

## Предложения по включению в НРБ–2019 раздела по радиогенному риску

А.Т. Губин, В.А. Сакович

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены  
Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

*В статье проводится анализ использования понятий и величин, применяемых в НРБ-99/2009 и ряде методических документов по оценке рисков, связанных с облучением. Сделан вывод, что в НРБ-99/2009 нарушена логика в изложении данного вопроса. Она может быть восстановлена, если ввести в разрабатываемые НРБ-2019 специальный раздел с более подробным освещением терминологических и методических аспектов оценки таких рисков. Проект раздела приложен к данной статье. В нём введён ряд новых терминов (радиогенный риск, номинальный радиогенный риск, радиогенный риск смерти от рака и радиогенный риск заболевания раком и ряд других) с чёткой трактовкой их смысла и предназначения, а также области применения соответствующих им величин. В проекте предложено заменить термин «обобщённый риск» на термин «радиационный риск», что более соответствует его смыслу. Приведены также конкретные формулы для расчёта радиогенного риска. Из-за громоздкости они могут быть вынесены в приложение к НРБ-2019 или в методические указания, подготовленные в развитие положений НРБ-2019.*

**Ключевые слова:** радиационный риск, радиогенный риск, интенсивность заболеваемости раком, интенсивность смертности от рака, Нормы радиационной безопасности.

### Введение

В 2019 г. завершается срок действия отечественных Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009)<sup>1</sup>. Соответственно, проводится работа по совершенствованию этого важнейшего для радиационной безопасности отечественного документа [1]. К вопросам совершенствования, на наш взгляд, следует отнести и чёткое определение в НРБ понятий и алгоритмов использования величин, характеризующих риски в радиационной безопасности, включая моделирование связанных с облучением рисков заболеть солидным раком и рисков умереть от солидного рака. В данной статье проводится обоснование включения в НРБ-2019 специального раздела на эту тему и приложен проект такого раздела.

Критическое отношение к использованию понятия «радиационный риск» в НРБ-99<sup>2</sup> было высказано нами почти сразу после их утверждения [2]. Некоторые нелогичности и внутренние противоречия сохранились и в НРБ-99/2009. Однако с точки зрения нормирования это почти не имеет значения, т.к. и этой версией НРБ не предусмотрено практическое применение содержащихся в ней значений коэффициентов риска, индивидуального пожизненного риска, граничных значений обобщенного риска, уровня пренебрежимо малого риска.

Так, в НРБ-99/2009 (п. 2.3) дана таблица без наименования (и без номера), в которой, как указано, приведены линейные коэффициенты радиационного риска, связывающие риск стохастических эффектов с дозой. Эта табли-

<sup>1</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с. [Norms of radiation safety (NRB99/2009). Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-99. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rosmotrebnadzor, 2009, 100 p.]

<sup>2</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы. СП 2.6.1.758-99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. 116 с. [Norms of radiation safety (NRB-99). Hygienic norms. SP 2.6.1.758-99. Moscow, Center of sanitary-hygienic norming, hygienic certification and expertize of Ministry of Healthcare of Russia, 1999, 116 p.]

**Губин Анатолий Тимофеевич**

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

**Адрес для переписки:** 123182, Россия, Москва, ул. Щукинская, д. 40; E-mail: atgubin@rambler.ru

ца повторяет таблицу 1 в Публикации МКРЗ 2007 г. [3], где содержатся «скорректированные на ущерб коэффициенты номинального риска для стохастических эффектов...». В НРБ-99/2009 смысл этих коэффициентов не прояснён, в то время как определение «номинальный» здесь является принципиально важным. В Публикации МКРЗ [3] разъяснению его смысла посвящён специальный подраздел 3.2.3 (не будем его пересказывать). Завершается он так: «... Комиссия рекомендует, чтобы аппроксимированный суммарный коэффициент риска смерти  $5\% \text{Зв}^{-1}$ , служащий основой для современных международных норм безопасности, по-прежнему использовался для целей радиационной защиты» (п. (87)).

