

## Оценка риска при облучении радоном для населения субъектов Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории

Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*В статье описана методика оценки риска для населения субъектов Российской Федерации при облучении радоном на основе результатов радиационно-гигиенической паспортизации.*

*Внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона в помещениях зданий вносит основной вклад в дозы природного облучения населения Российской Федерации. Высокая вариабельность уровней содержания радона в помещениях в различных регионах Российской Федерации дает возможность проводить межрегиональные сравнения именно по величине риска смерти от радон-индуцированного рака легкого.*

*В Радиационно-гигиеническом паспорте территории данные представлены в виде эффективной дозы за счет облучения радоном и отражают только средние значения уровней радона в регионе в целом, без выделения критических групп населения и описания особенностей экспозиции. По этой причине представляется нецелесообразным использовать для расчета показателей риска сложные многофакторные модели, требующие разработки детального сценария облучения. Предлагается использовать одну из методик, рекомендуемых в Публикации 115 МКРЗ, основанную на результатах объединенных эпидемиологических исследований связи облучения людей радоном в жилищах с раком легкого методом «случай – контроль». Преимущество методики состоит в том, что она учитывает синергическое взаимодействие факторов облучения радоном и табакокурения.*

*В статье описана процедура расчета трех показателей риска, которые могут быть использованы для характеристики отдельно взятого региона, а также для межрегионального сравнения. Для расчета некоторых показателей риска требуются дополнительные демографические и медико-биологические данные, которые могут быть получены из различных источников официальных статистических данных.*

**Ключевые слова:** радон, короткоживущие дочерние продукты распада, радон-индуцированный рак легкого, оценка риска, модель, показатели риска, пожизненный атрибутивный риск, кумулятивный абсолютный риск, радиационно-гигиенический паспорт территории.

### Введение

Годовые эффективные дозы облучения населения субъекта Российской Федерации за счет природных источников излучения определяются среднегодовыми уровнями следующих радиационных факторов:

– мощностью дозы гамма-излучения в жилых и общественных зданиях и на открытой местности на территории субъекта;

– среднегодовым содержанием радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) и торона ( $^{220}\text{Rn}$ ) и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) в воздухе помещений и в атмосферном воздухе на территории субъекта;

– содержанием природных радионуклидов в питьевой воде и продуктах питания и основными компонентами рациона питания населения субъекта;

– среднегодовым содержанием пыли (аэрозолей) в приземном слое атмосферного воздуха и удельной активностью долгоживущих природных радионуклидов в пыли на территории субъекта.

Кроме вышеперечисленных факторов, учитывается вклад в эффективные дозы облучения населения ионизирующей компоненты космического излучения и внутреннего облучения за счет  $^{40}\text{K}$ .

Основной вклад (в различных субъектах – от 60 до 80%) в дозы облучения населения Российской Федерации за счет всех природных источников ионизирующего излучения вносит доза внутреннего облучения за счет ингаляции изотопов радона в помещениях зданий. Обычно причиной высокого содержания изотопов радона в помещениях является поступление радона из почвы под зда-

✉ Кононенко Дмитрий Викторович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д.8. Телефон: (812) 2324329. E-mail: radon-and-life@yandex.ru

нием, что обусловлено геологическими особенностями данной местности, близким к поверхности залеганием радийсодержащих пород.

Ингаляционное поступление радона является одним из основных источников радиоактивного воздействия на население большинства стран. В конце 1980-х гг. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и Международное агентство по изучению рака (МАИР) признали радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) и торон ( $^{220}\text{Rn}$ ) и их ДПР доказанным канцерогенным фактором окружающей среды для легких человека [1, 2] (1-я группа по классификации МАИР). В докладе Национальной академии наук США (1999 г.) «BEIR VI» [3] был сделан вывод о том, что радон в воздухе помещений является второй по значимости причиной возникновения рака легкого после табакокурения.

Исходя из этого, оценка радиационных рисков для здоровья населения субъектов Российской Федерации за счет природных источников ионизирующего излучения сводится, в первую очередь, к оценке риска возникновения радон-индуцированного рака легкого. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) в Публикации 115 [4, 5] подтверждает, что имеющиеся эпидемиологические данные показывают отсутствие убедительных доказательств наличия связи между облучением радоном и его ДПР и онкологическими заболеваниями других локализаций, кроме легкого.

