Дифференцированный подход к оценке риска для здоровья населения при облучении радоном

Д.В. Кононенко

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 предложена методика оценки риска для здоровья населения при облучении радоном, реализующая дифференцированный подход к самой процедуре расчета показателей риска в зависимости от целей, для которых проводится оценка риска. Сформулировать подобный подход удалось на основе анализа результатов проведенных за последние 5 лет работ по апробации различных моделей оценки риска на массивах российских медико-демографических данных с учетом и без учета синергического влияния фактора табакокурения, в простых и сложных сценариях облучения. В статье проведено сравнение результатов расчетов с использованием нескольких современных моделей («ЕРА-2003», «Wismut-2006», «FCZ» и «Tomasek-2014») при оценке эффективности радонозащитных мероприятий в детском образовательном учреждении. Сделан вывод о том, что для задач, в которых важно оценить влияние снижения дозовой нагрузки за счет облучения радоном, в частности в детском и подростковом возрасте, на пожизненный риск смерти от рака легкого, наилучшим образом подходит модель «Tomasek-2014». Данная модель обладает чувствительностью, характерной для модели «FCZ», но при этом дает результат на уровне модели «Wismut-2006», модифицированные варианты которой рядом авторов предлагалось использовать в отечественной практике. Для задач по оценке риска при равномерном пожизненном облучении на основе малого объема входных данных о содержании радона (например, на основе данных радиационно-гигиенических паспортов территорий) целесообразно использовать упрощенную модель «Darby-2005». Таким образом, методика предлагается для использования специалистами различного профиля в самом широком спектре задач: от оценки рисков для целей радиационно-гигиенической паспортизации и сравнительной оценки состояния радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации на основе обобщенных статистических данных до оценки рисков при осуществлении практических работ, связанных с получением или использованием больших массивов измерительных данных о содержании радона в воздухе помещений.

Ключевые слова: радон, короткоживущие дочерние продукты распада, радон-индуцированный рак легкого, оценка риска, модель, сценарий облучения, показатели риска.

Введение

Вопросы выработки единой методики оценки риска для здоровья населения при облучении радоном и его короткоживущими дочерними продуктами распада (ДПР), унификации методических приемов, а также выбора наилучшей модели оценки риска и ее адаптации для использования с российскими данными остаются актуальными последние 19 лет, с момента появления постановления главного государственного санитарного врача РФ и главного государственного инспектора по охране природы от 10 ноября 1997 г. № 25, 03-19/24-3483 «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской

Федерации». Слабость проработки данного вопроса была подтверждена в Решении коллегии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 5 февраля 2010 г. «О внедрении методологии оценки риска для здоровья населения и задачи по ее совершенствованию», во исполнение которого был издан Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 57 от 18.02.2010 г.

За последние 5 лет был проведен целый ряд работ по апробации различных современных моделей оценки риска на массивах российских медико-демографических данных (МДД), с учетом и без учета синергического влияния фактора табакокурения, в простых и сложных

Кононенко Дмитрий Викторович

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

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: radon-and-life@yandex.ru

сценариях облучения [1–6], а также предложена методика оценки риска для населения субъектов Российской Федерации при облучении радоном и его ДПР на основе результатов радиационно-гигиенической паспортизации [7]. Комплексное рассмотрение итогов этих работ с учетом самых последних опубликованных результатов объединенных эпидемиологических исследований связи облучения людей радоном с раком легкого [8] позволяет предложить методику оценки риска, подходящую для различных сценариев облучения, различных наборов исходных данных и различных целей, которые определяют необходимые для расчета показатели риска.

Материалы и методы

Главным входным параметром для всех моделей оценки риска является содержание радона в воздухе помещений, которое может быть представлено в виде эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона, объемной активности (ОА) радона или даже в виде эффективной дозы за счет облучения радоном и его ДПР в случае использования данных, например из радиационно-гигиенических паспортов территорий (РГП). Принимая во внимание кумулятивный характер статистики по природным источникам облучения, рекомендуется использовать максимально возможный по объему массив измерительных данных, что позволит получить более точные параметры логнормального распределения (согласно общепринятым в мировом научном сообществе взглядам [9, 10], распределение значений ОА и ЭРОА радона подчиняется именно этому закону). Основным параметром этого распределения, который используется для расчета экспозиции радоном и его ДПР, является медиана.

Исторически сложившейся особенностью использования распространенных в мире моделей оценки риска при облучении радоном и его ДПР является использование некоторых внесистемных единиц измерения:

WL – working level – рабочий уровень. Эта величина используется для определения объемной активности ДПР радона в воздухе. По определению, 1 WL – это такое содержание любых короткоживущих дочерних продуктов распада радона в 1 л воздуха, которое обеспечивает выделение скрытой энергии альфа-излучения, равной $1,3 \cdot 10^5$ МэВ. Для перевода величины ЭРОА радона из системных единиц Бк/м³ во внесистемные WL используется следующее соотношение: $1 \text{ WL} = 3700 \text{ Бк/м}^3$.