В НРБ-99/2009 эта рекомендация как бы реализована, поскольку указано: «Усредненная величина коэффициента риска, используемая для установления пределов доз персонала и населения, принята равной  $0,05 \text{Зв}^{-1}$ ». В действительности же пределы доз были установлены ранее федеральным законом<sup>3</sup>, и правильнее было бы написать, что «если использовать указанное значение коэффициента номинального риска, то пределу доз для работников (персонала) при длительности трудовой деятельности 50 лет соответствует пожизненный номинальный радиационный риск, равный  $5\%$ »<sup>4</sup>.

Более того, без разъяснений методологии обоснования коэффициентов номинального риска, чему в Публикации МКРЗ, в отличие от НРБ-99/2009, уделено много внимания, размещение в них упомянутой выше таблицы почти бесполезно. Мало практического смысла и в установленных в НРБ-99/2009 граничных значениях годового обобщённого риска, т.к. для этого требуются модели вероятности и размера событий, приводящих к облучению (таковые стандартизованы только для протонных солнечных событий при космических полётах за пределами магнитосферы Земли<sup>5</sup>). Как минимум необходимо хотя бы в общих чертах указать способ оценки такого риска.

Определение значений риска предусмотрено «Порядком разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий»<sup>6</sup>, который установлен ещё в 1997 г. и позднее конкретизирован для терри-

торий и групп населения, подверженных повышенным уровням воздействия ионизирующих излучений, межведомственным приказом<sup>7</sup>. Этот приказ в п. 3.28 предписывает указывать в п. 8 радиационно-гигиенического паспорта индивидуальный и коллективный риск стохастических последствий для персонала организации и лиц из населения, проживающего в зоне наблюдения, рассчитывая его с использованием коэффициентов  $0,056 \text{Зв}^{-1}$  и  $0,073 \text{Зв}^{-1}$  соответственно. С действующими НРБ эти значения явно не согласуются, и неизвестно, какой риск имеется в виду, т.е. риск смерти, заболевания или номинальный. При этом очевидно, что умножение дозы на постоянный коэффициент не даёт дополнительной информации о радиационной безопасности организаций и территорий, что ожидается от радиационно-гигиенических паспортов.

Другое дело, если учитывать фактическую, имеющую место зависимость пожизненного риска от возраста облучения, которая обусловлена как зависимостью от возраста облучения радиогенной интенсивности заболеваемости (ИЗ) раком и радиогенной интенсивности смертности (ИС) от рака, так и уменьшением функции дожития с возрастом для конкретного контингента населения. Публикация моделей ИС от рака в Докладе НКДАР ООН 1994 г. [4], которые основаны на данных для японской когорты (далее – LSS), дала основание разработать компьютерную программу АРМИР для расчёта индивидуального пожизненного риска с учётом режима облучения индивида во времени (в течение периода профессиональной деятельности) [5]. В 2009 г. в системе Госкорпорации «Росатом» была утверждена «Форма ведомственного статистического наблюдения 10-РТБ-5 [6], в которой для расчёта радиационного риска рекомендовано использовать информационно-аналитическую систему на основе АРМИР. Однако легитимность такой системы может вызывать сомнения, поскольку она основана на фактически произвольном выборе моделей риска.

С использованием моделей, предложенных в Докладе НКДАР ООН 2006 г. [7], были разработаны и утверждены в 2012 г. Методические указания<sup>8</sup>, предназначенные «для

<sup>3</sup> Федеральный закон от 9 января 1996 г. №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 3, ст. 141. [Federal Law №3-FZ, 09.01.1996 "On the radiation safety of the public". Compendium of the legislative acts of the Russian Federation, 1996, №3, chapter 141]

<sup>4</sup> В этом случае пределу годовой дозы для населения при принятой в законе средней продолжительности жизни 70 лет соответствует существенно меньший пожизненный риск – только  $0,35\%$ . [In that case annual dose limit for the public considering the average lifespan of 70 years corresponds to significantly lower lifetime attributable risk –  $0,35\%$ .]