Принять фактор облучения радоном и его ДПР в качестве основополагающего при оценке радиационных рисков для здоровья населения целесообразно еще и потому, что данный параметр радиационной обстановки при облучении природными источниками излучения является наиболее переменным. Для различных субъектов Российской Федерации и отдельных населенных пунктов уровни облучения населения радоном и его ДПР могут отличаться в десятки раз, что дает возможность проводить сравнительный анализ риска возникновения радон-индуцированного рака легкого.

Главным входным параметром в расчете риска при облучении радоном и его ДПР является значение среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в воздухе жилых помещений. В таблице 3.6 радиационно-гигиенического паспорта территории (РГП) приведены сведения о средних и максимальных значениях ЭРОА изотопов радона по данным измерений за отчетный год в домах различных типов (деревянные, одноэтажные каменные, многоэтажные каменные) на территории субъекта Российской Федерации. Для того чтобы определить среднее по всему региону значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, можно использовать данные таблицы 6.3 радиационно-гигиенического паспорта территории. Средняя на жителя эффективная доза облучения за счет радона, представленная в таблице 6.3, вычислена по следующей формуле:

$$E_{\text{Rn}} = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 \cdot 1,05 \cdot (0,2 \cdot C_{\text{Rn\_улица}} + 0,8 \cdot C_{\text{Rn\_здания}}), \text{ [мЗв/чел.]} \quad (1)$$

где  $9,0 \cdot 10^{-6}$  – дозовый коэффициент [в единицах мЗв/(час·Бк/м<sup>3</sup>)], принимаемый в соответствии с Докладом НКДАР ООН за 2000 г. [6];

8800 – стандартное число часов в году;

1,05 – коэффициент, учитывающий дополнительный вклад в дозу материнских радионуклидов  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{222}\text{Rn}$  (составляет примерно 5 % от дозы облучения за счет короткоживущих дочерних продуктов радона и торона);

0,8 и 0,2 – доли времени пребывания людей в помещениях и на улице соответственно, принимаемые по данным [7];

$C_{\text{Rn\_улица}}$  – среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенных пунктов, принимаемое равным 6,5 Бк/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{Rn\_здания}}$  – среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в помещениях жилых и общественных зданий на территории субъекта Российской Федерации.

Соответственно, для вычисления среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, Бк/м<sup>3</sup>, можно использовать следующую формулу:

$$C_{\text{Rn\_здания}} = (E_{\text{Rn}} / (9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 \cdot 1,05) - 0,2 \cdot C_{\text{Rn\_улица}}) / 0,8 \quad (2)$$

Кроме среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе жилых помещений, для проведения корректной оценки радиационного риска для населения при облучения радоном и его ДПР крайне важно учесть данные о распространенности табакокурения среди населения субъекта Российской Федерации, поскольку сочетание курения с облучением радоном и ДПР во много раз увеличивает вероятность возникновения радон-индуцированного рака легких (имеет место синергическое взаимодействие этих факторов [8]). К сожалению, на сегодняшний день в стране не проводится ежегодного сбора статистической информации о распространенности курения среди населения, хотя определенные шаги в этом направлении сделаны. В 2009 г. Россия провела «Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака (GATS)» [9], выполнив таким образом требование Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака о сборе сопоставимых данных. По данным опроса GATS, Россия оказалась на первом месте среди стран мира по проценту курящего населения.

## Материалы и методы

Для характеристики радиационно-индуцированных раков различных локализаций могут применяться как мультипликативные модели зависимости «экспозиция – ответ», так и аддитивные. Предпочтение той или иной форме модели отдается в зависимости от того, какая из форм лучше описывает зависимость частоты конкретных стохастических эффектов от дозы. Мультипликативность подразумевает наличие связи между частотой возникновения радиационно-индуцированных раков и фоновым уровнем возникновения рака данной локализации в популяции, аддитивность – отсутствие такой связи. МКРЗ в Публикации 65 (1993 г.) [10, 11] рекомендовала для случая радон-индуцированного рака легкого использовать именно мультипликативную форму моделей.

