

Коэффициенты радиационных рисков для российского населения при однократном и пролонгированном облучении

Чекин С.Ю., Меняйло А.Н., Кашеев В.В., Максютлов М.А.

ФГБУ МРНЦ Минздрава России, Обнинск

Впервые для российских когорт, с применением современных моделей радиационных рисков МКРЗ 2007 г. и БЭИР VII, вычислены коэффициенты радиационных рисков при однократном и пролонгированном облучении, в зависимости от возраста на начало облучения. При изменении возраста на начало облучения от 20 до 60 лет коэффициенты рисков уменьшаются приблизительно в 4 раза по моделям МКРЗ и в 1,5 раза по моделям БЭИР VII. Коэффициенты радиационных рисков, рассчитанные по моделям МКРЗ, в среднем в 2 раза меньше коэффициентов, рассчитанных по моделям БЭИР VII. Коэффициенты радиационных рисков заболеваемости солидными раками и лейкозами, для населения Красноярского края и для населения России в целом, различаются не более чем на 3%, что по порядку величины соответствует различиям в показателях заболеваемости и общей смертности между этими двумя популяциями. Выбор модели вносит основную неопределённость в расчёт коэффициентов радиационных рисков (до 200%). Поэтому для расчёта российских национальных коэффициентов радиационных рисков модели радиационных рисков должны быть идентифицированы с использованием радиационно-эпидемиологических данных по российским же популяциям и когортам.

Ключевые слова: радиационный риск, атрибутивная доля, коэффициент радиационного риска, однократное облучение, пролонгированное облучение.

Введение

В настоящее время модели радиационных рисков, опубликованные в отчётах и рекомендациях международных организаций, в основном идентифицированы на данных исследований японской когорты лиц, переживших атомные бомбардировки [4, 6-9, 11]. Когорта, первоначально сформированная в 1950 г., получила название Life Span Study (LSS) – когорты пожизненного исследования. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) 2007 г. [10] основаны на исследовании заболеваемости в когорте LSS, проведённом D.L. Preston с соавторами за период наблюдения 1958-1998 гг. [8]. Последний отчёт американского Национального исследовательского комитета (NRC) по биологическим эффектам ионизирующей радиации, БЭИР VII [5], основан на самостоятельном анализе тех же японских данных.

Модели радиационных рисков записываются через интенсивные показатели радиационно-обусловленной заболеваемости и смертности. В отсутствие облучения основным показателем риска является показатель фоновой или спонтанной онкологической заболеваемости (или смертности) λ_0 , т.е. частота заболеваний или смертей в год. Воздействие радиации приводит к увеличению λ_0 на дополнительную величину, которая называется избыточным абсолютным риском и обычно обозначается аббревиатурой EAR (Excess Absolute Risk). Полный показатель риска λ является суммой фоновой величины λ_0 и избыточного абсолютного риска **EAR**:

$$\lambda = \lambda_0 + \mathbf{EAR}. \quad (1)$$

Чекин С.Ю.* – ст. научн. сотр.; Меняйло А.Н. – научн. сотр., к.б.н.; Кашеев В.В. – ст. научн. сотр., к.б.н.; Максютлов М.А. – зав. лаб., к.т.н. ФГБУ МРНЦ Минздрава России.

*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 4. Тел.: (48439) 9-30-79; e-mail: nrer@obninsk.com.

Модели МКРЗ и БЭИР VII используют фоновые показатели для локализации l , зависящие от достигнутого возраста a и пола s : т.е. $\lambda_0 = \lambda_0(l, a, s)$. Радиационный риск EAR при этом зависит от локализации – l , пола – s , эквивалентной дозы – d , возраста на момент облучения – g и достигнутого возраста – a :

$$\lambda(g, a, l, s, d) = \lambda_0(a, l, s) + EAR(g, a, l, s, d).$$

Радиогенный риск EAR вносит вклад в полный риск λ в двух формах: аддитивной и мультипликативной. В аддитивной модели полный риск задаётся простым выражением:

$$\lambda = \lambda_0 + EAR^{add}, \quad (2)$$

где EAR^{add} – избыточный абсолютный риск аддитивной модели (верхний индекс add).

В мультипликативной модели EAR явно зависит от фонового риска λ_0 , и полный риск λ записывается в виде:

$$\lambda = \lambda_0 + EAR^{mult} = \lambda_0 + \lambda_0 \cdot ERR, \quad (3)$$

где $EAR^{mult} = \lambda_0 \cdot ERR$ – избыточный абсолютный риск мультипликативной модели (верхний индекс mult), выраженный через фоновый риск λ_0 и безразмерную величину относительного избыточного риска ERR (Excess Relative Risk).

После облучения радиационный риск, как в форме EAR^{add} , так и в форме ERR , может реализоваться только через определённое время – латентный период T_{LS} .

Модели радиационных рисков МКРЗ 2007 (Публикация 103 МКРЗ)

Модель МКРЗ 2007 [10] для оценки рисков заболеваемости солидными раками является моделью D.L. Preston [8], а для лейкозов используется более ранняя модель D.L. Preston [7].

Для переноса модели рисков на другие популяции величина избыточного абсолютного риска заболеваемости, EAR^{inc} , в модели МКРЗ 2007 [10] получается как взвешенное среднее аддитивной и мультипликативной моделей:

$$EAR^{inc} = (1 - p) \cdot EAR^{add} + p \cdot EAR^{mult}, \quad (4)$$

или по-другому, с учётом (3):

$$EAR^{inc} = (1 - p) \cdot EAR^{add} + p \cdot \lambda_0 \cdot ERR. \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) верхние индексы add и mult обозначают аддитивную и мультипликативную модели соответственно, а p – вес мультипликативной модели сумме, зависящий от локализации опухоли [10].

Радиационный риск мультипликативной и аддитивной моделей в работе D.L. Preston [8] даётся в форме $f(d) \cdot \varepsilon(g, s, a)$, где $f(d)$ описывает вид дозовой зависимости, а $\varepsilon(g, s, a)$ – изменение риска в зависимости от пола s , возраста при облучении g , а также достигнутого возраста a . В моделях МКРЗ 2007 [10] для солидных раков принята линейная зависимость доза-эффект, т.е. $f(d) = \beta \cdot d$.