<sup>5</sup> ГОСТ 25645.134-86 БРЭКАКП. Лучи космические солнечные. Модель потоков протонов. М. Госстандарт СССР, 1986. [GOST 25645.134-86. Solar cosmic rays. Model of the proton fluence. M. Gosstandart of the USSR, 1986.]

<sup>6</sup> Порядок разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 28 января 1997 года № 93). [Procedures of the development of the radiation-hygienic passports of facilities and territories (approved by the decree of the Government of the Russian Federation №93, 28.01.1997)].

<sup>7</sup> Приказ Минздрава России, Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности, Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 21.06.99 № 239/66/288. [Order of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Federal service of surveillance of the Russian Federation on the nuclear and radiation safety, Governmental committee on the protection of the environment, 21.06.99 № 239/66/288.]

<sup>8</sup> Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах. Методические указания. МУ 2.1.10. 3014–12. М.: ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора, 2011. 26 с. [Assessment of the radiation risk to the public from the long-term uniform man-made exposure in low doses. Methodical guidelines. MU-2.1.10. 3014 – 12. Moscow, FBUZ "Federal center of hygiene and epidemiology" of Rospotrebnadzor, 2011, 26 p.]

организаций и специалистов, участвующих в анализе данных СГМ, характеризующих влияние радиационного воздействия на здоровье населения». Цель их разработки состояла в установлении единообразия оценок риска возникновения злокачественных новообразований среди населения для использования в СГМ при сравнительной оценке рисков и выявлении причин повышенной заболеваемости в условиях одновременного воздействия различных вредных факторов.

В отечественных и международных документах встречается различное толкование термина «радиационный риск». В НРБ-99/2009 радиационный риск определён как «вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения», и в принципе термин применим как для стохастических, так и для детерминированных эффектов. Там же в п. 2.3 использовано понятие «обобщённый риск», определённое как произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением. С целью описания отдалённых неспецифических последствий для здоровья, обусловленных перенесённым облучением, мы считаем предпочтительным использование термина «радиогенный риск», а вместо термина «обобщённый риск» – термина «радиационный риск», что более согласуется с принятой МАГАТЭ терминологией по вопросам безопасности.

Имеется целый ряд других практически важных задач, для решения которых необходимо располагать легитимными моделями и методом оценки рисков возникновения отдалённых последствий с учетом возраста при облучении и достигнутого возраста. Это прежде всего оценка рисков для разных групп лиц, проживающих на территориях радиоактивного загрязнения, и при планировании повышенного облучения лиц из персонала для действий в условиях предотвращения или ликвидации последствий радиационных аварий. Представляет также значительный интерес оценка риска при установлении причинно-следственной связи онкологических заболеваний с перенесёнными облучениями и при обосновании выбора контингентов для профилактики возникновения радиационно-индуцированных заболеваний. Вопрос легитимности моделей и методов оценки рисков в этом случае приобретает особое значение. Очевидно, что без использования понятий радиационного риска и радиогенного риска и методов оценки таких рисков невозможно страхование соответствующих видов деятельности и организаций.

Как известно, при обосновании значений коэффициента номинального риска и тканевых взвешивающих коэффициентов<sup>9</sup> МКРЗ в своих Рекомендациях 2007 г. [3] опиралась прежде всего на данные LSS о заболеваемости раком и данные о смертности от рака за период за период с 1958 г. по 1998 г. Алгоритм обоснования, который в Рекомендациях МКРЗ изложен словесно, был преобразован нами в математический алгоритм [8], из которого следует, что рекомендованные значения названных коэффициентов пригодны только в случае равномерного во времени (или близкого к нему) облучения. Там же, на при-

мере моделей радиогенной ИС, представленных МКРЗ [3] и НКДАР ООН [7], показано, что при рекомендованном для персонала значении коэффициента номинального риска пожизненный риск от кратковременного облучения в начале периода трудовой деятельности занижается в 1,5 раза, а в конце этого периода завывается примерно в 2 раза.

