

## Влияние демографических особенностей популяции на оценки коэффициентов радиогенного риска на примере российского населения

А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены,  
Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

*Цель работы состояла в выяснении правомерности прямого переноса рекомендаций МКРЗ по коэффициентам номинального риска и тканевых весовых множителей в будующие редакции отечественных НРБ. Сравнены фоновые возрастно-половые распределения и показатели заболеваемости и смертности композитного населения, использованного МКРЗ для разработки последних основополагающих рекомендаций, с соответствующими показателями для населений России и Японии как основного источника данных для оценок радиогенного риска, во второй половине прошлого десятилетия. Выявлено, что по виду функций дожития и возрастным показателям заболеваемости и смертности российское население, в особенности мужская его часть, значительно отличается от композитного, в то время как для японского населения различия сравнительно невелики. Получены оценки коэффициентов радиогенного риска для раков различной локализации с применением схемы расчётов и моделей риска из Публикации 103 МКРЗ, но на основе фоновых данных о заболеваемости и смертности российского населения. Из-за худших по сравнению с композитным населением показателей спонтанной заболеваемости и смертности российского населения коэффициенты рисков для него могут быть приняты меньше рекомендованных МКРЗ примерно на 20% для всего населения и на 30% для лиц рабочих возрастов. Результаты работы наглядно демонстрируют противоречивость современного критерия радиационной безопасности, основанного практически только на учёте канцерогенных эффектов ионизирующего излучения, поскольку из него следует, что чем здоровее население, тем вреднее для него радиация. Они показывают также, что актуален вопрос о выборе календарного периода, для которого принимаются в расчёт возрастные зависимости интенсивности заболеваемости раком и смертности по всем причинам. Оправдано продолжение обсуждения поставленных вопросов, как и вопросов совершенствования математических моделей, используемых при расчётах радиогенных рисков.*

**Ключевые слова:** нормы радиационной безопасности, критерии радиационной безопасности, радиогенный риск, коэффициенты номинального риска, коэффициенты радиогенного риска, солидные раки, население, работники.

### Введение

Коэффициенты номинального риска и тканевые весовые множители в контексте радиационной защиты и радиационной безопасности играют основополагающую роль. Первые используются при обосновании различных дозовых ограничений в терминах эффективной дозы, а вторые – при определении величины эффективной дозы. Алгоритм определения значений этих коэффициентов, словесно описанный в Публикации 103 МКРЗ (далее – Публикация) [1] и формализованный в работе [2], содержит произведение функции дожития и приращения интенсивности заболеваемости (ранее смертности) раком из-за облучения. Эти два сомножителя различаются у разных населений.

Алгоритм межпопуляционного переноса, использованный МКРЗ для переноса рисков, рассчитанных по

данным для когорты LSS, на другие населения содержит отношение фоновой интенсивности заболеваемости для интересующего населения к фоновой интенсивности заболеваемости для японского населения. МКРЗ обосновала значения названных выше коэффициентов, осуществив перенос к некоторому условному «композитному населению», которое включает себя евро-американскую и азиатскую субпопуляции.

Российское население, в отличие от «композитного», характеризуется более высокими значениями интенсивности заболеваемости и смертности. Соответственно, оно характеризуется меньшими значениями функции дожития, что проявляется в меньшей продолжительности жизни. Таким образом, если по тому же алгоритму рассчитывать названные выше коэффициенты для российского населения, то различие сомножителей

**Губин Анатолий Тимофеевич**

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены, Федеральное медико-биологическое агентство России.

**Адрес для переписки:** 123103, Россия, Москва, ул. Щукинская, д. 40. E-mail: atgubin@rambler.ru

в упомянутом ранее произведении будет приводить к разным результатам. Приближённая оценка величины возможной разницы с применением российских данных о смертности была выполнена нами в работе [3]. В результате усреднённый по возрастам коэффициент радиогенного риска для российских мужчин оказался в 1,5 раза больше, чем для мужчин «композитной» популяции. Закономерно был сделан вывод, что поставленный вопрос актуален и подобный анализ следует выполнить более тщательно и с применением данных о заболеваемости.

**Цель исследования** – выявление демографических особенностей российского населения и определение их влияния на оценки популяционных радиогенных рисков по интенсивности заболеваемости раком с использованием методов расчёта, максимально приближенных к методам Публикации.

В первом разделе подробно изложены подход к анализу и описанию демографических показателей сравниваемых населений и метод расчета коэффициентов риска, максимально приближенный к алгоритму, применённому МКРЗ [1]. Во втором разделе выполнен сравнительный анализ фоновых показателей смертности и продолжительности жизни композитного населения и населения России и Японии. В третьем разделе представлены результаты оценок коэффициентов риска и относительных вкладов в суммарный радиационный вред от различных раков для всего российского населения и для работников. В последнем разделе приводится краткое обсуждение результатов с рекомендациями.

### Материалы и методы

Расчёты коэффициентов риска для раков различной локализации выполняли в соответствии с алгоритмом, словесное описание которого приведено в Публикации. Основная его часть, формализованная в работе [2], после включения в рассмотрение латентного периода  $\Delta t_0$  сводится к следующему общему выражению для числа случаев дополнительных заболеваний раком  $l$ -й локализации на 1 Зв на 10 000 лиц в возрастной группе от  $t_1$  до  $t_2$ :

$$K_{r,l}(t_1, t_2) = \frac{10^4}{DDREF} \int_{t_1}^{t_2} \int_{t_0+\Delta t_0}^{t_{\max}} Q(t_0, t) \Delta v_{r,l}(t_0, t) dt \int_{t_1}^{t_2} Q(t_0, t) dt_0, \quad (1)$$

где  $DDREF$  – коэффициент эффективности дозы и мощности дозы;  $Q(t_0, t)$  – фоновая функция дожития, нормированная на единицу в возрасте  $t_0$  ( $Q(t_0, t_0) = 1$ );  $t_{\max}$  – максимальная продолжительность жизни, принимаемая в расчётах пожизненного риска;  $\Delta v_{r,l}(t_0, t)$  – радиогенная заболеваемость раком  $l$ -й локализации в возрасте  $t$ , обусловленная единичной дозой в возрасте  $t_0$ . Эта формула применима и для расчёта  $K_r$  по смертности после замены в ней  $\Delta v_{r,l}(t_0, t)$  на радиогенную интенсивность смертности –  $\Delta \mu_{r,l}(t_0, t)$ <sup>1</sup>.