В рамках модели МКРЗ 2007 [10] избыточный риск ER , как абсолютный EAR^{add} , так и относительный ERR , можно записать в виде общей формулы:

$$ER(g, s, a, d) = \beta_s \cdot d \cdot \exp[\gamma \cdot g^* + \eta \cdot \ln(a/70)]. \quad (6)$$

где s – пол, a – достигнутый возраст в годах, β – коэффициент риска в достигнутом возрасте 70 лет при облучении в возрасте 30 лет, g – возраст при облучении, $g^* = (g - 30)/10$; коэффициенты γ и η характеризуют зависимость риска от возраста при облучении и достигнутого возраста соответственно.

В Рекомендациях МКРЗ 2007 г. [10] для аддитивной модели β_s даёт EAR^{add} на 10 тысяч человек в год на 3в в достигнутом возрасте 70 лет при облучении в возрасте 30 лет, а для мультипликативной модели – ERR на 3в, в тех же возрастах.

Численные значения параметров семейства моделей (6) для солидных раков приведены в таблице 1. В Рекомендациях МКРЗ 2007 г. [10] детальное описание моделей радиационного риска лейкозов не приводится. Оно занимает большой объём и может быть найдено в оригинальной работе D.L. Preston [7].

Таблица 1

Параметры мультипликативной и аддитивной моделей МКРЗ 2007 для радиационного риска солидных раков

Пол	Мультипликативная модель			Аддитивная модель		
	β	γ	η	β	γ	η
Мужской	0,35	-0,19	-1,65	43,20	-0,27	2,38
Женский	0,58	-0,19	-1,65	59,83	-0,27	2,38

Латентный период для солидных раков $T_{LS}=10$ лет, для лейкозов – 2 года, а фактор эффективности дозы и мощности дозы (DDREF) равен 2.

Модели радиационных рисков БЭИР VII

В отчёте БЭИР VII [5] отмечено, что аддитивная и мультипликативная модели риска, в форме (2) и (3), одинаково хорошо аппроксимируют японские данные. Для переноса риска на другие популяции используется среднегеометрическое значение прогнозов, выполненных по этим моделям.

Модели заболеваемости для солидных раков, кроме рака молочной железы и рака щитовидной железы, имеют общий вид, аналогичный моделям МКРЗ 2007 [10], как в форме EAR, так и в форме ERR, который ниже обозначен как ER:

$$ER(s, d, g, a) = \beta_s \cdot d \cdot \exp(\gamma \cdot g^*) \cdot (a/60)^\eta, \quad (7)$$

где s – пол, β – коэффициент риска в достигнутом возрасте 60 лет при облучении в возрасте 30 лет (размерность для модели ERR – на 3в, или для модели EAR – на 10^4 человеко-лет на 3в), d – эквивалентная доза в 3в, a – достигнутый возраст, g – возраст при облучении, $g^* = (\min(g, 30) - 30)/10$; коэффициенты γ и η характеризуют зависимость риска от возраста при облучении и достигнутого возраста соответственно.

Численные значения параметров семейства моделей (7) для солидных раков приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Параметры мультипликативной и аддитивной моделей БЭИР VII
для радиационного риска солидных раков**

Пол	Мультипликативная модель			Аддитивная модель		
	β	γ	η	β	γ	η
Мужской	0,33	-0,30	-1,40	22,00	-0,41	2,80
Женский	0,57	-0,30	-1,40	28,00	-0,41	2,80

В отличие от моделей МКРЗ 2007 [10], латентный период для солидных раков $T_{Ls}=5$ лет, для лейкозов – 2 года, но с усреднением двух соседних точек для 1 года после облучения, а фактор эффективности дозы и мощности дозы (DDREF) равен 1,5.

Для лейкозов в [5] используются модели как EAR, так и ERR, так же в общей функциональной форме, качественно похожие на модель лейкозов МКРЗ 2007 [10], а именно, с латентным периодом $T_{Ls}=2$ года, с квадратичной зависимостью от дозы и с зависимостью от времени, прошедшего после облучения:

$$ER(s, d, g, t) = \beta_s \cdot d \cdot (1 + \theta \cdot d) \cdot \exp(\gamma \cdot g^* + \delta \cdot \ln(t/25) + \phi \cdot g^* \cdot \ln(t/25)), \quad (8)$$

где d – доза на красный костный мозг, t – время после облучения, $t \geq 5$ лет; для $2 < t < 5$:

$$EAR(s, d, g, t) = EAR(s, d, g, 5) \text{ и } ERR(s, d, g, t) = ERR(s, d, g, 5) \cdot \frac{\lambda_0(s, g + 5)}{\lambda_0(s, g + 2)},$$

остальные обозначения – как в формуле (7) для солидных раков. Численные значения параметров семейства моделей (8) для лейкозов приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Параметры мультипликативной и аддитивной моделей БЭИР VII
для радиационного риска лейкозов**

Пол	Мультипликативная модель					Аддитивная модель				
	β	γ	δ	ϕ	θ	β	γ	δ	ϕ	θ
Мужской	1,10	-0,40	-0,48	0,42	0,87	1,62	-0,29	0,0	0,56	0,88
Женский	1,20	-0,40	-0,48	0,42	0,87	0,93	-0,29	0,0	0,56	0,88

Пожизненный атрибутивный риск

Для обоснования системы радиологической защиты МКРЗ [10] использует коэффициент пожизненного атрибутивного риска, LAR (Lifetime attributable risk), на единицу эквивалентной дозы (1 Зв).

Общий метод расчёта пожизненного радиационного риска приведён в утверждённых в 2012 г. методических указаниях МУ 2.1.10.3014 – 12 «Оценка радиационного риска у населения за счёт длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах» [2]. МКРЗ и отчёт БЭИР VII используют более простой метод вычисления пожизненных рисков, который приблизительно совпадает с [2] в области малых доз (менее 100 мЗв), т.к. не учитывает влияние облучения на показатели общей смертности (смертности от всех причин).

Напомним, что в моделях МКРЗ 2007 и БЭИР VII избыточный абсолютный риск заболеваемости дан в форме годового риска от однократного облучения. Пожизненный атрибутивный риск, LAR (в обозначениях МКРЗ), является суммой годовых рисков, по годам дожития, с учётом конкурирующих (по отношению к рассматриваемому действию радиации) демографических процессов, приводящих к изменению доли здоровых лиц в популяции или когорте.

МКРЗ [10] рассматривает замкнутые когорты, т.е. LAR при однократном облучении определяется суммой годовых рисков с весом вероятности дожития от возраста при облучении до каждого возраста дожития, вплоть до максимально возможного возраста T_{max} , который для России принят равным 90 лет. Эту вероятность, или функцию здорового дожития, обозначим $S^{inc}(g, a, l, s)$. Здесь g – возраст на момент облучения, a – возраст здорового дожития, l – локализация рака, s – пол. Кроме того, МКРЗ считает заболеваемость различными локализациями рака аддитивной величиной.