Продолжение анализа методологии МКРЗ по обоснованию значений названных коэффициентов и моделей позволило выявить ряд противоречий в моделях МКРЗ для ИЗ раком и ИС от рака [9, 10] и послужило причиной разработки квазибиологической модели (КБМ) [11, 12] и метода глобальной подгонки для расчёта значений параметров моделей МКРЗ по данным LSS [13]. Применение указанного метода к данным о смертности от солидных раков в когорте LSS привело к иному, чем приняты МКРЗ, значениям параметров, причём не одинаковым для мужчин и женщин. В работе [14], выполненной с использованием расширенных данных о заболеваемости солидными раками в когорте [15] подобная разница продемонстрирована и для моделей заболеваемости. Результаты расчётов параметров моделей МКРЗ и КБМ методом глобальной подгонки (готовятся к публикации) по этим данным подтвердили наличие существенных гендерных различий в значениях параметров для каждой модели как для заболеваемости солидными раками в целом, так и конкретно для заболеваемости раками системы пищеварения.

В методологическом плане сохраняет актуальность вопрос выбора показателя радиационной безопасности, а именно: когда и как в качестве показателя риска должны использоваться номинальный риск, риск заболевания раком или риск смерти от рака? Очевидно, что выбор должен осуществляться исходя из характера решаемой задачи. При разработке Рекомендаций 2007 г. МКРЗ взяла за основу расчётные риски заболеть разными раками, перейдя от них сначала к рискам смерти, а затем к номинальным рискам путём введения поправок на тяжесть заболевания, потерю лет жизни и нелетальные раки. МКРЗ сохранила значение коэффициента  $0,05 \text{ Зв}^{-1}$  (см. цитату п. 3.2.3, приведённую выше) благодаря переоценке вклада наследственных эффектов в сторону уменьшения. Для системы регулирования радиационной безопасности такие сочетания изменений являются благоприятным обстоятельством, т.к. позволяют сохранять неизменной всю систему. Но для сравнения с рисками в других видах деятельности такие новации нелогичны. Так что риск смерти должен сохранять свою прежнюю значимость наряду с номинальным риском.

Можно согласиться с аргументами МКРЗ в пользу выбора данных о заболеваемости раком в качестве основы для определения радиогенных рисков [3], но их нельзя считать безупречными. Так, совершенствование с годами диагностики рака изменяет статистику заболеваний раком, а прогресс в лечении рака приводит к снижению летальности и увеличению времени дожития. Означает ли это, что должна изменяться оценка радиогенного риска? Очевидно, что риск заболеть раком имеет самостоятельное значение, наряду с номинальным риском и риском смерти.

<sup>9</sup> Мы используем здесь термин, более соответствующий оригиналу Рекомендаций [We propose to use term that is more appropriate to the original of Recommendations]

Что касается методических вопросов проведения оценок риска, то мы постоянно уделяли им внимание в своих публикациях [8, 13, 16, 17], на основе которых были разработаны и утверждены Методические рекомендации<sup>10</sup>. Центральное внимание в них уделено алгоритмическому определению понятий, используемых при оценках радиогенного риска. При этом было учтено, что такие определения были включены в Доклад НКДАР 2006 г.

Текущая стадия анализа названных данных по когорте LSS пока не позволяет рекомендовать конкретные уточнённые модели ИЗ и ИС от рака. Однако, признавая общественную потребность в них и необходимость исследований в этом направлении, считаем целесообразным ввести в проект НРБ-2019 раздел «Показатели радиационного риска и вреда здоровью», включив в него понятия моделей ИЗ раком и ИС от рака без облучения и после облучения как научную основу оценок вреда для здоровья, причиняемого ионизирующим излучением. На наш взгляд, наличие такого раздела (проект представлен в приложении) позволило бы легитимно, с единых позиций разрабатывать методические документы по оценке радиогенных рисков, как при анализе эпидемиологических данных, так и при прогнозировании опасности.