Для мужчин и женщин композитного населения функции дожития (ФД), интенсивности заболеваемости (ИЗ) и интенсивности смертности (ИС) в зависимости от возраста определяли по данным таблиц А.4.10-А.4.17

Публикации. ИЗ и ИС для каждого пола рассчитывали путём усреднения с равными весами данных для евро-американского и азиатского регионов из указанных таблиц.

Для российского и японского населений использовали ИС, рассчитанные по данным о числе умерших от интересующих причин и численностям возрастных групп из базы данных ВОЗ [4] в период 2006–2010 гг. ИЗ для российского населения были взяты из докладов о злокачественных новообразованиях в России за 2007–2010 гг. [5–8]. Применяли ИС и ИЗ усреднённые по указанным календарным периодам.

Расчёты для каждого пола выполняли двумя способами: по формуле (1) с применением указанной ниже аппроксимирующей формулы для функции дожития и непосредственно по табличным данным для 5-летних возрастных интервалов по следующему её аналогу:

$$K_{r,l}(t_1, t_2) = \frac{5 \cdot 10^4}{DDREF} \sum_{j=4/5}^{t_2/5} \sum_{i=j}^{t_1/5} \theta(t_i - 5j + 7,5 - \Delta t) \frac{Q_i + Q_{i+1}}{Q_j} v_{r,l}(t_j, t_i) \left/ \sum_{j=4/5}^{t_2/5} \frac{Q_j + Q_{j+1}}{Q_{i/5}} \right. \quad (2)$$

где  $\theta(x)$  – функция Хэвисайда.

При расчётах первым способом для аппроксимации табличных данных об ИС от всех причин применяли формулу закона Гомперца – Мейкема [9]

$$\mu(t) = \omega_0 + \mu_0 \exp(\gamma_0 t), \quad (3)$$

из которой вытекает следующая аппроксимация для ФД:

$$Q(t_0, t) = \exp \left\{ -\omega_0(t - t_0) - \frac{\mu(t_0)}{\gamma_0} [\exp(\gamma_0(t - t_0)) - 1] \right\} \quad (4)$$

Значения параметров  $\mu_0$  и  $\gamma_0$  определяли путём линейной подгонки зависимости логарифмов табличных значений ИС от возраста в диапазонах возрастов от 35 – 50 лет до 65–85 лет, а значения  $\omega_0$  – как среднее значение ИС в диапазоне возрастов от 5 до 15–20 лет с небольшой последующей коррекцией до достижения близкого соответствия значений ожидаемой продолжительности жизни, рассчитанных непосредственно по табличным данным и по формуле (4).

Процентные доли смертей от раков ( $\delta_l$ ) в общей смертности лиц в возрастах свыше граничного ( $t_0$ ) вычисляли по формуле:

$$\delta_l(t_0) = 100 \cdot \int_{t_0}^{t_{\max}} Q(t_0, t) \cdot \mu_l(t) dt \quad (5)$$

где  $\mu_l(t)$  – фоновая ИС от  $l$ -го рака, либо по её эквиваленту при расчётах непосредственно по табличным данным. Для вычисления процентной доли заболеваний раком в общей фоновой заболеваемости заменяли  $\mu_l(t)$  на фоновую ИЗ  $v_l(t)$ .

Во всех расчётах  $K_{r,l}$  в качестве  $\Delta v_{r,l}(t_0, t)$  и  $\Delta \mu_{r,l}(t_0, t)$  применяли наборы обобщённых моделей абсолютного риска  $\psi_r(t_0, t)$  и относительного риска  $\varphi_r(t_0, t)$  для радиогенных заболеваемости и смертности солидными раками, заданные таблицами А.4.5-А.4.9 [1]. Все эти модели можно представить в единой формулой [10]:

$$f(t_0, t) = A \cdot e^{b \cdot t_0} \cdot t^c \quad (t \geq t_0), \quad (6)$$

<sup>1</sup> Здесь и далее в данной работе мы придерживаемся терминологии и обозначений из рекомендаций Р ФМБА России 21.07.2016.

и отличаются они значениями констант  $A$ ,  $b$  и  $c$ , а также смыслом константы  $A$  у моделей абсолютного риска и относительного риска. Применяли значения констант, рассчитанные в указанной работе.

Межпопуляционный перенос рисков осуществляли по эмпирической формуле МКРЗ

$$\Delta v_{r,i}(t_0, t) = p_i \cdot \psi_i(t_0, t) + (1 - p_i) \cdot v_i(t) \cdot \varphi_i(t_0, t), (7)$$

где  $\delta_i$  – экспертный параметр, которому МКРЗ присвоила следующие значения:  $\delta_i = 1$  для рака молочной железы,  $\delta_i = 0,3$  для рака легкого и  $\delta_i = 0,5$  для всех остальных солидных раков.

Во всех расчётах, когда требовалось получать значения фоновых ИС или ИЗ между узловыми точками, применялся метод линейной интерполяции данных.