В начале 2000-х гг. были опубликованы результаты нескольких объединенных эпидемиологических исследований связи облучения людей радоном в жилищах с раком легкого методом «случай – контроль», начатых еще в конце 1980-х гг., а также нескольких объединенных эпидемиологических исследований среди шахтеров с относительно низкими уровнями суммарной экспозиции радоном. Эти результаты были тщательно проанализи-

рованы специально созданной в 2005 г. Рабочей группой МКРЗ, и в ноябре 2009 г. Комиссия одобрила «Заявление по радону», а в 2010 г. была выпущена Публикация 115 [4,5], в которой подтверждается, что накопленный дополнительный абсолютный риск возникновения рака легкого, обусловленный радоном и его ДПР, рассчитанный для облучения в жилищах, сопоставим с оценками, полученными для шахтеров при низких уровнях экспозиции. Кроме того, в Публикации подтверждается, что доказательства повышенного риска для населения, облучающегося при ЭРОА радона даже менее 100 Бк/м<sup>3</sup>, являются убедительными и неоспоримыми.

МКРЗ в Публикации 115 рекомендует проводить оценку рисков при облучении радоном и его ДПР не с использованием коэффициентов номинального риска на единицу эффективной дозы, а с применением различных моделей радиационного риска, базирующихся на прямых эпидемиологических данных. В Публикации 115 отдается предпочтение моделям оценки риска возникновения радон-индуцированного рака легкого, разработанным по результатам объединенных анализов (а не отдельных исследований). Кроме того, оценки риска, полученные по результатам эпидемиологических исследований в помещениях жилых домов, достаточно надежны и позволяют основывать систему защиты населения на данных об уровнях ЭРОА радона в жилищах.

Поскольку данные в РГП, представленные в виде эффективной дозы за счет облучения радоном и его ДПР, отражают только средние значения ЭРОА радона в регионе в целом, без выделения критических групп населения и описания особенностей экспозиции, представляется нецелесообразным использовать в данном случае для расчета показателей риска сложные многофакторные модели, основанные на результатах объединенных эпидемиологических исследований среди шахтеров с относительно низкими уровнями суммарной экспозиции, требующими разработки детального сценария облучения [12]. Для задач общей характеристики регионов по значению радиационного риска и сравнения регионов между собой предлагается использовать методику, основанную на результатах объединенных эпидемиологических исследований связи облучения людей радоном в жилищах с раком легкого методом «случай – контроль», рекомендуемую в Публикации 115 МКРЗ и представленную в публикациях [13, 14]. Преимущество методики состоит в том, что она учитывает синергическое взаимодействие между облучением радоном и табакокурением [15].

Входными параметрами для расчета показателей риска являются среднегодовое значение ЭРОА радона в регионе и доля курильщиков среди населения. При наличии в регионе детальной информации о распространности табакокурения среди мужчин и женщин рекомендуется использовать региональные данные, которые позволят получить более точную оценку. При отсутствии подобных данных можно воспользоваться результатами «Глобального опроса взрослого населения о потреблении табака (GATS)» [9]. По данным этого опроса, распространенность табакокурения среди взрослого населения России составила 39,1 %, среди мужчин – 60,2 %, среди женщин – 21,7 %. Доля некурящих составила, соответственно, 60,9 % от числа опрошенных: 39,8 % среди мужчин и 78,3 % среди женщин.

В качестве показателей риска, которые могут быть использованы для индивидуальной характеристики регионов и межрегионального сравнения, в данной методике расчета выступают кумулятивный абсолютный риск, пожизненный атрибутивный популяционный риск и абсолютное число смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого. Однако для расчета последних двух показателей требуются дополнительные исходные данные, такие как вероятности дожития человека до определенного возраста, грубые показатели смертности от рака легкого, вызванного всеми причинами, общее число смертельных случаев рака легкого в регионе, вызванного всеми причинами (представленные в форме половозрастных распределений), а также численность населения и ожидаемая продолжительность жизни. Указанные демографические данные могут быть получены из Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС), разработанной в рамках реализации федеральной целевой программы «Развитие государственной статистики России в 2007–2011 годах» и функционирующей в глобальной сети Интернет по адресу <http://www.fedstat.ru>, и базы данных Федеральной службы государственной статистики (<http://cbds.gks.ru>), а медицинские – из ежегодных справочников «Злокачественные новообразования в России (заболеваемость и смертность)», например [16], либо из других доступных источников официальных статистических данных.