Если облучение группы лиц пола s в дозе d произошло в возрасте g , то избыточный абсолютный риск возникновения рака локализации l , скорректированный с учётом здорового дожития до возраста a , запишется в виде:

$$EARS^{inc}(g, a, l, s, d) = S^{inc}(g, a, l, s) \cdot [p(l) \cdot EAR^{mult}(g, a, l, s, d) + (1 - p(l)) \cdot EAR^{add}(g, a, l, s, d)], \quad (9)$$

где p – весовой множитель, зависящий от локализации рака.

Зная скорректированный на дожитие избыточный абсолютный риск **EARS**, можно оценить пожизненный риск (**LAR**) возникновения рака локализации l после однократного облучения в возрасте g дозой d :

$$LAR^{inc}(g, l, s, d) = \frac{1}{DDREF} \cdot \sum_{a=g+T_{LS}}^{T_{max}} EARS^{inc}(g, a, l, s, d), \quad (10)$$

где **DDREF** – коэффициент эффективности дозы и мощности дозы, учитывающий уменьшение риска в случае хронического облучения или облучения в малой дозе; значения **DDREF** и латентного периода для различных моделей приводились выше.

Сравнение коэффициентов радиационных рисков, рассчитанных по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции при однократном облучении

Ниже приведено сравнение коэффициентов радиационных рисков на 1 Зв, при однократном облучении в малых дозах, рассчитанных по моделям МКРЗ 2007 [10] и БЭИР VII [5] для российской популяции 2008 г. [1]. На рис. 1-4 представлены результаты расчётов по всем солидным ракам в совокупности (рис. 1 – для мужчин и рис. 2 – для женщин) и по лейкозам (рис. 3 – для мужчин и рис. 4 – для женщин).

Для солидных раков коэффициенты LAR, рассчитанные по моделям МКРЗ и БЭИР VII, в средних возрастах при облучении (20-60 лет) различаются до двух раз, в основном, из-за использования разных факторов DDREF и разных латентных периодов в этих моделях. Для лейкозов причиной расхождений в коэффициентах LAR, рассчитанных по разным моделям, является структура моделей, так как DDREF для лейкозов не используется.

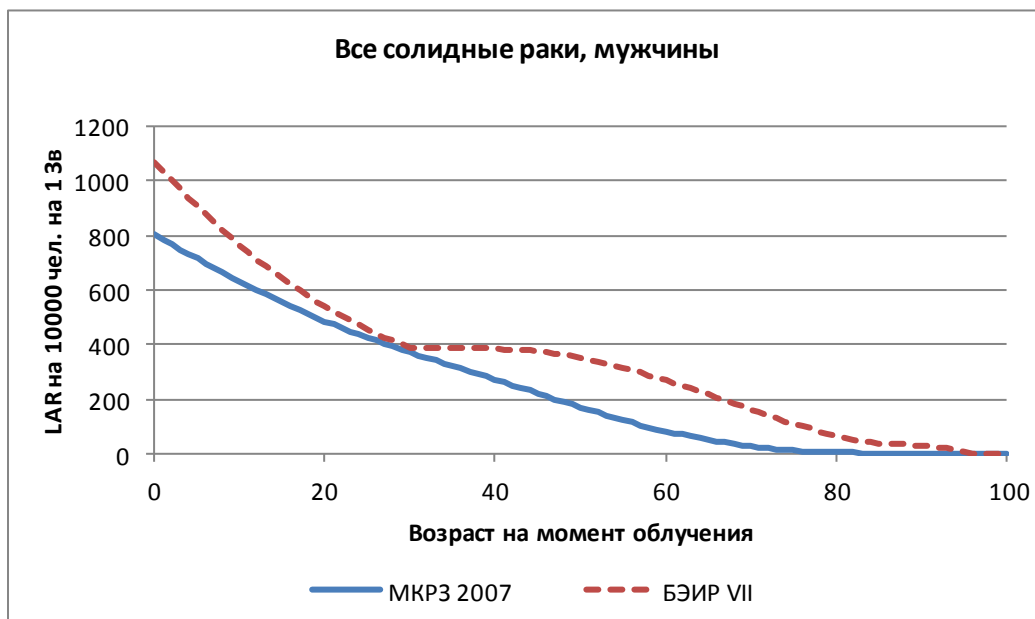


Рис. 1. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками, на 10 тыс. человек, на 1 Зв, при однократном облучении в дозах менее 0,1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции мужчин 2008 г., в зависимости от возраста на момент облучения (возраст в годах).

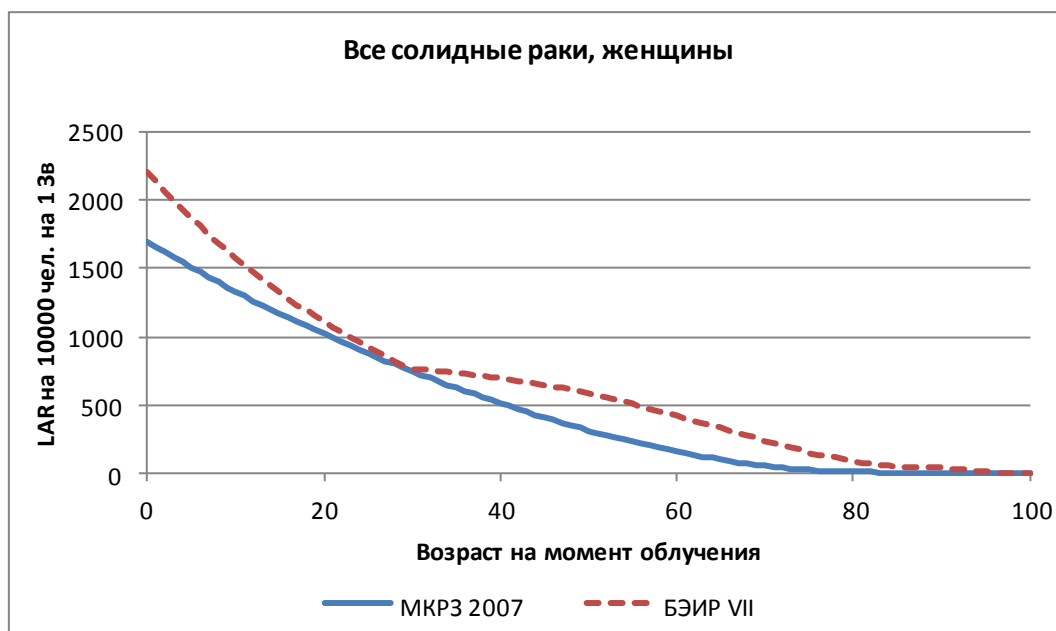


Рис. 2. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками, на 10 тыс. человек, на 1 Зв, при однократном облучении в дозах менее 0,1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции женщин 2008 г., в зависимости от возраста на момент облучения (возраст в годах).