Анализ формул (1), (2) и (7) показывает, что величина коэффициента риска зависит как от выбранного показателя риска (приращение заболеваемости или смертности) и модели его зависимости от возрастных перемен-

ных, так и от фоновых функций дожития населения, ИЗ или ИС для интересующего вида рака.

Сравнение фоновых данных

На рисунке 1 представлены значения ФД, рассчитанные по данным об ИС мужчин и женщин композитного, японского и российского населений для точек начала пятилетних возрастных интервалов, вместе с кривыми, отображающими результаты аппроксимации формулой (4) при значениях констант, указанных в таблице 1. В таблице приведены также средние продолжительности жизни (СПЖ), ожидаемые при рождении ( $T$ ), рассчитанные непосредственно по табличным данным и с использованием данной аппроксимации (последние указаны в скобках).

Сравнение линий и данных на рисунке 1, а также рассчитанных двумя способами значений  $T$  в таблице 1, показывает высокое качество аппроксимации функций дожития для трёх населений формулой (4) и существенно

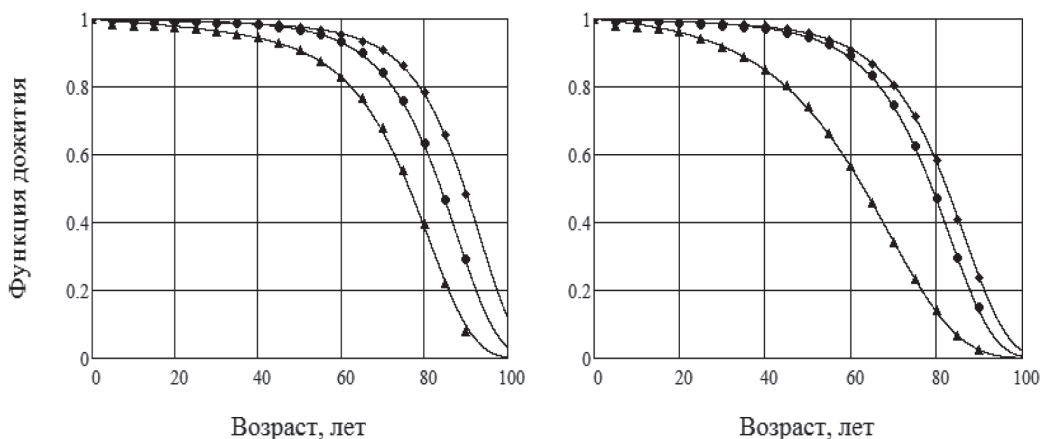


Рис. 1. Функции дожития для женщин (слева) и мужчин (справа) композитного (●), японского (◆) и российского (▲) населений. Линии – результаты расчёта по формуле (3) при значениях параметров из таблицы 1

[Fig. 1. Functions of survival for female (left) and male (right), composite (●), Japanese (◆), and Russian (▲) populations. Lines – results of calculation by formula (3) with parameters values given in Table. 1]

Значения параметров закона Гомперца – Мейкема для трёх населений (по данным о смертности от всех причин)

Таблица 1

[Table 1

The values of the parameters of the Gompertz-Makem's law for the three populations (data on mortality from all causes)]

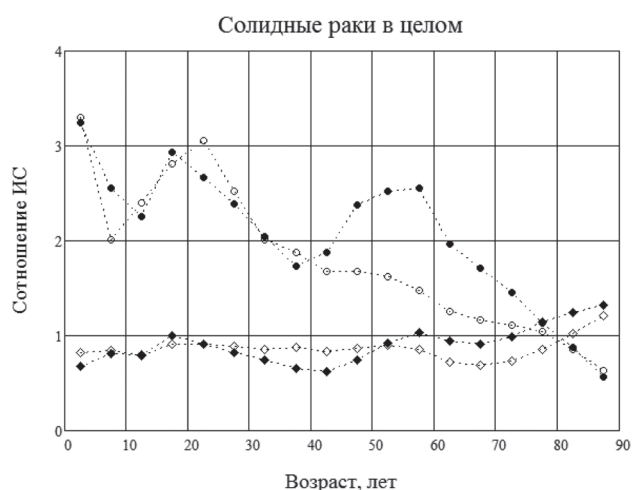
Параметр [Parameter]	Население [Population]					
	Композитное [Composite]		Японское [Japanese]		Российское [Russian]	
	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]
$\omega_0$ , 1/год [ $\omega_0$ , 1/year]	$3,29 \cdot 10^{-4}$	$2,01 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$	$3,24 \cdot 10^{-4}$	$3,79 \cdot 10^{-4}$	$9,60 \cdot 10^{-4}$
$\mu_0$ , 1/год [ $\mu_0$ , 1/year]	$2,91 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$1,88 \cdot 10^{-5}$	$3,50 \cdot 10^{-6}$	$8,27 \cdot 10^{-4}$	$4,29 \cdot 10^{-5}$
$\gamma_0$ , 1/год [ $\gamma_0$ , 1/year]	0,0977	0,101	0,099	0,111	0,0626	0,0946
$T$ , лет (данные) [ $T$ , year (data)]	75,688	79,971	77,652	83,570	60,038	72,252
$T$ , лет (аппрок.) [ $T$ , year (approx.)]	75,713	79,996	77,624	83,565	60,038	72,144

меньшую продолжительность жизни российского населения, особенно для мужской его части.