### Методика расчета

Зависимость «экспозиция – ответ» представлена в виде коэффициента избыточного относительного риска (ERR – excess relative risk, представляет собой соотношение между избыточным риском в группе, подвергшейся воздействию, и риском в группе, свободной от воздействия), равного 0,16 на 100 Бк/м<sup>3</sup> объемной активности (ОА) радона в воздухе. Для перехода от величины ЭРОА изотопов радона к ОА радона используется следующая формула:

$$A_{rn} = C_{rn} / F, \text{ [Бк/м}^3\text{]}, \quad (3)$$

где  $C_{rn}$  – среднегодовая ЭРОА изотопов радона, Бк/м<sup>3</sup> (определяемая, согласно НРБ-99/2009 [17], как  $ЭРОА_{rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{in}$ );

F – коэффициент равновесия между радоном и его ДПР (при отсутствии инструментальных данных значение F принимается равным 0,5 [18]).

Таким образом, для конкретного значения  $A_{rn}$  (вне зависимости от пола, возраста и статуса по курению) значение ERR рассчитывается по следующей формуле:

$$ERR = 0,0016 \cdot A_{rn} \quad (4)$$

В ситуации полного отсутствия облучения радоном и его ДПР относительный риск для курящих превышает относительный риск для некурящих (который принимается равным единице) в 25,8 раза. Таким образом, расчет относительного риска (RR – relative risk) для некурящих (индекс NS) и курильщиков (индекс ES) производится соответственно по формулам (5) и (6):

$$RR_{NS} = 1 + ERR \quad (5)$$

$$RR_{ES} = 25,8 \cdot (1 + ERR) \quad (6)$$

Расчет кумулятивного абсолютного риска (CAR – cumulative absolute risk, т.е. риск, накопленный к определенному возрасту) производится, согласно [14], по следующим формулам:

$$CAR = 100 \cdot [1 - \exp(-C)], \quad (7)$$

$$C = \sum_{t=0}^{a_{\max}} \lambda(t), \quad (8)$$

где C – кумулятивная смертность от радон-индуцированного рака легкого;

$\lambda(t)$  – смертность от радон-индуцированного рака легкого в возрасте t;

$a_{\max}$  – ожидаемая продолжительность жизни, лет.

Процедура расчета смертности курильщиков  $\lambda_{ES}(t)$  и некурящих  $\lambda_{NS}(t)$  от радон-индуцированного рака легкого описана в [19] и выражена следующими формулами:

$$\lambda_{NS}(t) = \frac{\lambda_0(t)}{1 - d_{ES}(t) + RR_{ES} \cdot d_{ES}(t)} \quad (9)$$

$$\lambda_{ES}(t) = RR_{ES} \cdot \lambda_{NS}(t), \quad (10)$$

где  $\lambda_0(t)$  – фоновая смертность от рака легкого в возрасте t;  $d_{ES}(t)$  – доля курильщиков в возрасте t (по данным о распространенности табакокурения в регионе, либо данным [9]);

$RR_{ES}$  – относительный риск для курильщиков, рассчитанный по формуле (6).

Следует отметить, что при расчете  $\lambda_{NS}(t)$  и  $\lambda_{ES}(t)$  предпочтительно использовать детальное половозрастное распределение доли курящего населения  $d_{ES}(t)$  вместо единого значения  $d_{ES}$  для населения всех возрастов. Подставляя полученные значения  $\lambda_{NS}(t)$  и  $\lambda_{ES}(t)$  в формулу (8), а затем полученные значения  $C_{NS}$  и  $C_{ES}$  в формулу (7), можно рассчитать значение кумулятивного абсолютного риска для курильщиков ( $CAR_{ES}$ ) и некурящих ( $CAR_{NS}$ ) соответственно.

Расчет такого показателя, как пожизненный атрибутивный популяционный риск  $LAR_{pop}$  ( $LAR$  – lifetime attributable risk) является более сложной вычислительной задачей. Согласно методологии, описанной в [20], расчет  $LAR_{pop}$  производится в два этапа. Сначала рассчитывается индивидуальный пожизненный атрибутивный риск  $LAR_{ind}$ , представляющий собой вероятность преждевременной смерти от рака легкого, вызванного облучением, в возрасте a:

$$LAR_{ind}(a) = \int_e^{a-lag} ERR(t) \cdot \lambda_0(t) \cdot p_0(t) dt, \quad (11)$$

где e – возраст начала экспозиции (равен нулю в ситуации пожизненного облучения);

a – возраст на момент оценки риска, лет;

lag – латентный период в развитии рака легкого (lag = 5 лет);

ERR(t) – избыточный относительный риск в возрасте t, рассчитанный по принятой модели;

$\lambda_0(t)$  – фоновая смертность от рака легкого в возрасте t;

$p_0(t)$  – вероятность дожития до возраста t (равна единице на момент рождения).