### Литература

1. Заключение международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы радиационной гигиены». 23-24 октября 2018 г., Санкт-Петербург, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева».
2. Губин, А.Т. Непредставимые фигуры / А.Т. Губин, В.А. Сакович // Атомная энергия. – 2000. – Т. 88, вып. 3. – С. 233-236.
3. Публикация 103 Международной Комиссии по Радиационной защите (МКРЗ) / под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
4. Source and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. UN, New York, 1994.
5. Иванов, В.К. Оптимизация радиационной защиты: «Дозовая матрица» / В.К. Иванов, А.Ф. Цыб, А.П. Панфилов, А.М. Агапов. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2006. – 304 с.
6. Форма ведомственного (ГК «Росатом») статистического наблюдения 10-РТБ-5 «Сведения о состоянии радиационной и токсической безопасности в организации». Введена в действие Приказом № 1/352-П от 18.10.2010 г.
7. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer. UN, New York, 2008.
8. Губин, А.Т. Методические проблемы практических оценок радиогенного риска / А.Т. Губин, В.А. Сакович // Радиационная гигиена, 2014. – Т. 7, №1. – С. 16-22.
9. 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. – С. 48-60.
10. Губин, А.Т. Анализ обобщённых моделей радиогенного риска. Часть 2. Модели НКДАР ООН / А.Т. Губин, В.А. Сакович // Радиация и риск. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 61-79.
11. Губин, А.Т. Квазибиологическая модель радиогенной заболеваемости раком / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 23-31.
12. Губин, А.Т. Дополнение квазибиологической модели радиогенной заболеваемости раком / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т.10, № 4. – С. 53-56.
13. Губин, А.Т. Метод глобальной подгонки обобщённых моделей радиогенного риска под данные японской когорты / А.Т. Губин // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 56-73.
14. Grant, E.J., Brenner A. Hiromi Sugiyama et al. Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958–2009. Radiat. Res., 2017. Vol.187, pp. 513-537.
15. Сайт Фонда научных исследований радиационных эффектов: <http://www.rerf.or.jp> (дата обращения 25.10.2017).
16. Губин, А.Т. Адаптация к российскому населению моделей радиационного риска, используемых МКРЗ / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 38-47.
17. Губин, А.Т. Демографические особенности российского населения и их значимость для оценок коэффициентов номинального риска / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 26-36.

Поступила: 18.12.2018 г.

**Губин Анатолий Тимофеевич** – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией математического моделирования радиационных и химических воздействий, Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены, Федеральное медико-биологическое агентство. **Адрес для переписки:** 123103, Россия, Москва, ул. Щукинская, д.40; E-mail: atgubin@rambler.ru

**Сакович Вадим Алексеевич** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования радиационных и химических воздействий, Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены, Федеральное медико-биологическое агентство, Москва, Россия

**Для цитирования:** Губин А.Т., Сакович В.А. Предложения по включению в НРБ-2019 раздела по радиогенному риску // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 122-128. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-122-128

<sup>10</sup>Методические основы разработки документов по определению значений радиогенного риска смерти, обусловленного облучением в пределах, установленных для контролируемых условий. Рекомендации Р ФМБА России 21.07–2016. Москва, 2016. Сакович В.А., Губин А.Т. С. 51. [Methodical framework for the development of the documents on the estimation of the values of the radiogenic risk of death due to the exposure in the limits established for the controlled conditions. Recommendations of the FMBA of Russia. 21.07-2016. Moscow, 2016. Sakovich V.A., Gubin A.T., p. 51]

## Proposals for inclusion in NRB-2019 Section on radiogenic risk

Anatoly T. Gubin, Vadim A. Sakovich

Scientific Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

*In this article it made analysis of concepts and values used in NRB-99/2009 and a number of national methodological documents on the assessment of risks associated with irradiation. It is concluded that NRB-99/2009 violates the logic in the presentation of this issue. It can be restored if a special section is introduced in the developed NSB-2019, with more detailed coverage of the terminological and methodological aspects of the assessment of such risks. The draft section is attached to this article. In the draft introduces a number of new terms (radiogenic risk, nominal radiogenic risk, radiogenic risk of death from cancer and radiogenic risk of cancer and a number of others) with a clear interpretation of their meaning and purpose, as well as the sphere application of the relevant values. The draft proposes to replace the term generalized risk with radiation risk, which is more in line with its meaning. Given also specific formulas to calculate the radiogenic risk coefficients for different types of irradiation based on the real demographics data for exposed populations. Because of the cumbersome formulas, they can be given to the Annex of the NRB-2019 or issued in methodical instructions prepared in the elaboration of the provisions of the NRB-2019.*