Российское население отличается от композитного и японского населения также по характеру возрастной зависимости смертности от раков. Это хорошо видно на рисунке 2, где представлены зависимости отношений фоновых ИС от раков для мужчин и женщин российского и японского населения к такому же для мужчин и женщин композитного населения. В отличие от японского населения, для которого названное отношение в широком диапазоне возрастов близко к единице и почти не меняется с возрастом, для российского населения оно при малых возрастах

более чем втрое превышает единицу и проявляет тенденцию уменьшения с возрастом. Среднее значение отношения фоновых рисков в диапазоне возрастов 0–80 лет составляет чуть больше 2,2 и 1,9 для мужской и женской частей российского населения соответственно. Таким образом, если руководствоваться моделью относительного риска, то для россиян следует ожидать более высокие радиогенные риски, чем для композитного населения.

Количественное представление о масштабах различий в показателях смертности и заболеваемости сравниваемых населений дают также данные таблицы 2 и графики на рисунке 3.



**Рис. 2.** Отношение ИС от солидных раков для российского (кружки) и японского (ромбики) населения к ИС от солидных раков композитного населения в зависимости от возраста. Заполненными значками показаны данные для мужчин; пустыми – данные для женщин

**[Fig. 2.** The ratio of the mortality rates for solid cancers of Russian (circles) and Japanese (diamonds) population to the mortality rates for solid cancers of the composite population, depending on age. Filled symbols – the data for males; blank symbols – the data for females]

**Процент смертей от различных раков в смертности от всех причин среди сравниваемых населений**

Таблица 2

**The percentage of deaths from various cancers in mortality from all causes among the compared populations**

[Table 2

Локализация [Localization]	Население [Population]					
	Композитное [Composite]		Японское [Japanese]		Российское [Russian]	
	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]
Все раки [All cancers]	20,7	14,7	26,3	15,5	14,5	12,3
Солидные [All solid cancers]	20,1	14,2	25,4	14,9	14,1	11,8
Пищевод [Oesophagus]	1,13	0,456	1,21	0,2	0,49	0,17
Желудок [Stomach]	2,36	1,24	4,20	1,93	2,27	1,77
Ободочная кишка [Colon]	1,53	1,38	1,82	1,57	1,35	1,76
Печень [Liver]	1,67	0,8	2,78	1,35	0,396	0,319
Лёгкое [Lung]	5,93	2,90	6,34	2,10	4,41	0,798

Локализация [Localization]	Население [Population]					
	Композитное [Composite]		Японское [Japanese]		Российское [Russian]	
	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]
Молочная железа [Breast]	0	1,90	0,012	1,32	0,025	1,95
Мочевой пузырь [Bladder]	0,646	0,260	0,585	0,218	0,485	0,125
Другие солидные [Other solid cancers]	6,84	5,21	8,46	6,21	4,69	4,95
Лейкоз [Leukaemia]	0,535	0,388	0,589	0,373	0,370	0,366

В таблице 2 суммированы процентные доли смертей от разных раков в общей смертности мужской и женской частей сравниваемых населений, рассчитанные непосредственно по интервальным данным об ФД и ИС от разных раков. Видно, что относительный вклад онкологической смертности у композитного и японского населений выше, чем у российского населения, примерно в 1,3 и 1,6 раза соответственно. Только по смертности от рака молочной железы российский показатель превышает показатель для обоих сравниваемых населений, а для раков желудка и ободочной кишки – показатель для композитного населения.

На рисунке 3 показаны результаты расчётов по формуле (5) ожидаемых процентных долей смертей от различных раков в общей смертности мужчин и женщин сравниваемых населений в возрастах старше заданного граничного возраста. Видно, что российское население существенно отличается от композитного и японского населений, причём не только по величине вклада раков в смертность от всех причин, но и по характеру зависимости от граничного возраста. Для всех раков у российских мужчин в диапазоне возрастов примерно от 40 до 70 лет имеется достаточно выраженный максимум, слабо проявляющийся или отсутствующий у мужчин других населений. По-видимому, наличие максимума связано с выявляемой повышенной ранней смертностью мужчин, которая обусловлена преимущественно большим вкладом экзогенных причин (см. рис. 1).

Интересно, что процентные доли заболеваний раками в общей заболеваемости и процентные доли смертей от них почти совпадают. О характере и величине отличий можно судить по графикам на вкладке для солидных раков в целом, где данные для заболеваемости нанесены пунктиром.

Рассмотрим теперь влияние проиллюстрированных выше демографических особенностей российского населения на коэффициенты риска.

