжительности жизни является более информативным по сравнению с традиционными показателями риска, т.к. интегрально отражает не только повышенный риск смертности, но и снижение возраста смерти, т.е. преждевременную смертность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Публикация 103 МКРЗ: пер. с англ. Под общей ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана». 2009. 344 с.
2. Cameron J.R. Longevity is the most appropriate measure of health effects of radiation // *Radiology*. 2003. Vol. 229. № 1. P. 14–15.
3. Morfeld P. Years of life lost due to exposure: causal concepts and empirical shortcomings // *Epidemiol. Perspect. Innovat.* 2004. Vol. 1. № 4. P. 1–19.
4. Cologne J.B., Preston D.L. Longevity of atomic-bomb survivors // *Lancet*. 2000. Vol. 356. July 22. P. 303–311.
5. Kendall G.M., Muirhead C.R. Moderate dose rate ionizing radiation increases longevity? // *Brit. J. Radiol.* 2005. Vol. 78. № 930. P. 573–574.
6. Буддаков Л.А., Любчанский Э.Р., Москалев Ю.И., Нифатов А.П. Проблемы токсикологии плутония. – М.: Атомиздат. 1969. 368 с.
7. Плутоний. Радиационная безопасность. Под ред. Л.А. Ильина. – М.: Изд. АТ. 2005. 416 с.
8. Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окатенко П.В. Потерянные годы потенциальной жизни в когорте работников ПО «Маяк» 1948–1958 годов найма // *Вопр. радиац. безопасности*. 2014. № 3. С. 46–60.
9. Тельнов В.И. Плутоний и сокращение продолжительности жизни у профессиональных работников // *Гигиена и санитария*. 2015. Т. 94. № 3. С. 56–60.
10. Кошурникова Н.А., Шильникова Н.С., Окатенко П.В. и соавт. Характеристика когорты рабочих атомного предприятия ПО «Маяк» // *Мед. радиол. и радиац. безопасность*. 1998. Т. 43. № 6. С. 43–57.
11. Василенко Е.К., Миллер С., Якоб П. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты // *Вопр. радиац. безопасности*. 2000. № 2. С. 52–58.
12. Khokhryakov V.V., Khokhryakov V.F., Suslova K.G. et al. Mayak Worker Dosimetry System 2008 (MWDS-2008): Assessment of internal dose from measurement results of plutonium activity in urine // *Health Physics*. 2013. Vol. 104. № 4. P. 366–378.
13. Третьяков Ф.Д., Кошурникова Н.А., Креслов В.В. и соавт. Основные показатели смертности населения г. Озерска за 50 лет // *Вопр. радиац. безопасности*. 2002. № 1. С. 28–45.
14. Таблицы смертности населения России [www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus\\_ltmnu.php](http://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus_ltmnu.php) (22.09.2016).
15. Демографический ежегодник России, 2006: Стат. сб. – М.: Росстат. 2006. 561 с.
16. Демографический ежегодник России, 2014: Стат. сб. – М.: Росстат. 2014 [http://www.gks.ru/bgd/regl/B14\\_16/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B14_16/Main.htm) (30.09.2016).
17. Тельнов В.И., Тихонова М.А. Вклад смертности и возраста смерти в динамику потерянных лет потенциальной жизни у населения Уральского федерального округа и Российской Федерации // Институты развития демографической системы общества: сборник материалов V Уральского демографического форума с международным участием. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН. 2014. С. 159–163.
18. Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окатенко П.В. Синергизм инкорпорации плутония и табакокурения в сокращении продолжительности жизни при раке легких у работников атомной промышленности // *Методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования химического загрязнения окружающей среды и его влияния на здоровье населения. Мат-лы пленума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды*. Москва. 2015. С. 424–427.
19. Zöllner S., Sokolnikov M.E., Eidemüller M. Beyond Two-Stage Models for Lung Carcinogenesis in the Mayak Workers: Implications for Plutonium Risk // *PLoS One*. 2015. Vol. 10. № 5. P. e0126238.
20. Тельнов В.И., Белински С.А., Русинова Г.Г. и соавт. Молекулярные маркеры рака легкого у работников атомной промышленности // *Вопр. радиац. безопасности*. 2002. № 4. С. 36–41.
21. Токарская З.Б., Тельнов В.И. Биохимические исследования при оценке состояния здоровья работников ПО «Маяк» в клинике Южно-Уральского института биофизики // *Вопр. радиац. безопасности*. 2003. Спец. выпуск. С. 53–63.
22. Практическая демография. Под ред. Л.Л. Рыбаковского. – М.: ЦСП. 2005. 280 с.
23. Яковлева Т. П. Оценка влияния условий труда на предстоящую продолжительность жизни работников // *Ученые записки Росс. гос. социал. ун-та*. 2009. № 5. С. 15–20.
24. Diandini R., Takahashi K., Park E.K. et al. Potential years of life lost caused by asbestos-related diseases in the world // *Amer. J. Ind. Med.* 2013. Vol. 56. № 9. P. 993–1000