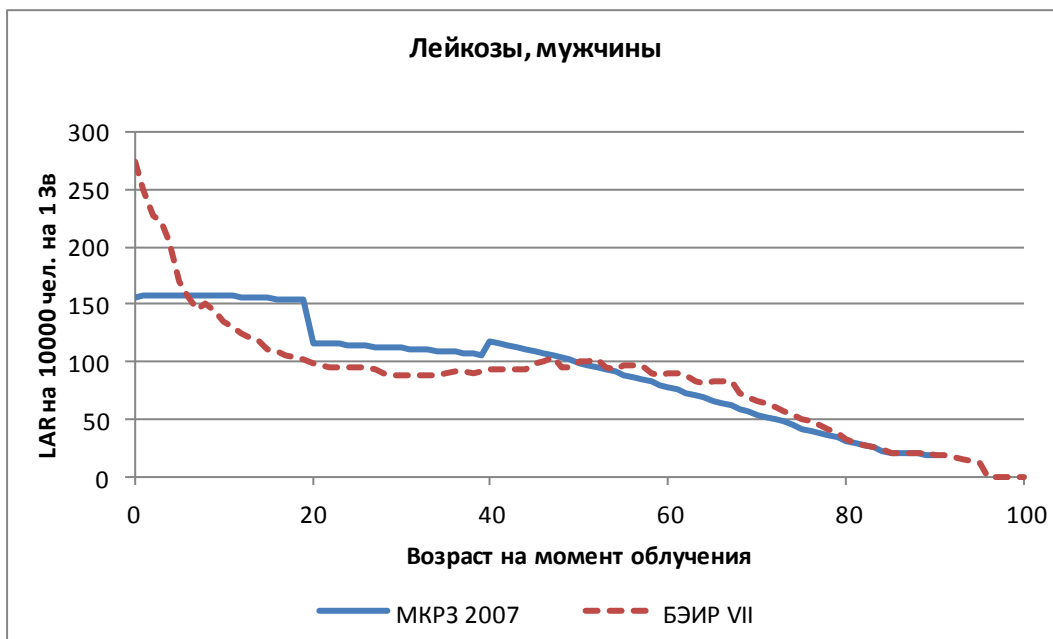


Рис. 3. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости лейкозами, на 10 тыс. человек, на 1 Зв, при однократном облучении в дозах менее 0,1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции мужчин 2008 г., в зависимости от возраста на момент облучения (возраст в годах).

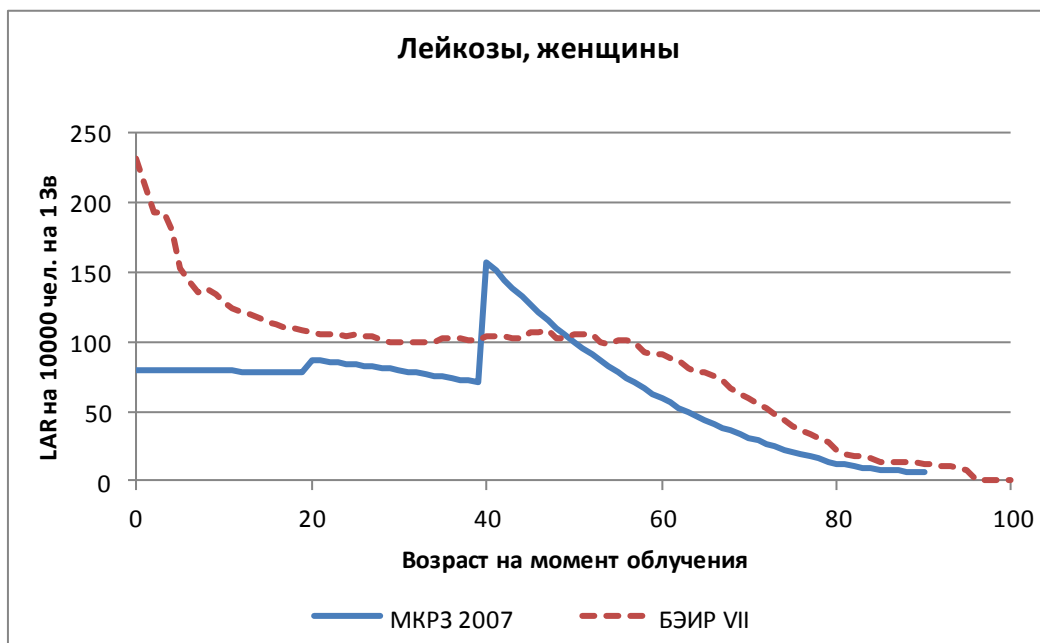


Рис. 4. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости лейкозами, на 10 тыс. человек, на 1 Зв, при однократном облучении в дозах менее 0,1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции женщин 2008 г., в зависимости от возраста на момент облучения (возраст в годах).

Сравнение коэффициентов пожизненных атрибутивных радиационных рисков, рассчитанных по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции при пролонгированном облучении

При пролонгированном облучении в течение нескольких лет, начиная с возраста g , EAR в достигнутом возрасте t ($t > g$) вычисляется как сумма EAR от облучения в разные годы:

$$EAR(g, t, l, s\{d\}) = \begin{cases} \sum_{a=g}^{\min(t-T_{LS}, a_{max})} EAR^{inc}(a, g, t, l, s, d_a), & \text{если } t \geq g + T_{LS} \\ 0, & \text{если } t < g + T_{LS} \end{cases}, \quad (11)$$

где EAR – избыточный абсолютный риск, g – возраст начала облучения, a – текущий возраст при облучении, T_{LS} – латентный период, t – достигнутый возраст, l – локализация опухоли, s – пол облученного лица, d_a – годовая доза облучения в возрасте a , $a_{max} \leq t$ – возраст окончания облучения, $\{d\}$ – набор доз облучения d_a от возраста g до возраста a_{max} ($g \leq a \leq a_{max}$).