#### Оценки коэффициентов риска для российского населения

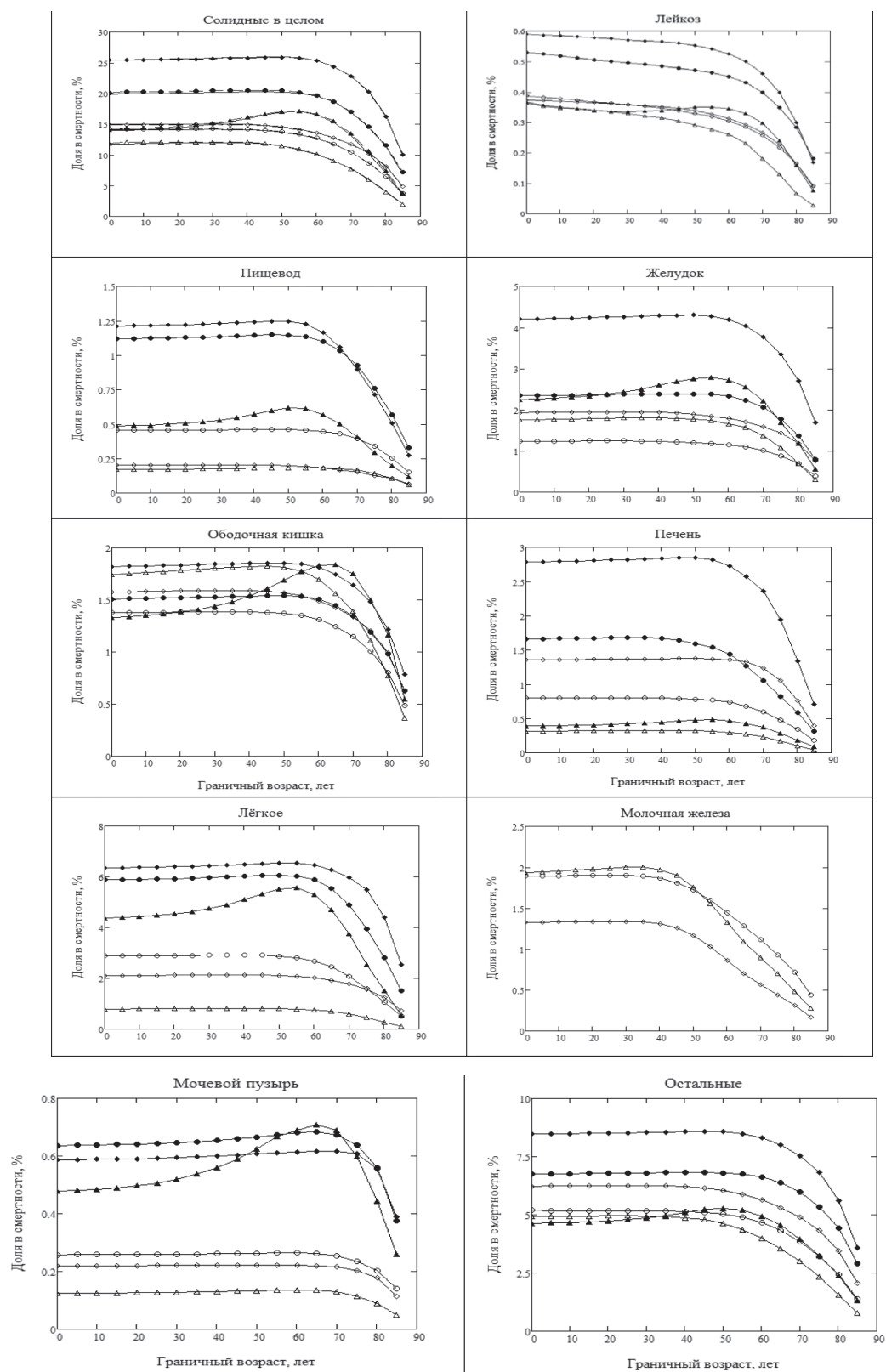
В расчётах, результаты которых представлены далее, мы старались руководствоваться алгоритмами, словесно изложенным в Публикации. Однако в ней отсутствуют некоторые важные подробности, без которых точное воспроизведение расчётов МКРЗ невозможно. Не указано, например, учитывалось ли в расчётах рисков наличие латентного периода; применялись ли интерполяция и

сглаживание табличных данных о заболеваемости и если применялись, то какие; каким был принят предел достигнутого возраста при расчётах пожизненных рисков ( $t_{max}$ ); по какому диапазону возрастов населения проводилось усреднение для определения популяционных рисков. Последние два вопроса возникают потому, что содержание п. А114 можно понимать по-разному.

Для прояснения поставленных вопросов мы выполнили сравнительные расчёты  $K_{r,l}(t_1, t_2)$  для композитного населения по формулам (1) и (2) с применением  $\Delta v_{r,l}(t_0, t)$  в виде (7) при разных значениях  $t_2$ , латентного периода  $\Delta t_0$  и предельной продолжительности жизни  $t_{max}$ . Оказалось, что по критерию минимальности суммы отклонений для различных локализаций рака наилучшее согласие результатов наших расчётов и современных оценок МКРЗ по заболеваемости из таблицы А.4.2 достигается при применении формулы (1) с функцией дожития в виде (4) при  $t_2 = 90$  лет,  $t_{max} = 90$  лет и  $\Delta t_0 = 5$  годам. По этой причине формула (1) и такие значения параметров были выбраны для дальнейших расчётов как вероятнее всего применявшиеся экспертами МКРЗ.

Однако даже при таких наиболее подходящих параметрах и методе расчёта наши результаты, как показывает сравнение в таблице 3, в целом плохо соответствуют данным МКРЗ. Следует отметить, что значения для солидных раков в целом и для других солидных, представленные во втором и четвёртом столбцах таблицы 3, являются расчётными. Для солидных раков в целом приведённое значение является результатом вычитания значений из таблицы А.4.1 для заболеваний раками кожи, кости, костного мозга и гонад из общего числа заболеваний (1179), а для других солидных – результатом сложения значений для категории «другие солидные», яичников и щитовидной железы.

Строго говоря, применение моделей риска, приведённых в Публикации для категории «другие солидные», после такого её расширения не вполне оправдано. Вероятно, с этим связано значительное отличие наших результатов (особенно для всего населения) от данных МКРЗ. Что касается различий для остальных локализаций, то, по меньшей мере, частично они могут быть объяснены различиями методов интерполяции и экстраполяции табличных данных для композитного населения, применённых в расчётах экспертов МКРЗ и в наших данных.