На втором этапе рассчитывается пожизненный атрибутивный популяционный риск, представляющий собой долю радон-индуцированных случаев смерти от рака легкого (от общего их числа в популяции):

$$LAR_{pop} = \frac{1}{N} \int_0^{a_{\max}} N(t) \cdot LAR_{ind}(t) dt, \quad (12)$$

где  $a_{\max}$  – ожидаемая продолжительность жизни, лет;

$N(t)$  – численность населения возраста t;

N – общая численность населения всех возрастов (до возраста  $a_{\max}$ ).

В официальных статистических данных значение показателя  $p_0(t)$  отсутствует, однако его несложно вычислить на основе другого демографического показателя – возрастных коэффициентов смертности. Возрастной коэффициент смертности q(t) – это вероятность смерти в течение года человека в возрасте t. Соответственно, вероятность того, что человек в возрасте от t до t+1 останется живым в течение данного года, равна:

$$p'(t) = 1 - q(t) \quad (13)$$

Официальные демографические данные представлены, однако, по возрастным группам, поэтому принимается, что в пределах одной группы значение  $p'(t)$  изменяется пренебрежимо мало. Учитывая, что вероятность  $p'(t)$  относится к одному году жизни, определение вероятности дожития  $p_0(t)$  человека от рождения до возраста t производится по формуле:

$$p_0(t) = \prod_{i=1}^t p'(i) \quad (14)$$

Поскольку в используемой методике ERR(t) не зависит от t, облучение начинается с рождения и продолжается до смерти человека (рассматривается ситуация равномерного пожизненного облучения), а параметры  $\lambda_0(t)$ , q(t) [и полученный на его основе  $p_0(t)$ ] и N(t) представлены в виде набора значений, соответствующих возрасту человека с интервалом в 1 год, в выражениях (11) и (12) интегрирование можно заменить суммированием и преобразовать их следующим образом:

$$LAR_{ind}(a) = ERR \cdot \sum_{t=0}^{a-5} \lambda_0(t) \cdot p_0(t) \quad (15)$$

$$LAR_{pop} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=0}^{a_{\max}} N(t) \cdot LAR_{ind}(t) \quad (16)$$

Следует отметить, что все входные данные, в том числе половозрастные распределения вероятности дожития до определенного возраста и грубого показателя смертности от рака легкого, вызванного всеми причинами, а также численность населения могут быть представлены по возрастным группам. В этом случае принимается, что в пределах каждой группы значения  $\lambda_0(t)$  и  $p_0(t)$  изменяются пренебрежимо мало, а формулы (15) и (16) преобразуются следующим образом:

$$LAR_{ind}(j) = ERR \cdot \sum_{i=0}^j T(i) \cdot \lambda_0(i) \cdot p_0(i), \quad (17)$$

где  $j$  – номер возрастной группы, для которой производится оценка риска;

$T(i)$  – протяженность  $i$ -го возрастного интервала (как правило, равняется 5 годам);

$p_0(i)$  – вероятность дожития до  $i$ -й возрастной группы, равная среднему арифметическому значений  $p_0(t)$ , соответствующих годам жизни  $t$ , входящих в  $i$ -ю группу;

$$LAR_{pop} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=0}^n N(j) \cdot LAR_{ind}(j), \quad (18)$$

где  $n$  – общее количество возрастных групп;

$N(j)$  – численность населения в  $j$ -й возрастной группе;

$N$  – общая численность населения в  $n$  возрастных группах.

Расчет абсолютного числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого  $D_{Rn}$  производится, согласно [21, 22] и с учетом того, что в используемой методике  $ERR(t)$  не зависит от  $t$ , по следующей формуле:

$$D_{Rn} = \frac{ERR}{1 + ERR} \cdot \sum_{i=1}^n D_i, \quad (19)$$

где  $D_i$  – число смертельных случаев рака легкого в регионе, вызванного всеми причинами, в  $i$ -й возрастной группе;

$n$  – число возрастных групп.