DOI 10.12737/article\_58f0b95734e699.63790534

## Pu-239 Incorporation and Lifetime Reduction in Mayak PA Workers with Tumor and Non-Tumor Related Death

**V.I. Tel'nov, F.D. Tretyakov, P.V. Okatenko**

FSUE Southern Urals Biophysics Institute of FMBA of Russia. Ozyorsk, Chelyabinsk region. E-mail: tvi@subi.su

V.I. Telnov – PhD in Medicine, Senior Researcher, Deputy Director on Scientific Work; F.D. Tretyakov – PhD in Medicine, Senior Researcher, Head of Department of Radiation Safety; P.V. Okatenko – Head of the Laboratory of Radiation Epidemiology Unit

### Abstract

**Purpose:** Assessment of the impact of Pu-239 incorporation on Mayak workers lifetime based on the analysis of mortality and age in death at tumor and non-tumor diseases taking into consideration the main and secondary radionuclide deposition organs.

**Material and methods:** The cohort of Mayak workers hired from 1948 to 1958 with known Pu-239 body burden was included into the analysis. The cohort comprised 3478 individuals including 2414 men (1739 deceased and 675 alive) and 1064 women (604 deceased and 460 alive). Depending on Pu-239 incorporation the lifetime as integral characteristic of the increased and premature mortality was assessed based on the analysis of the mortality and age of death in tumor and non-tumor pathology of the main and secondary deposition organs. Statistical analysis was performed using STATISTICA software.

**Results:** It was found that with the increase of Pu-239 incorporation in the organism of the deceased workers a decrease of lifetime occurred by 5.2 years in men and by 6.6 years in women, and after starting work – by 6.9 years in men and by 7.7 years in women. In the whole cohort the decrease of lifetime was less expressed – by 4.2 years in men and by 2.7 years in women, and after starting work – by 6.2 and by 3.0 years correspondingly. We found the increase of levels of mortality from tumors in males, mainly from malignant neoplasms of the lung and liver, which are organs of Pu-239 main deposition. For the first time the associated with Pu-239 incorporation decrease of age at death (premature mortality) was found in case of tumor and non-tumor pathology of main and secondary deposition organs both for males and females. At that, unlike increased mortality, premature mortality was registered at all studied causes of death as a significant shift or tendency.

**Conclusion:** The conclusion was made that increased and premature mortality are two relatively different processes leading to the reduction of lifetime of professional workers exposed to the incorporation of Pu-239.

**Key words:** cohort of Mayak PA workers, Pu-239, organs of main and non-main deposition, tumor and non-tumor causes of death, age at death, employment age, lifetime