**Рис. 3.** Доли смертей от различных раков в общей смертности мужчин (заполненные значки) и женщин (пустые значки) с возрастaми свyше граничного. Линии и значки – расчёты по формуле (5) с применением для ФД аппроксимации (4) и с ФД, рассчитанным непосредственно по табличным данным. Кружки, ромбики и треугольники – композитное, японское и российское население соответственно. Пунктир на вкладке для солидных раков в целом – доли в заболеваемости

**[Fig. 3.** The proportion of deaths from various cancers in the total mortality for males (filled icons) and females (empty icons) with the ages over the boundary value. Lines and icons – calculations by formula (5) with the use of the function of survival of the approximation (4) and the survival function, calculated directly from table data. Circles, diamonds and triangles – composite, Japanese and Russian population, respectively. The dotted line on the tab for all solids – the fractions of morbidity]

Таблица 3

Сравнение результатов наших расчётов числа случаев на Sv на 10 000 лиц для всего композитного населения и для рабочих возрастов при выбранных значениях параметров с данными таблицы А.4.1 Публикации 103 МКРЗ [1]

[Table 3]

Comparison of the results of our estimates of the number of cases per Sv per 10,000 individuals for the entire composite population and for working ages for the chosen values of the parameters given in Table. A. 4.1 of Publication 103 ICRP [1]

Локализация рака [Cancer location]	Контингент [Cohort]			
	Всё население [All population]		Рабочие возраста (18–65 лет) [Working ages (18–65 years)]	
	Таблица А.4.1 [1] [Table A.4.1 [1]]	Расчёт по (1), (4) и (7) [Estimates (1), (4) and (7)]	Таблица А.4.1 [1] [Table A.4.1 [1]]	Расчёт по (1), (4) и (7) [Estimates (1), (4) and (7)]
Солидные в целом* [All solids]	646	614	469	446
Пищевод [Oesophagus]	15	21,3	16	10,4
Желудок [Stomach]	79	80,4	60	59,9
Ободочная кишка [Colon]	65	69,3	50	53,7
Печень [Liver]	30	31,4	21	23,6
Лёгкое [Lung]	114	121	127	111
Молочная железа [Breast]	112	94,5	49	52,1
Мочевой пузырь [Bladder]	43	45,7	42	38,9
Другие солидные [Other solid]	188	151	104	96,5

\* Без учёта вкладов раков кости и кожи.

[\* Excluding contribution of cancers of bone and skin].

В таблице 4 представлены оценки коэффициентов риска, рассчитанных по данным для российского населения и скорректированных на летальность и качество жизни, в сравнении с оценками из таблицы А.4.1 Публикации. Не располагая российскими данными, мы выполнили коррекцию на летальность и качество жизни для российского населения в предположении, что к нему применимы поправки, использованные в Публикации. В этом случае для получения оценок для российского населения достаточно было умножить значения скорректированного номинального риска МКРЗ на отношение коэффициентов риска, рассчитанных нами по российским данным и по данным для композитного населения. Заметим, что в отличие от таблицы 3, здесь значение коэффициента риска для солидных раков в целом включает раки кости и кожи, с приписанными им значениями из таблицы А.4.1.

Анализ данных таблицы 4 показывает, что суммарный вред от облучения для российского населения меньше оценки, полученной МКРЗ. Разница составляет около 20% и 30% соответственно.

В таблице 5 сравниваются значения относительного вреда для российского населения, рассчитанные в предположении применимости для него скорректированных оценок вреда для раков кости, кожи и костного мозга и для гонад (25,4) из Публикации.

### Заключение

Проведённые расчёты показали (см. табл. 4), что оценки коэффициентов риска для всего российского населения и для рабочих возрастов оказались ниже рекомендованных МКРЗ примерно на 20% и на 30% соответственно.

Таким образом, в рамках современных представлений об опасности облучения значения коэффициентов риска и для всего населения, и для работников в новых отечественных НРБ могли бы быть приняты меньшими, чем рекомендует МКРЗ. Однако это поставило бы много других вопросов. Так что применение в отечественных НРБ коэффициентов номинального риска, рекомендованных МКРЗ, создаёт для российского населения своего рода коэффициент запаса по безопасности.

Одновременно наглядно продемонстрирована противоречивость современного критерия радиационной безопасности, из которого следует, что чем здоровее население, тем вреднее для него воздействие радиации.

Действительно, как показало сравнение, среднее значение отношения фоновых ИС от всех солидных раков для российского и композитного населения в возрасте до 80 лет превышает 2. Согласно модели относительного риска, более высокая фоновая ИС от солидных раков предполагает и более высокую радиогенную компоненту ИС. Однако, как показывают функции дожития на рисун-

ке 2 и данные таблицы 1, российское население характеризуется гораздо меньшей продолжительностью жизни, особенно в случае мужчин, по сравнению с композитной популяцией. Вследствие этого у россиян меньше шансов дожить до заболевания фоновым (а следовательно, и радиогенным) раком, которые чаще всего возникают в зрелых возрастах. Следовательно, имеет место действие взаимно компенсирующихся факторов: более высокие по возрасту показатели смертности от рака у российского населения способствуют более высоким показателям радиогенного риска для российского населения, а низкая продолжительность жизни – их снижению.

Действие второго фактора несколько сильнее, вследствие чего доли раков в общей смертности российского населения ниже, чем у композитного населения.

Из результатов работы следует также, что актуален вопрос о выборе календарного периода, для которого принимаются в расчётах радиогенных рисков возрастные зависимости интенсивности заболеваемости раком и смертности по всем причинам, и о необходимости стандартизации видов этих зависимостей.

В целом, представляется оправданным продолжение обсуждения поставленных вопросов для выработки оптимальных решений.