Следует отметить, что  $D_{Rn}$  относится ко всей популяции, без разделения на курильщиков и некурящих. На данный момент в российских медико-демографических данных, к сожалению, отсутствует такой важный показатель, как доля курильщиков среди абсолютного числа умерших от рака легкого. Поэтому можно принять следующее допущение, основанное на данных Агентства по охране окружающей среды США [19]: 95 % смертей от рака легкого среди мужчин и 90 % среди женщин приходится на долю курильщиков. Тогда для расчета числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого, приходящихся на долю курильщиков ( $D_{Rn-ES}$ ) и некурящих ( $D_{Rn-NS}$ ), необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$D_{Rn-ES} = D_{Rn} \cdot S \quad (20)$$

$$D_{Rn-NS} = D_{Rn} - D_{Rn-ES}, \quad (21)$$

где  $S$  – доля смертельных случаев рака легкого, приходящихся на курильщиков в конкретной когорте населения

( $S_M$  – мужчины,  $S_{ж}$  – женщины,  $S_{общ}$  – все население). Для всего населения в целом значение  $S_{общ}$  определяется по следующей формуле:

$$S_{общ} = S_M \cdot d_M + S_{ж} \cdot d_{ж}, \quad (22)$$

где  $d_M$  и  $d_{ж}$  – доля мужчин и женщин в населении региона;  $S_M = 0,95$ ;  $S_{ж} = 0,90$ .

С примерами расчетов показателей  $D_{Rn}$  и  $LAR_{pop}$  на основе российских медико-демографических данных можно ознакомиться в публикациях [12] и [23].

### Заключение

Предлагаемая методика описывает процедуру расчета трех показателей риска для населения за счет облучения радоном и его ДПР с учетом дополнительного влияния фактора табакокурения на основе данных, содержащихся в радиационно-гигиенических паспортах территорий, с привлечением некоторых дополнительных медико-демографических данных, находящихся в открытых источниках. Полученные показатели риска могут быть использованы для индивидуальной характеристики субъектов Российской Федерации, а также межрегионального сравнения.

Для повышения корректности расчета показателей риска, учитывающих синергическое взаимодействие факторов табакокурения и облучения радоном и его ДПР, требуются дополнительные медико-демографические данные, сбор которых в настоящее время в Российской Федерации не проводится.

### Литература

1. WHO. Indoor air quality research: Report on a WHO meeting, 27-31 August 1984, Stockholm. World Health Organization, Copenhagen, 1986.
2. IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Man-made fibres and radon. International Agency for Research on Cancer, Lyon, IARC 43, 1988.
3. National Academy of Sciences. Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI). National Academy Press, Washington, D.C., 1999.
4. ICRP. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann., 2010 ICRP 40 (1).
5. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону / под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина // Перевод публикации 115 МКРЗ. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2013. – 92 с.
6. UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2000.
7. Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона. Методические рекомендации. МР 2.6.1.0088-14. Утверждены 18.03.2014 г. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. – 39 с.
8. WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective. WHO Press, Geneva, 2009.
9. Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака: отчет ИИЦ «Статистика России» Росстата и НИИ пульмонологии, 2009. – 171 с.
10. ICRP. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65, Ann. ICRP 23 (2), Pergamon Press, Oxford, 1993.

11. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 68 с.
12. Кононенко, Д.В. Анализ применимости существующих моделей расчета риска при облучении радоном для оценки эффективности радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях/ Д.В. Кононенко// Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 92–98.
13. Darby S. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies / S. Darby, D. Hill, A. Auvinen et al. // Br. Med. J. 330. – 2005 – P. 223–227.
14. Darby S. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe / S. Darby, D. Hill, H. Deo et al. // Scand. J. Work Environ. Health 32 (Suppl 1). – 2006 – P. 1–84.
15. Кормановская, Т.А. Учет фактора курения в моделях оценки радиационных рисков населения при облучении радоном / Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко// Материалы XI всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. Том II. – М., 2012. – С. 473–476.
16. Злокачественные новообразования в России в 2013 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ ФМИЦ им. П.А. Герцена Минздрава России, 2015. – 250 с.
17. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. и введены в действие от 07.07.2009
18. Методические указания. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности (МУ 2.6.1.2838-11). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 26 с.
19. U.S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. EPA 402-R-03-003. Washington, D.C., 2003.
20. Kellerer A.M. On the conversion of solid cancer excess relative risk into lifetime attributable risk / Radiat. Environ. Biophys. 40. – 2001 – P. 249-457.
21. Catelinois O. Assessment of the health impact related to indoor exposure to radon in France. / O. Catelinois, A. Rogel, D. Laurier et al. // BEH 18-19. – 2007 – P. 155-158.
22. Catelinois O. Lung Cancer Attributable to Indoor Radon Exposure in France: Impact of the Risk Models and Uncertainty Analysis. / O. Catelinois, A. Rogel, D. Laurier et al. // Environmental Health Perspectives. – 2006 – V. 115, 9. – P. 1361-1366.
23. Кононенко, Д.В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном/ Д.В. Кононенко// Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 31-37.