### REFERENCES

1. Publikatsiya 103 MKRZ: per. s angl. Pod obshchey red. M.F. Kiseleva i N.K. Shandaly. – M.: Izd. OOO PKF «Alana». 2009. 344 s.
2. Cameron J.R. Longevity is the most appropriate measure of health effects of radiation // Radiology. 2003. Vol. 229. № 1. P. 14–15.
3. Morfeld P. Years of life due exposure: causal concepts and empirical shortcomings // Epidemiol. Perspect. Innovat. 2004. Vol. 1. № 4. P. 1–19.
4. Cologne J.B., Preston D.L. Longevity of atomic-bomb survivors // Lancet. 2000. Vol. 356. July 22. P. 303–311.
5. Kendall G.M., Muirhead C.R. Moderate dose rate ionizing radiation increases longevity? // Brit. J. Radiol. 2005. Vol. 78. № 930. P. 573–574.
6. Buldakov L.A., Lyubchanskij E.R., Moskalev Yu.I., Nifatov A.P. Problemy toksikologii plutoniya. – M.: Atomizdat. 1969. 368 s.
7. Plutonij. Radiatsionnaya bezopasnost'. Pod red. L.A. Il'ina. – M.: Izd. AT. 2005. 416 s.
8. Tel'nov V.I., Tretyakov F.D., Okatenko P.V. Poteryannye gody potencial'noj zhizni v kogorte rabotnikov PO «Mayak» 1948–1958 godov najma // Vopr. radiac. bezopasnosti. 2014. № 3. S. 46–60.
9. Tel'nov V.I. Plutonij i sokrashchenie prodolzhitel'nosti zhizni u professional'nyh rabotnikov // Gigiena i sanitariya. 2015. T. 94. № 3. P. 56–60.
10. Koshurnikova N.A., SHil'nikova N.S., Okatenko P.V. i soavt. Harakteristika kogorty rabochih atomnogo predpriyatiya PO «Mayak» // Med. radiol. i radiac. bezopasnost'. 1998. T. 43. № 6. P. 43–57.
11. Vasilenko E.K., Miller S., Yakob P. Dozimetriya vneshnego oblucheniya rabotnikov PO «Mayak»: pribory, metody, rezul'taty // Vopr. radiac. bezopasnosti. 2000. № 2. P. 52–58.
12. Khokhryakov V.V., Khokhryakov V.F., Suslova K.G. et al. Mayak Worker Dosimetry System 2008 (MWDS-2008): Assessment of internal dose from measurement results of plutonium activity in urine // Health Physics. 2013. Vol. 104. № 4. P. 366–378.
13. Tretyakov F.D., Koshurnikova N.A., Kreslov V.V. i soavt. Osnovnye pokazateli smertnosti naseleniya g. Ozerska za 50 let // Vopr. radiac. bezopasnosti. 2002. № 1. P. 28–45.
14. Tablicy smertnosti naseleniya Rossii www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus\_ltmnu.php (22.09.2016).
15. Demograficheskij ezhegodnik Rossii, 2006: Stat. sb. – M.: Rosstat. 2006. 561 s.
16. Demograficheskij ezhegodnik Rossii, 2014: Stat. sb. – M.: Rosstat. 2014 [http://www.gks.ru/bgd/regl/B14\\_16/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B14_16/Main.htm) (30.09.2016).
17. Tel'nov V.I., Tihonova M.A. Vklad smertnosti i vozrasta smerti v dinamiku poteryannyh let potencial'noj zhizni u naseleniya Ural'skogo federal'nogo okruga i Rossijskoj Federacii // Instituty razvitiya demograficheskoy sistemy obshchestva: sbornik materialov V Ural'skogo demograficheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. – Ekaterinburg: Institut ehkonomiki UrO RAN. 2014. P. 159–163.
18. Tel'nov V.I., Tretyakov F.D., Okatenko P.V. Sinergizm inkorporacii plutoniya i tabakokurenija v sokrashchenii prodolzhitel'nosti zhizni pri rake legkih u rabotnikov atomnoj promyshlennosti // Metodologicheskie problemy izucheniya, ocenki i reglamentirovaniya himicheskogo zagryazneniya okruzhayushchej sredy i ego vliyaniya na zdorov'e naseleniya. Mat-ly plenuma Nauchnogo soveta Rossijskoj Federacii po ehkologii cheloveka i gigiene okruzhayushchej sredy. Moskva. 2015. P. 424–427.
19. Zöllner S., Sokolnikov M.E., Eidemüller M. Beyond Two-Stage Models for Lung Carcinogenesis in the Mayak Workers: Implications for Plutonium Risk // PLoS One. 2015. Vol. 10. № 5. P. e0126238.
20. Tel'nov V.I., Belinski S.A., Rusinova G.G. i soavt. Molekulyarnye markery raka legkogo u rabotnikov atomnoj promyshlennosti // Vopr. radiac. bezopasnosti. 2002. № 4. S. 36–41.
21. Tokarskaya Z.B., Tel'nov V.I. Biohimicheskie issledovaniya pri ocenke sostoyaniya zdorov'ya rabotnikov PO «Mayak» v klinike Yuzhno-Ural'skogo instituta biofiziki // Vopr. radiac. bezopasnosti. 2003. Spec. vypusk. P. 53–63.
22. Prakticheskaya demografiya. Pod red. L.L. Rybakovskogo. – M.: CSP. 2005. 280 s.
23. Yakovleva T.P. Ocenka vliyaniya uslovij truda na predstavshchuyu prodolzhitel'nost' zhizni rabotnikov // Uchenye zapiski Ross. gos. social. un-ta. 2009. № 5. P. 15–20.
24. Diandini R., Takahashi K., Park E.K. et al. Potential years of life lost caused by asbestos-related diseases in the world // Amer. J. Ind. Med. 2013. Vol. 56. № 9. P. 993–1000.