Таблица 4

**Сравнение скорректированных коэффициентов риска для российского населения (случаев на 1 Зв и на 10000 лиц) (вред) с оценками, представленными в таблице А.4.1 Публикации**

[Table 4

**Comparison of the adjusted risk coefficients for the Russian population (number of cases per 1 Sv and per 10,000 persons) (detriment<sup>2</sup>) with the estimates presented in the table. A. 4. 1 of the Publication]**

Локализация рака [Cancer site]	Контингент [Cohort]			
	Всё население [All population]		Рабочие возраста [Working ages]	
	Таблица А.4.1 [1] [Table A.4.1 [1]]	Расчёт по (1), (4) и (7) [Estimates (1), (4) and (7)]	Таблица А.4.1 [1] [Table A.4.1 [1]]	Расчёт по (1), (4) и (7) [Estimates (1), (4) and (7)]
Солидные в целом [All solids]	487	362	383	255
Пищевод [Oesophagus]	13,1	8,9	14,2	8,2
Желудок [Stomach]	67,7	51,2	51,8	37,3
Ободочная кишка [Colon]	47,9	28,8	43	24,3
Печень [Liver]	26,6	14,3	19,7	9,8
Лёгкое [Lung]	90,3	57,6	121	73,8
Кость [Bone]	5,1	5,1 <sup>*</sup>	3,4	3,4 <sup>*</sup>
Кожа [Skin]	4	4 <sup>*</sup>	2,7	2,7 <sup>*</sup>
Молочная железа [Breast]	79,8	70	32,6	27,4
Мочевой пузырь [Bladder]	16,7	9,4	19,3	10,3
Другие солидные [Other solids]	136	122	75	63,5
Костный мозг [Bone marrow]	61,5	61,5 <sup>*</sup>	23,9	23,9 <sup>*</sup>
Все раки [All cancers]	549	433 <sup>**</sup>	407	285 <sup>**</sup>

\* Значения из таблицы А.4.1 [1].

\*\* Получено в предположении применимости для российского населения оценок вреда для раков кости, кожи и костного мозга из табл. А.4.1.

[\* Values from the tab. A.4.1 [1]

\*\* Obtained under the assumption of applicability for the Russian population estimates of detriment for cancers of bone, skin and bone marrow from the table. A. 4. 1.]



Таблица 5

Сравнение относительных долей различных раков в суммарном радиационном ущербе для российского населения с представленными МКРЗ [1]

[Table 5

Comparison of the relative proportions of fractions of different cancers in the total radiation detriment to the Russian population with those presented by ICRP [1]

Локализация рака [Cancer site]	Контингент [Cohort]				Тканевые весовые множители МКРЗ [Tissue weighting factors, ICRP]
	Всё население [All population]		Рабочие возраста [Working ages ]		
	Таблица А.4.1 [1] [Table A.4.1 [1]]	Расчёт по (1), (4) и (7) [Estimates (1), (4) and (7)]	Таблица А.4.1 [1] [Table A.4.1 [1]]	Расчёт по (1), (4) и (7) [Estimates (1), (4) and (7)]	
Пищевод [Oesophagus]	0,023	0,019	0,033	0,026	0,04
Желудок [Stomach]	0,118	0,112	0,12	0,12	0,12
Ободочная кишка [Colon]	0,083	0,063	0,1	0,078	0,12
Печень [Liver]	0,046	0,031	0,046	0,032	0,04
Лёгкое [Lung]	0,157	0,126	0,28	0,238	0,12
Кость [Bone]	0,009	0,011	0,008	0,011	0,01
Кожа [Skin]	0,007	0,009	0,006	0,009	0,01
Молочная железа [Breast]	0,139	0,153	0,075	0,088	0,12
Мочевой пузырь [Bladder]	0,029	0,021	0,045	0,033	0,04
Другие солидные [Other solids]	0,237	0,266	0,174	0,205	0,12*
Костный мозг [Bone marrow]	0,107	0,134	0,055	0,077	0,12
Гонады [Gonads]	0,044	0,055	0,059	0,082	0,08
Сумма [Total]	1	1	1	1	0,94**

\* Данное значение относится к иному списку тканей, чем принят в данной работе.

\*\* Отличие от единицы связано с отсутствием в данной таблице некоторых локализаций, учтённых МКРЗ.

[\*] This value refers to another list of tissues than adopted in this work.

\*\*] The difference from unity is due to the absence in this table some of the cancer sites considered by the ICRP]

### Литература

1. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / под общей ред. М.Ф. Киселева, Н.К.Шандалы. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
2. Губин, А.Т. Методические проблемы практических оценок радиогенного риска / А.Т. Губин, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 1. – С.16–22.
3. Губин, А.Т. Адаптация моделей радиационного риска, используемых МКРЗ, к российскому населению / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 38–42.
4. Официальный сайт Всемирной организации здравоохранения. [http://www.who.int/healthinfo/statistics/mortality\\_rawdata/en/](http://www.who.int/healthinfo/statistics/mortality_rawdata/en/) (дата обращения: 01.09.2016 г.).
5. Злокачественные новообразования в России в 2007 году (заболеваемость и смертность) / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена» Минздрава России, 2009. – 244 с.
6. Злокачественные новообразования в России в 2008 году (заболеваемость и смертность) / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена» Минздрава России, 2010. – 256 с.
7. Злокачественные новообразования в России в 2009 году (заболеваемость и смертность) / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена» Минздрава России. 2011. – 260 с.

8. Злокачественные новообразования в России в 2010 году (заболеваемость и смертность). Под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. // М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «ФМИЦ им.П.А. Герцена» Минздрава России. 2012. – 260 с.
9. Гаврилов, Л.А. Биология продолжительности жизни / Л.А. Гаврилов, Н.С. Гаврилова. – М.: Наука, 1991. – 280 с.
10. Губин, А.Т. Анализ обобщённых моделей радиогенного риска. Часть 1. Модели МКРЗ / А.Т. Губин, В.А. Сакович // Радиация и риск. – 2016. – Т. 25, № 4 (в печати).

Поступила: 09.11.2016 г.