**Key words:** radiation risk, radiogenic risk, intensity of cancer incidence, the intensity of cancer mortality, radiation safety Standards.

### References

1. Conclusion of the international scientific-practical conference "Actual issues of radiation hygiene". 23-24 October 2018., St-Petersburg. Research institute of Radiation Hygiene after P.V. Ramzaev. (In Russian)
2. Gubin A.T., Sakovich V.A. Unimaginable figures. Atomnaya energiya = Atomic energy, 2000, Vol. 88, issue 3, pp. 233-236. (In Russian)
3. ICRP, 2007. 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2-4). (In Russian)
4. Source and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. UN, New York, 1994.
5. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Panfilov A.P., Agapov A.M. Optimization of the radiation protection: «Dose matrix». Moscow, «Izdatelstvo «Meditsina» = JSC «Medicine Publishing», 2006, 304 p. (In Russian)
6. Form of the departmental (Rosatom) statistical surveillance 10-RTB-5 "Data on the radiation and toxic safety in the facility". Brought into force by the Order № 1/352-P, 18.10.2010. (In Russian)
7. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer. UN, New York, 2008.
8. Gubin A.T., Sakovich V.A. Methodical aspects of the practical radiogenic risk assessment. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2014, Vol. 7, № 1, pp. 16-22. (In Russian)
9. Gubin A.T., Sakovich V.A. Analysis of the generalized models of the radiogenic risk. Part 1. ICRP models. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 2016, Vol. 25, № 4, pp. 48-60. (In Russian)
10. Gubin A.T., Sakovich V.A. Analysis of the generalized models of the radiogenic risk. Part 1. UNSCEAR models. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 2016, Vol. 25, № 4, pp. 61-79. (In Russian)
11. Gubin A.T., Redko V.I., Sakovich V.A. Quasibiological model of the radiogenic cancer morbidity. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, № 4, pp. 23-31. (In Russian)
12. Gubin A.T., Redko V.I., Sakovich V.A. Additions to the quasibiological model of the radiogenic cancer morbidity. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, № 4, pp. 53-56. (In Russian)
13. Gubin A.T. Method of the global approximation of the generalized models of the radiogenic risk to the Japanese cohort data. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, № 3, pp. 56-73. (In Russian)
14. Grant, E.J., Brenner A. Hiromi Sugiyama et al. Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958–2009. Radiat. Res., 2017, Vol. 187, pp. 513-537.
15. Web-site of the Fund of the scientific research of the radiation effects. -Available on: <http://www.rerf.or.jp> (Accessed: 25.10.2017). (In Russian)
16. Gubin A.T., Redko V.I., Sakovich V.A. Adaptation of the ICRP models of the radiation risk to the Russian population. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2014, Vol. 7, № 4, pp. 38-47. (In Russian)
17. Gubin A.T., Redko V.I., Sakovich V.A. Demographic features of the Russian population and their importance for the assessment of the nominal risk coefficients. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2016, Vol. 9, № 4, pp. 26-36. (In Russian)

Received: December 18, 2018

**Anatoly T. Gubin**

Research and technical center of radiation-chemical safety and hygiene of Federal medical biological agency of Russia

**Address for correspondence:** Shchukinskaya str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: atgubin@rambler.ru

**For correspondence: Anatoly 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, Federal medical biological agency of Russia (Shchukinskaya str., 40, Moscow, 123103, Russia; E-mail: atgubin@rambler.ru )