Аналогично формулам (9) и (10) для однократного облучения, зная избыточный абсолютный риск, можно оценить пожизненный риск (LAR) возникновения рака локализации l после пролонгированного облучения:

$$LAR(g, l, s, \{d\}) = \frac{1}{DDREF} \cdot \sum_{a=g+T_{LS}}^{T_{max}} EARS(g, a, l, s, d). \quad (12)$$

На рис. 5-8 представлены коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) после пролонгированного облучения в зависимости от возраста на начало облучения (рис. 5 и 6 – для солидных раков по мужчинам и женщинам соответственно, а рис. 7 и 8 – для лейкозов по мужчинам и женщинам соответственно). При этом возраст окончания облучения – 85 лет, а суммарная доза – 1 Зв.

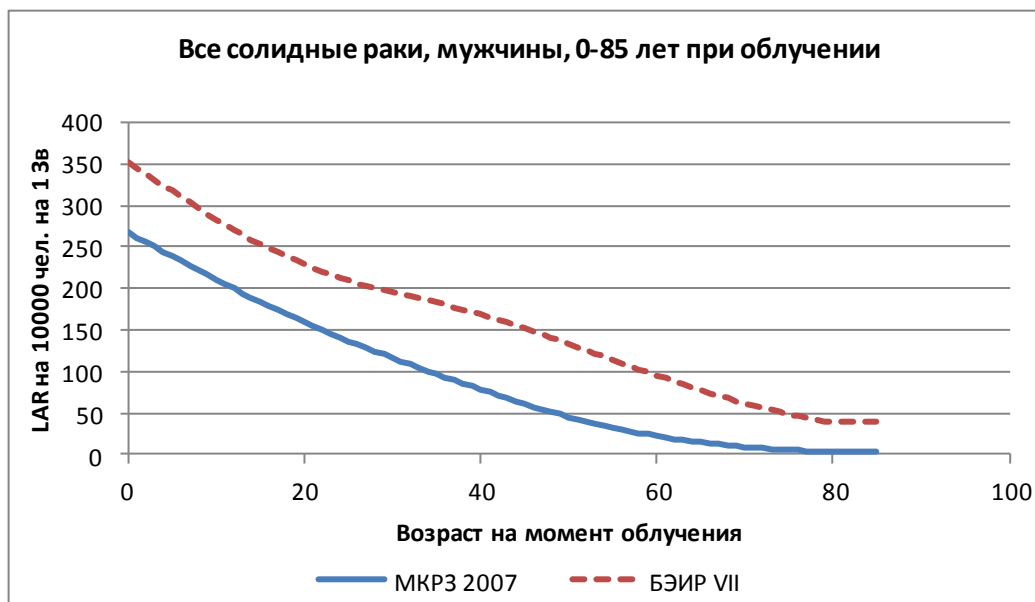


Рис. 5. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками, на 10 тыс. человек, при равномерном пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции мужчин 2008 г., в зависимости от возраста на начало облучения (возраст в годах).

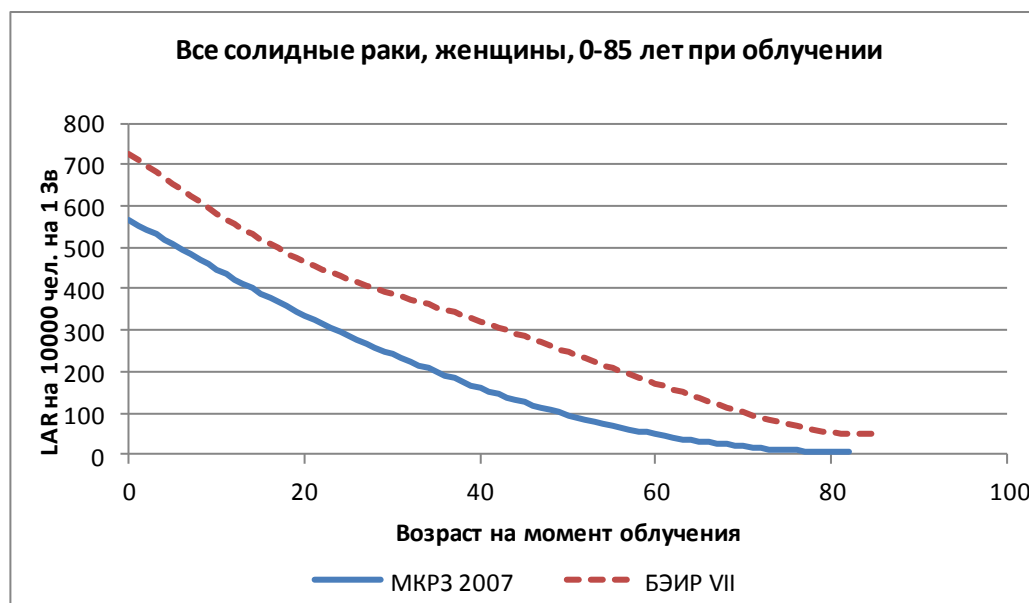


Рис. 6. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками, на 10 тыс. человек, при равномерном пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции женщин 2008 г., в зависимости от возраста на начало облучения (возраст в годах).