Поступила: 09.11.2015 г.

**Кононенко Дмитрий Викторович** – научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: (812) 2324329. E-mail: radon-and-life@yandex.ru

**Кормановская Татьяна Анатольевна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: (812) 2327463. E-mail: f4dos@mail.ru

• **Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка риска при облучении радоном для населения субъектов Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории// Радиационная гигиена. – 2015. – Т.8, № 4. – С. 15–22.**

## Risk assessment for the population of regions of the Russian Federation from exposure to radon based on data from radiation-hygienic passports of territories

**Kononenko Dmitrij V.** — Researcher of the Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira St., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: radon-and-life@yandex.ru)

**Kormanovskaja Tat'jana A.** — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira St., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: f4dos@mail.ru)

### Abstract

*The paper presents the method of risk assessment for the population of regions of the Russian Federation from exposure to radon based on data from radiation-hygienic passports of territories.*

*Internal exposure to radon and progeny in dwellings and public buildings prevails in the dose from natural sources of radiation in Russia. The high variability of radon concentration in buildings in different regions of Russia makes it possible to conduct interregional comparisons of radon-induced lung cancer risk.*

*The data from radiation-hygienic passports include only the effective dose from exposure to radon and progeny and thus reflects only the average radon concentration in a region. There is no description of critical groups of population or detailed characteristics of the exposure. For this reason it seems unpractical to apply risk assessment models with modifying factors that require the development of complex exposure scenarios. In this case it seems reasonable to apply one of the models based on the results of pooled analyses of data from residential case-control studies mentioned in the ICRP Publication 115. Such models take into account the combined effect of smoking and exposure to radon.*

*The paper describes the procedure for calculating three risk estimates that could be used to characterize a given region or for interregional comparisons. Calculating some of risk estimates requires additional demographic and medical data, which can be obtained from different sources of official statistics.*

**Key words:** radon and progeny, radon-induced lung cancer, risk assessment, model, lifetime attributable risk, cumulative absolute risk, radiation-hygienic passport.

### References

1. WHO. Indoor air quality research: Report on a WHO meeting, 27-31 August 1984, Stockholm. World Health Organization, Copenhagen, 1986.
2. IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Man-made fibres and radon. International Agency for Research on Cancer, Lyon, IARC 43, 1988.
3. National Academy of Sciences. Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI). National Academy Press, Washington, D.C., 1999.
4. ICRP. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann , 2010 ICRP 40 (1).
5. Risk vznikovenija raka legkogo pri obluchenii radonom i produktami ego raspada. Zjavlenie po radonu / pod red. M.V. Zhukovskogo, S.M. Kiseleva, A.T. Gubina [Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. / Ed. M.V. Zhukovskogo, S.M. Kiseleva, A.T. Gubina], Moscow, Publishing house "FGBU GNC FMBC after A.I. Burnazyan FMBA of Russia", 2013, 92 p.
6. UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2000.
7. Forma federal'nogo statisticheskogo nabljudenija № 4-DOZ. Svedenija o dozah obluchenija naselenija za schet estestvennogo i tehnogenno izmenenno-go radiacionnogo fona. Metodicheskie rekomendacii. MR 2.6.1.0088-14. Utverzhdenny 18.03.2014 g [Guideline. Federal State Statistical Supervision Form No 4-DOZ. Data on doses of population irradiation from natural and man-changed radiation background (MR 2.6.1.0088-14): approved on 18.03.2014], Moscow, Federal Centre of Hygiene and Epidemiology, 2014, 48 p.
8. WHO, 2009. WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective. WHO Press, Geneva, 2009.
9. Global'nyj opros vzroslogo naselenija o potreblenii tabaka: otchet IIC «Statistika Rossii» Rosstata i NII pul'monologii [A global survey of the tobacco consumption by adult population: Report of IIC "Statistics of Russia" of Federal State Statistics Service and Scientific Research Institute of Pulmonology], 2009, 171 p.
10. ICRP, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2). Pergamon Press, Oxford, 1993.
11. Zashhita ot radona-222 v zhilyh zdaniyah i na rabochih mestah. Publikacija 65 MKRZ [Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65], Moscow, Energoatomizdat, 1995, 68 p.
12. Kononenko D.V. Analiz primenimosti sushhestvujushhikh modelej rascheta riska pri obluchenii radonom dlja ocenki jeffektivnosti radonozashhityh meroprijatij v detskih obrazovatel'nyh uchrezhdenijah [Analysis of the applicability of some risk assessment models associated with exposure