---

**Губин Анатолий Тимофеевич** – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией математического моделирования радиационных и химических воздействий Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 123103, Россия, Москва, ул. Щукинская, д. 40. E-mail: atgubin@rambler.ru

**Редько Виктор Иванович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования радиационных и химических воздействий Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

**Сакович Вадим Алексеевич** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования радиационных и химических воздействий Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

**Для цитирования:** Губин А.Т., Редько В.И., Сакович В.А. Влияние демографических особенностей популяции на оценки коэффициентов радиогенного риска на примере российского населения // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 26–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-26-36

---

## The impact of the demographic characteristics of the population on estimates of the coefficients of radiogenic risk in the Russian population

Anatoliy T. Gubin, Viktor I. Red'ko, Vadim A. Sakovich

Scientific and technical center radiation-chemical safety and hygiene, FMBA of Russia, Moscow, Russia

*The aim of this work was to determine the validity of the direct transfer of the recommendations of the ICRP on the nominal risk coefficients and tissue weighting factors in a future revision of the national Radiation Safety Standards (NRB). The article compares the background age and sex distribution, and morbidity and mortality rates of the nominal population, the ICRP used to develop the latest fundamental recommendations, with appropriate indicators for the populations of Russia and Japan as the main source of data for assessment of radiogenic risk in the second half of the last decade. It is revealed that the functions of survival and age-related morbidity and mortality of the Russian population, especially for males, is significantly different from the composite population, while for the Japanese population, the differences are relatively small. The estimates of radiogenic risk coefficients for cancers of various localization using calculation schemes and risk models of the ICRP Publication 103, but based on background data on incidence and mortality of the Russian population were obtained. Baseline incidence and mortality for the Russian population are worse compared to the composite population. Hence, risk coefficients for the Russian population can be taken lower than the recommended ICRP by approximately 20% for the total population and 30% for the persons of working ages. The results clearly demonstrate the inconsistency of the modern criteria of radiation protection, based almost exclusively on the account of carcinogenic effects of ionizing radiation, since it implies that radiation is more harmful for a healthier population. The results also show timeliness of issue of the choice of the calendar period for which the age-dependence of the intensity of cancer incidence and mortality from all causes are taken into account. The article justified the continuation of the discussion of the raised issues, as well as the issues of development the mathematical models used in the estimation of radiogenic risks.*

---

**Anatoly T. Gubin**

Scientific and technical center radiation-chemical safety and hygiene, FMBA of Russia

**Address for correspondence:** Shchukinskaya St., 40, Moscow, 123103, Russia; E-mail: atgubin@rambler.ru

**Key words:** *Radiation Safety Standards, radiation safety criteria, radiogenic risk, nominal risk coefficients, radiogenic risk coefficients, solid cancers, population, workers.*

### References

1. Publication 103 of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Ed.: M.F. Kiselev, N.K. Shandala. M., 2009, 312 p. (In Russ.)
2. Gubin A.T., Sakovich V.A. Methodological problems of practical radiogenic risk estimations. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, № 1, pp.16-22. (In Russ.)
3. Gubin A.T., Red'ko V.I., Sakovich V.A. Adaptation to the Russian population types of radiation risk used by ICRP. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, № 4, pp.38-42. (In Russ.)
4. Official site of the World Health Organization. [http://www.who.int/healthinfo/statistics/mortality\\_rawdata/en/](http://www.who.int/healthinfo/statistics/mortality_rawdata/en/) (Accessed: September 01, 2016 r.) (In Russ.)
5. Malignant neoplasms in Russia in 2007 (incidence and mortality). Ed.: V.I. Chissov, V.V. Starinsky, G.V. Petrova. M.: Moscow Oncology Research Institute, 2009, 244 p. (In Russ.)
6. Malignant neoplasms in Russia in 2008 (incidence and mortality). Ed.: V.I. Chissov, V.V. Starinsky, G.V. Petrova. M.: Moscow Oncology Research Institute, 2010, 256 p. (In Russ.)
7. Malignant neoplasms in Russia in 2009 (incidence and mortality). Ed.: V.I. Chissov, V.V. Starinsky, G.V. Petrova. M.: Moscow Oncology Research Institute, 2011, 260 p. (In Russ.)
8. Malignant neoplasms in Russia in 2010 (incidence and mortality). Ed.: V.I. Chissov, V.V. Starinsky, G.V. Petrova. M.: Moscow Oncology Research Institute, 2012, 260 p. (In Russ.)
9. Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. *Biology of lifetime*. M.: Nauka, 1991, 280 p. (In Russ.)
10. Gubin A.T., Sakovich V.A. Analysis of generalized models of radiogenic risk. Part 1. Models of ICRP. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*, 2016, Vol. 25, № 4 (в печати). (In Russ.)

Received: November 09, 2016

**For correspondence: Anatoliy T. Gubin** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head, Laboratory of Mathematical Modeling of Radiation and Chemical Exposure, Scientific and technical center radiation-chemical safety and hygiene, FMBA of Russia (Shchukinskaya St., 40, Moscow, 123103, Russia; E-mail: atgubin@rambler.ru)

**Viktor I. Red'ko** – Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, Laboratory of Mathematical Modeling of Radiation and Chemical Exposure, Scientific and technical center radiation-chemical safety and hygiene, FMBA of Russia, Moscow, Russia

**Vadim A. Sakovich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Research Scientist, Laboratory of Mathematical Modeling of Radiation and Chemical Exposure, Scientific and technical center radiation-chemical safety and hygiene, FMBA of Russia, Moscow, Russia

**For citation: Gubin A.T., Red'ko V.I., Sakovich V.A. The impact of the demographic characteristics of the population on estimates of the coefficients of radiogenic risk in the Russian population. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*, 2016, Vol.9, No 4, pp. 26–36. (In Russ.) DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-26-36**