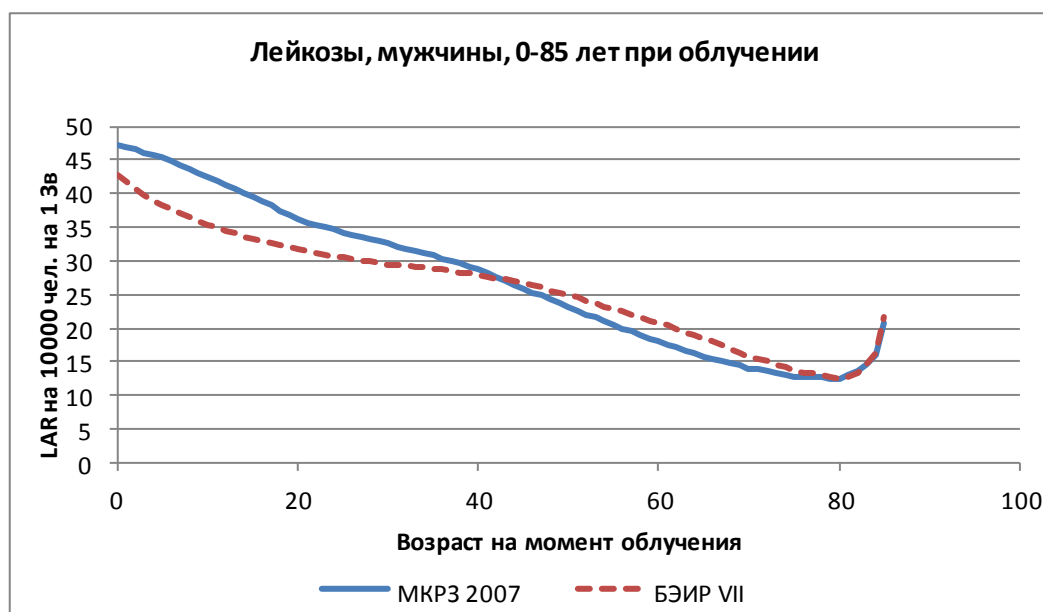


Рис. 7. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости лейкозами, на 10 тыс. человек, при равномерном пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции мужчин 2008 г., в зависимости от возраста на начало облучения (возраст в годах).

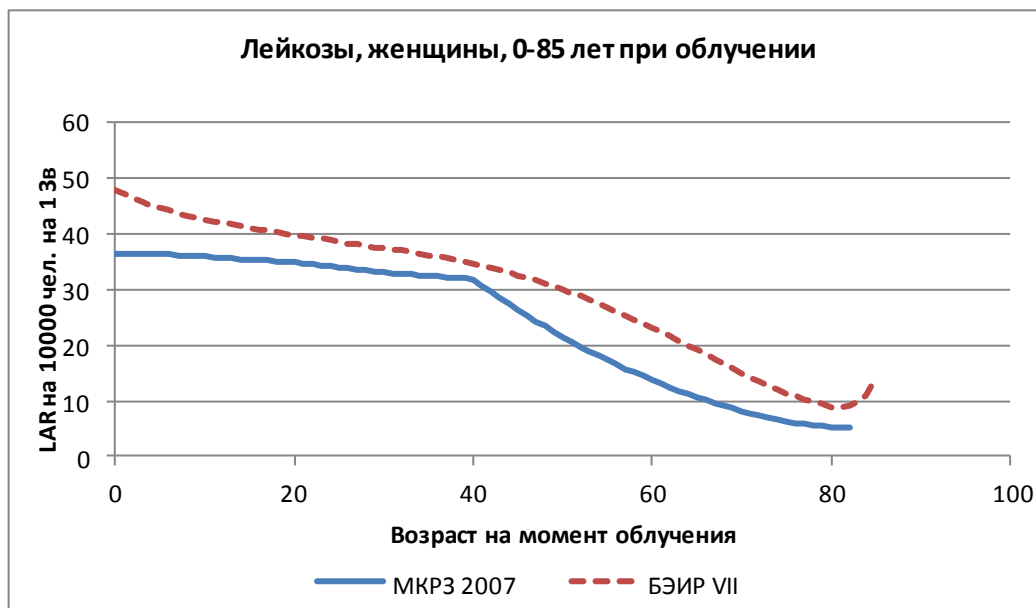


Рис. 8. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (*LAR*) заболеваемости лейкозами, на 10 тыс. человек, при равномерном пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII для российской популяции женщин 2008 г., в зависимости от возраста на начало облучения (возраст в годах).

Для солидных раков и лейкозов коэффициенты *LAR*, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII, в средних возрастах на начало облучения (20-60 лет) различаются до двух раз, как и при однократном облучении.

Зная пожизненный атрибутивный риск, можно определить пожизненную атрибутивную долю радиации (*LARF* – lifetime attributable risk fraction). Эта величина показывает долю (или %) радиационно обусловленной заболеваемости раком в течение всей оставшейся жизни после многократного облучения. Формулы для вычисления *LARF* для рака заданной локализации *I* выглядят так:

$$LARF(g, I, s, \{d\}) = \frac{LAR(g, I, s, \{d\})}{LAR(g, I, s, \{d\}) + LBR(g, I, s)} \cdot 100\%. \tag{13}$$

Здесь *LBR* – величина пожизненного фонового риска заболеваемости раком различных локализаций, рассчитанного от возраста начала облучения *g*. Эта величина показывает ожидаемое число раковых заболеваний, которые могут произойти в течение всей оставшейся жизни у группы лиц одного пола (*s*) и возраста (*g*), начиная с возраста *g*, в случае отсутствия облучения этой группы. Этот риск вычисляется по следующей формуле:

$$LBR(g, I, s) = 10^{-5} \cdot \sum_{a=e}^{a_{max}} \lambda_0^{inc}(a, I, s) \cdot S^{inc}(g, a, I, s). \tag{14}$$

Несмотря на то, что коэффициенты риска *LAR* для лейкозов по всем моделям почти в 10 раз меньше, чем для солидных раков, пожизненная атрибутивная доля радиации *LARF* для заболеваемости лейкозами значительно превышает таковую для солидных раков. В возрастах при облучении до 70 лет *LARF* для лейкозов на 30-40% превышает *LARF* для солидных раков;

для старших возрастов разница достигает 60-70% (рис. 9 – мужчины и рис. 10 – женщины). В среднем, **LARF** для лейкозов в 5 раз превышает **LARF** для солидных раков.