**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, Federal medical biological agency of Russia, Moscow, Russia

**For citation: Gubin A.T., Sakovich V.A. Proposals for inclusion in NRB-2019 Section on radiogenic risk. Radiatsionnaya ghyiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 1, pp.122-128. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-122-128**

## Приложение

### Показатели радиационного риска и вреда здоровью

1. В качестве интегральных показателей радиационной опасности используют две величины: радиационный риск и радиогенный риск. Радиационный риск отражает вероятностную природу случайных событий облучения и процесса формирования неблагоприятных последствий для здоровья у облучённых лиц. Радиогенный риск характеризует только вероятность возникновения таких последствий при заданной дозе облучения. Будучи вероятностными величинами, радиационный риск и радиогенный риск не могут быть непосредственно измерены, возможна только их расчётная оценка.

2. Радиационный риск предназначен преимущественно для обоснования безопасности планируемых потенциально радиационно-опасных видов деятельности и объектов и обоснования защиты от источников ионизирующего излучения, а радиогенный риск – для оценки стохастических эффектов, связанных с воздействием ионизирующего излучения на всё население и отдельные его контингенты в ситуациях существующего и планируемого облучения.

3. В качестве количественных показателей радиационной опасности используют следующие величины:

- номинальный радиогенный риска рака, скорректированный на ущерб;
- номинальный радиогенный риск наследственных эффектов;
- совокупный номинальный радиогенный риск;
- пожизненный радиогенный риска смерти от рака;
- пожизненный радиогенный риск заболевания раком
- годовой радиационный риск<sup>11</sup>;

4. Номинальные радиогенный риск рака, радиогенный риск наследственных эффектов и совокупный радиогенный риск предназначены для применения в практике обеспечения радиационной безопасности в контролируемых условиях. В соответствии с линейной беспороговой концепцией перечисленные риски рассчитывают путём умножения дозы на коэффициенты из таблицы, рассчитанные для условного населения<sup>12</sup>.

5. Существует ряд задач, для решения которых необходимо располагать значениями радиогенных рисков для определённого контингента лиц с известными демографическими характеристиками, находящегося в условиях повышенных радиационных воздействий. Пожизненные радиогенные риски заболеть раком и смерти от рака фор-

Таблица

**Коэффициенты номинальных радиогенных рисков для стохастических эффектов облучения при низкой мощности дозы**

[Table

#### Nominal radiogenic risk coefficients for the stochastic effects of low dose rate exposure ]

Контингент [Cohort]	Коэффициенты номинального радиогенного риска рака, $10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ [Nominal radiogenic cancer risk coefficients]	Коэффициенты номинального радиогенного риска наследственных эффектов, $10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ [Nominal radiogenic hereditary effect risk coefficients]	Коэффициенты совокупного номинального радиогенного риска, $10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ [Coefficients of the total nominal radiogenic risk]
Всё население [Whole population]	5,5	0,2	5,7
Работники [Workers]	4,1	0,1	4,2

<sup>11</sup> В НРБ-99/2009 использован термин «Обобщённый риск». [NRB 99/2009 uses the term “generalized risk”]

<sup>12</sup> Значения определены МКРЗ [4] путём усреднения по полу и возрасту оценок пожизненных рисков заболеть различными солидными раками после острого облучения единичной дозой с поправками на летальность, качество жизни и эффекты дозы и мощности дозы. [Values were obtained by the ICRP by averaging by age and gender assessments of the lifetime risk to get various solid cancers after the acute exposure adjusted by the lethality, quality of life and dose rate].

мируются в течение всей жизни из интенсивности радиогенной (дополнительной) заболеваемости (ИЗ) раком или интенсивности радиогенной (дополнительной) смертности (ИС) от рака соответственно. Значения этих рисков вычисляют, суммируя, начиная с возраста их определения, значения годовых радиогенных ИЗ или ИС с учётом функции дожития до каждого года жизни, характерной для данного контингента. Математический алгоритм вычисления пожизненных рисков приведён в дополнении к данному приложению.