### ✉ Kononenko Dmitrij V.

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: radon-and-life@yandex.ru

- to radon for evaluation of effectiveness of radon mitigation actions in schools]. Radiacionnaja gigiena – Radiation Hygiene, 2014, Vol. 7, No 4, pp. 98-103.
13. Darby S., Hill D., Auvinen A. [et al.] Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Br. Med. J.* 330, 2005, pp. 223-227.
  14. Darby, S. Hill D., Deo H. [et al.] Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand. J. Work Environ. Health* 32, Suppl 1, 2006, pp. 1-84.
  15. Kormanovskaja T.A., Kononenko D.V. Uchet faktora kurenija v modeljah ocenki radiacionnyh riskov naselenija pri obluchenii radonom [Accounting for tobacco smoking in risk assessment models associated with exposure to radon]. *Materialy XI vserossijskogo s'ezda higienistov i sanitarnyh vrachej -Proceedings of the IX Russian Congress of hygienists and health officers*, Moscow, 2012, Vol. II., pp. 473-476.
  16. Zlokachestvennye novoobrazovanija v Rossii v 2013 godu (zabolevaemost' i smertnost') / pod red. A.D. Kaprina, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj [Malignant neoplasms in Russia in 2013 (morbidity and mortality) / Ed. A.D. Kaprin, V.V. Starinskij, G.V. Petrova], Moscow, MNIOL after P.A. Herzen – of FGBU "FMIC after P.A. Herzen", Russian Ministry of Health, 2015, 250 p.
  17. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009): Sanitarnye pravila i normativy (SanPiN 2.6.1.2523-09) [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009): The sanitary rules and regulations (SanPiN 2.6.1.2523-09)]. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology, 2009, 100 p.
  18. Metodicheskie ukazaniya. Radiacionnyj kontrol' i sanitarno-jepidemiologicheskaja ocenka zhilyh, obshhestvennyh i proizvodstvennyh zdaniy i sooruzhenij posle okonchanija ih stroitel'stva, kapital'nogo re-monta, rekonstrukcii po pokazateljam radiacionnoj bezopasnosti (MU 2.6.1.2838-11) [Procedural guideline. Radiation control and sanitary-and-epidemiologic evaluation of residential, public and industrial buildings and structures after termination of their building, major repairs and reconstruction with parameters of radiation safety (MU 2.6.1.2838-11)], Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology, 2011, 41 p.
  19. U.S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. EPA 402-R-03-003. Washington, D.C., 2003.
  20. Kellerer A.M. On the conversion of solid cancer excess relative risk into lifetime attributable risk. *Radiat. Environ. Biophys.* 40, 2001, pp. 249-457.
  21. Catelinois O., Rogel A., Laurier D. [et al.] Assessment of the health impact related to indoor exposure to radon in France. *BEH* 18-19, 2007, pp. 155-158.
  22. Catelinois O., Rogel A., Laurier D. [et al.] Lung Cancer Attributable to Indoor Radon Exposure in France: Impact of the Risk Models and Uncertainty Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 2006, Vol. 115, 9, pp. 1361-1366.
  23. Kononenko D.V. Ocenka radiacionnogo riska dlja naselenija Sankt-Peterburga pri obluchenii radonom [Risk assessment for the population of Saint-Petersburg from residential exposure to radon]. *Radiacionnaja gigiena – Radiation Hygiene*, 2013, Vol. 6, No 1, pp. 31-37.

• **Kononenko Dmitrij V., Kormanovskaja Tat'jana A. Ocenka riska pri obluchenii radonom dlja naselenija sub'ektov Rossijskoj Federacii na osnove dannyh radiacionno-gigienicheskogo pasporta territorii [Risk assessment for the population of regions of the Russian Federation from exposure to radon based on data from radiation-hygienic passports of territories].** *Radiacionnaja gigiena – Radiation Hygiene*, 2015, Vol. 8, №4, pp. 15-22.