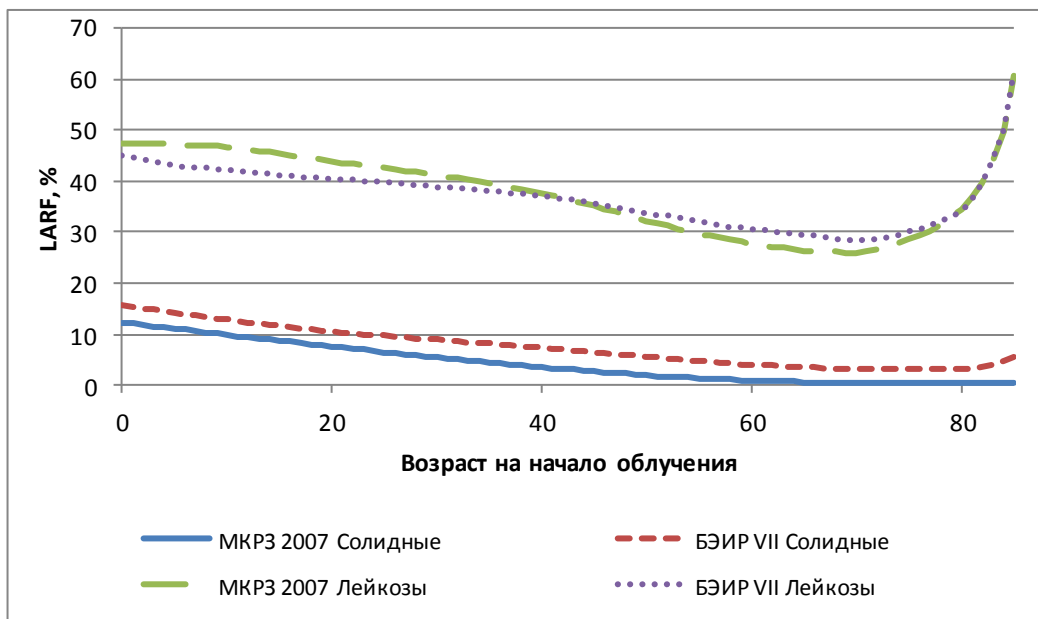


Рис. 9. Пожизненные атрибутивные доли радиации (LARF) в заболеваемости лейкозами и в заболеваемости солидными раками, при равномерном пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII, для российской популяции мужчин за 2008 г., в зависимости от возраста на начало облучения (возраст в годах).

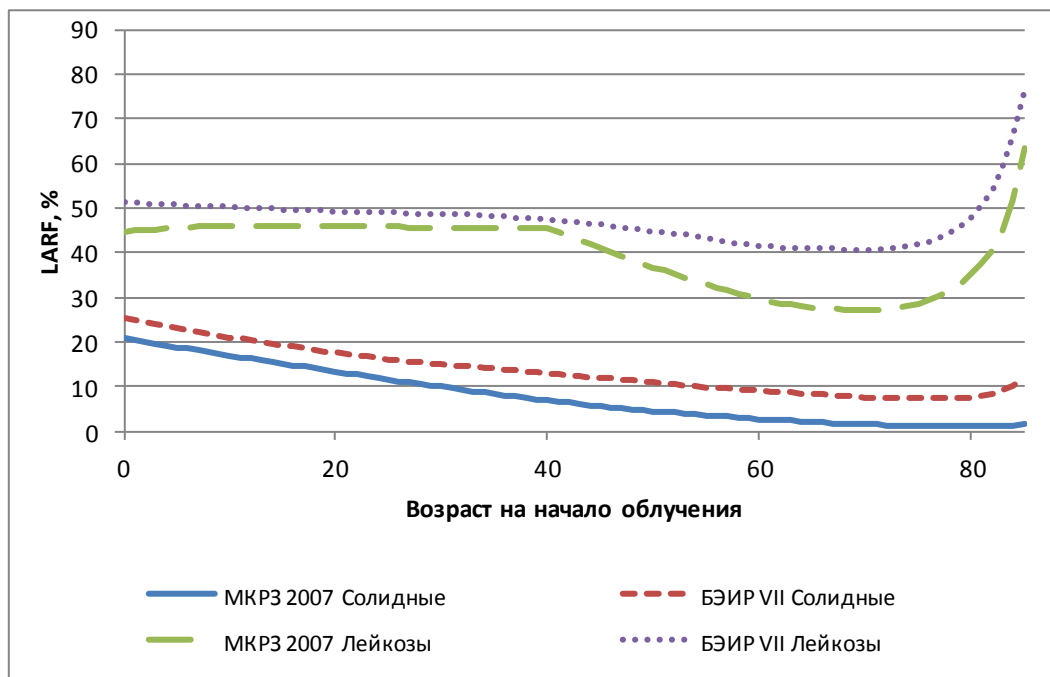


Рис. 10. Пожизненные атрибутивные доли радиации (LARF) в заболеваемости лейкозами и в заболеваемости солидными раками, при равномерном пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII, для российской популяции женщин за 2008 г., в зависимости от возраста на начало облучения (возраст в годах).

Влияние демографических характеристик на коэффициенты пожизненных атрибутивных радиационных рисков при пролонгированном облучении населения

Расчёт проведён на примере населения Красноярского края. Медико-демографические характеристики населения Красноярского отличаются от населения России в целом. Состав популяции и показатели смертности для населения этого региона были взяты по данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю за 2009 год [3].

Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками и лейкозами, на 1 Зв, при пролонгированном облучении, рассчитанные по моделям МКРЗ и БЭИР VII, для популяции Красноярского края – 2009 г. и для российской популяции – 2008 г., различаются не более чем на 3% (рис. 10).