6. Зависимость годовых радиогенных ИЗ и ИС от возраста вычисляют как сумму годовых радиогенных ИЗ и ИС, обусловленных облучением в каждом прошедшем году. Для этого используют эпидемиологические модели зависимости годовых радиогенных ИЗ или ИС от возраста и от времени, прошедшего после кратковременного облучения, которые устанавливают для конкретного контингента отдельным методическим документом.

**Дополнение к приложению**

*Формулы для расчёта радиогенных рисков*

В приводимых ниже формулах используются следующие обозначения:

$\mu(t)$  и  $\nu(t)$  – интенсивности смертности (ИС) от всех причин и интенсивности заболеваемости (ИЗ) всеми болезнями в возрасте  $t$  в условиях без облучения;

$\mu_c(t)$  и  $\nu_c(t)$  – интенсивности смертности от рака и интенсивности заболеваемости раком в возрасте  $t$  в условиях без облучения (фоновые интенсивности);

$\Delta\mu_{rc}(t_0, t)$  и  $\Delta\nu_{rc}(t_0, t)$  – радиогенные приращения интенсивности смертности (радиогенная ИС) от рака в возрасте  $t$  и интенсивности заболеваемости (радиогенная ИЗ) раком в этом возрасте в расчёте на единицу дозы для случая кратковременного облучения в возрасте  $t_0$ ;

7. Радиационный риск, связанный с потенциальным облучением, определяют суммированием парциальных вкладов от всех путей такого облучения. При пренебрежимо малом вкладе детерминированных эффектов, годовой радиационный риск рассчитывают по формуле:

$$\Delta R_{II} = k \lambda \bar{D}_{II},$$

где  $k$  – коэффициент номинального радиогенного риска рака, взятый из таблицы;  $\lambda$  (год<sup>-1</sup>) – частота возникновения аварий на радиационно-опасном объекте рассматриваемой категории;  $\bar{D}_{II}$  (Зв<sup>-1</sup>) – доза потенциального облучения репрезентативного лица, усреднённая по всем типам аварий.

8. Для обоснования достаточности защиты от источников потенциального облучения приняты следующие граничные значения годового радиационного риска, связанного с потенциальным облучением:

- персонал –  $2,0 \times 10^{-4}$ , год<sup>-1</sup>;
- население –  $1,0 \times 10^{-5}$ , год<sup>-1</sup>.

$\Delta R_{\mu}(t^*)$  – пожизненный риск смерти от рака для возраста  $t^*$ ;

$\Delta R_{\nu}(t^*)$  – пожизненный риск заболевания раком для возраста  $t^*$ .

$P(t)$  – мощность дозы;

Фоновые показатели ( $\mu(t)$ ,  $\nu(t)$ ,  $\mu_c(t)$ ,  $\nu_c(t)$ ) выбирают на основе текущих статистических данных о заболеваемости и смертности, представительных для рассматриваемого контингента населения. Модели радиогенных приращений интенсивности смертности и заболеваемости, обусловленных кратковременным облучением единичной дозой, задаются в специальных методических указаниях, периодически обновляемых по мере накопления и обобщения данных о возрастных зависимостях радиационных эффектов.

$$\Delta R_{\mu}(t^*) = \int_{t^*}^{\infty} e^{-\int_{t^*}^t \mu(t') dt'} \left\{ e^{-\int_{t^*}^{t'} P(t'') \Delta\mu_{rc}(t'', t) dt'' dt'} \left[ \mu_c(t) + \int_0^t P(t') \Delta\mu_{rc}(t', t) dt' \right] - \mu_c(t) \right\} dt$$

$$\Delta R_{\nu}(t^*) = \int_{t^*}^{\infty} e^{-\int_{t^*}^t [\mu(t') + \nu_c(t')] dt'} \left\{ e^{-\int_{t^*}^{t'} P(t'') [\Delta\mu_{rc}(t'', t) + \Delta\nu_{rc}(t'', t)] dt'' dt'} \left[ \nu_c(t) + \int_0^t P(t') \Delta\nu_{rc}(t', t) dt' \right] - \nu_c(t) \right\} dt$$