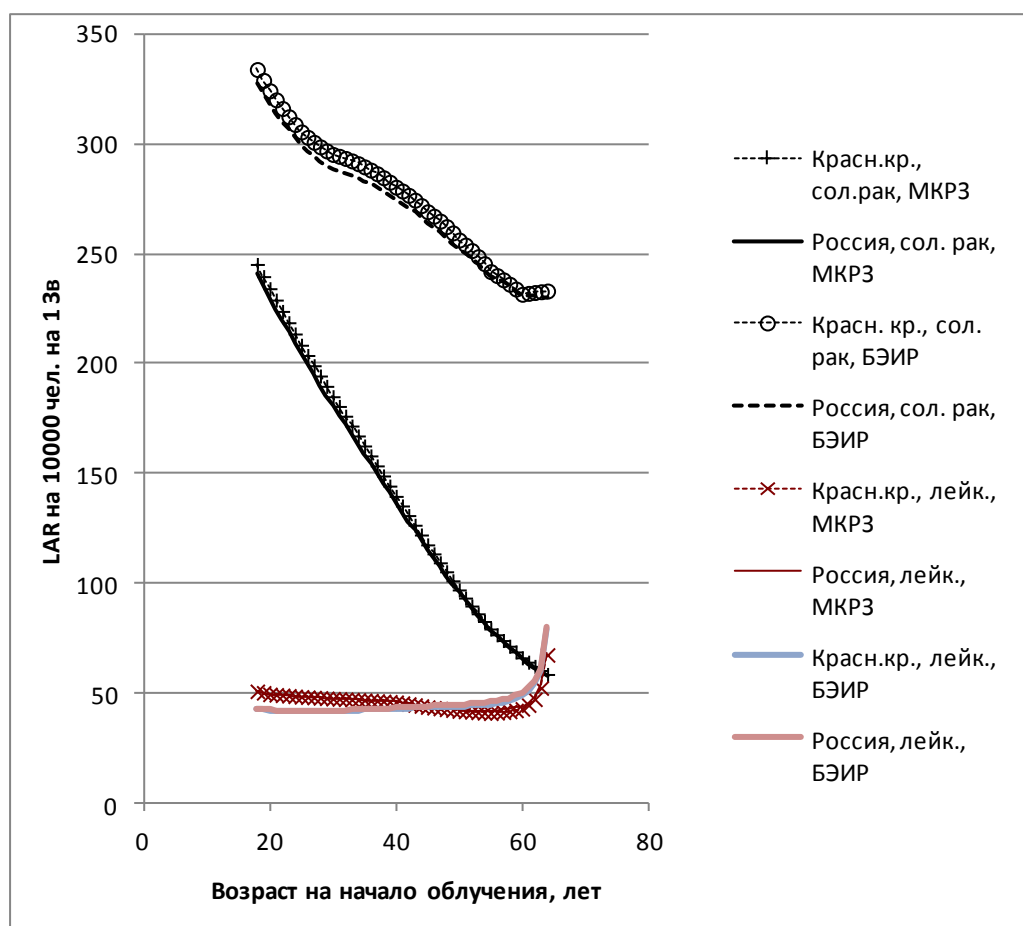


Рис. 10. Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками и лейкозами при пролонгированном облучении в суммарной дозе 1 Зв, рассчитанные по моделям МКРЗ 2007 и БЭИР VII, для населения Красноярского края (данные 2009 г.) и для населения России (данные 2008 г.), в зависимости от возраста на начало облучения.

Заключение

- Впервые для российских когорт, с применением современных моделей радиационных рисков МКРЗ 2007 [10] и БЭИР VII [5], вычислены коэффициенты радиационных рисков при однократном облучении и при профессиональном пролонгированном облучении, в зависимости от возраста на начало облучения.
- Коэффициенты радиационных рисков меняются в зависимости от возраста на начало облучения; в частности, при изменении возраста на начало облучения от 20-ти до 60-ти лет коэффициенты рисков уменьшаются приблизительно в 4 раза по моделям МКРЗ 2007 и в 1,5 раза по моделям БЭИР VII.
- Для российских когорт коэффициенты радиационных рисков, вычисленные по моделям МКРЗ 2007 [10], в среднем в 2 раза меньше коэффициентов, вычисленных по моделям БЭИР VII [5].
- Коэффициенты пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости солидными раками и лейкозами для популяции Красноярского края и для российской популяции различаются не более чем на 3%, что по порядку величины соответствует различиям в показателях заболеваемости и общей смертности между этими двумя популяциями.
- Несмотря на то, что коэффициенты атрибутивного пожизненного риска (LAR) для лейкозов по всем моделям почти в 10 раз меньше, чем для солидных раков, пожизненная атрибутивная доля радиации (LARF, %) в заболеваемости лейкозами в среднем в 5 раз превышает LARF для солидных раков.

Таким образом, выбор модели вносит основную неопределенность в расчёт коэффициентов радиационных рисков (до 200%). Поэтому для расчёта российских национальных коэффициентов радиационных рисков, модели радиационных рисков должны быть идентифицированы с использованием радиационно-эпидемиологических данных по российским же популяциям и когортам.

Литература

1. Злокачественные новообразования в России в 2008 году (заболеваемость и смертность) /под ред. В.И.Чиссова, В.В.Старинского, Г.В.Петровой. М.: ФГУ «МНИОИ им. П.А. Герцена», 2010. 256 с.
2. Оценка радиационного риска у населения за счёт длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах: метод. указания МУ 2.1.10.3014 – 12. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2012. 26 с.
3. <http://www.krasstat.gks.ru>.
4. **Mabuchi K., Soda M., Ron E. et al.** Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part I: Use of tumor registries in Hiroshima and Nagasaki for incidence studies //Radiat. Res. 1994. V. 137 (Suppl.). P. 1-16.
5. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR VII PHASE 2), Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. Washington, DC: Natl Acad. Press, 2006.
6. **Pierce D.A., Shimizu Y., Preston D.L. et al.** Studies mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part I. Cancer: 1950-1990 //Radiat. Res. 1996. V. 146 (Suppl.). P. 1-27.
7. **Preston D.L., Kusumi S., Tomonaga M. et al.** Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987 //Radiat. Res. 1994. V. 137 (Suppl.). P. 68-97.
8. **Preston D.L., Ron E., Tokuoka S. et al.** Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998 //Radiat. Res. 2007. V. 168. P. 1-64.
9. **Ron E., Preston D.L., Mabuchi K. et al.** Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part IV: Comparison of cancer incidence and mortality //Radiat. Res. 1994. V. 137 (Suppl.). P. 98-112.
10. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 //Annals of the ICRP. 2007. V. 37, N 2-4. Elsevier, 2007.
11. **Thompson D.E., Mabuchi K., Ron E. et al.** Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-1987 //Radiat. Res. 1994. V. 137 (Suppl.). P. 17-67.

Radiation risks coefficients for Russian population following single or prolonged exposure to radiation

Chekin S.Yu., Menyaylo A.N., Kashcheev V.V., Maksoutov M.A.

Medical Radiological Research Center of the Russian Ministry of Health, Obninsk

First calculated radiation risks coefficients following single or prolonged exposure of Russian cohorts to radiation are reported in the article. For calculation state-of-the-art models of ICRP 2007 and BEIR VII were used. The coefficients were related to the age at the first exposure; if it varies from 20 to 60 years the coefficient values calculated with ICRP 2007 and BEIR VII models are reduced by about 4 and 1.5 times respectively. Coefficients of radiation risks estimated with ICRP model are twofold lower on average than coefficients estimated with BEIR VII model. The difference between risk coefficients of solid cancers and leukemias for the population of the Krasnoyarsk region and the whole Russia differ by no more than 3%, this value corresponds to the difference between incidence and general mortality rates in these cohorts. Selection of a model introduces a basic uncertainty in estimate of radiation risk (up to 200%). For this reason models for assessing Russian national radiation risks coefficients must be identified with the use of radiation epidemiological data of Russian populations and cohorts.

Key words: *radiation risk, attributable fraction, coefficient of radiation risk, single exposure to radiation, prolonged exposure to radiation.*

Chekin S.Yu.* – Senior Researcher; **Menyaylo A.N.** – Research Assistant, C. Sc., Biol.; **Kashcheev V.V.** – Senior Researcher, C. Sc., Biol.; **Maksoutov M.A.** – Head of Lab., C. Sc., Tech. MRRC.

*Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: (48439) 9-30-79; e-mail: nrer@obninsk.com.