WLM – working level month – рабочий уровень за месяц (РУМ). Эта величина используется для определения экспозиции радоном и его ДПР. По определению, 1 WLM – это экспозиция, получаемая при воздействии 1 WL ДПР радона в течение 170 ч (длительность рабочего времени в месяц).

WLM/y – working level month per year – РУМ/год. Это величина используется для определения мощности экспозиции радоном и его ДПР. Чтобы рассчитать мощность экспозиции, имея среднегодовую ЭРОА изотопов радона в воздухе жилых помещений, необходимо воспользоваться следующим соотношением:

$$d = (C_{\text{Rn}} / 3700) \cdot (\Omega \cdot 8766 / 170), \text{ WLM/y} \quad (1)$$

где C_{Rn} – среднегодовая ЭРОА изотопов радона, Бк/м³ (определяемую, согласно (НРБ-99/2009), как $\text{ЭРОА}_{\text{Rn}} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{In}}$);

8766 – количество часов в году (365,25 дней для учета високосных годов);

Ω – относительное время пребывания в помещениях. В Форме федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ для населения РФ значение Ω принято равным 0,8. При наличии достоверной информации о существенном отличии этого значения для населения конкретной территории может быть использовано реальное значение коэффициента Ω .

Если в распоряжении имеются данные только об ОА радона (A_{Rn}), то ЭРОА_{Rn} рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭРОА}_{\text{Rn}} = A_{\text{Rn}} \cdot F, \text{ Бк/м}^3, \quad (2)$$

где F – коэффициент равновесия между радоном и его ДПР. При отсутствии инструментальных данных значение F принимается равным 0,5 (МУ 2.6.1.2838-11).

В тексте данной работы под «ЭРОА радона» подразумевается величина C_{Rn} . Процедура перехода от эффективной дозы за счет облучения радоном и его ДПР к C_{Rn} подробно представлена в публикации [7].

В зависимости от того, какие показатели риска необходимо рассчитать и насколько они должны быть дифференцированы по различным признакам (пол, возраст, статус по курению), требуются дополнительные исходные МДД (доля курильщиков среди населения, 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, численность населения, 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://cbsd.gks.ru>), а медицинские – из ежегодных справочников «Злокачественные новообразования в России (заболеваемость и смертность)», например [11], либо из других доступных источников официальных статистических данных. При наличии в регионе детальной информации о распространенности табакокурения среди мужчин и женщин рекомендуется использовать региональные данные, которые позволят получить более точную оценку. При отсутствии подобных сведений можно воспользоваться результатами «Глобального опроса взрослого населения о потреблении табака (GATS)» [12]. На данный момент в российских МДД отсутствует такой важный показатель, как доля курильщиков среди абсолютного числа умерших от рака легкого, и это является одним из главных источников неопределенности получаемых оценок. На период, пока эти данные не будут получены на региональном или федеральном уровнях, предлагается принять следующее допущение, основанное на данных Агентства по охране окружающей среды США [13]: 95% смертей от рака легкого среди мужчин и 90% среди женщин приходится на долю курильщиков.

В качестве результата расчета все современные модели оценки риска при облучении радоном и его ДПР дают значение избыточного относительного риска (ERR – excess relative risk), на основе которого в дальнейшем

можно получить различные показатели риска: индивидуальный пожизненный риск, пожизненный атрибутивный популяционный риск, абсолютное число смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого, ожидаемое число потерянных лет жизни и др. Процедуры расчета этих показателей подробно рассмотрены в публикации [7], а также [14–18].

За последние 5 лет были опубликованы работы с результатами апробации практически всех современных многофакторных моделей оценки риска при облучении радоном и его ДПР: «BEIR VI» [19], «EPA-2003» [3, 6], «Wismut-2006» [6], «FCZ» [6], а также серии моделей «Радон» [16–18], представляющих собой модифицированную модель «Wismut-2006». В работе [6] было показано, что модели, в основе которых лежит «BEIR VI» – «EPA-2003» и «Wismut-2006», а также производные от нее – не подходят в силу своей математической структуры для сложных сценариев облучения с относительно низкими уровнями экспозиции радоном и его ДПР, полученными в отдаленный период времени и на ранних этапах жизни человека. Модель «FCZ», имеющая кардинально иную структуру, является гораздо более чувствительной к изменению в пределах одного порядка значения ЭРОА радона, при котором формировалась экспозиция в отдаленный период времени. При этом, однако, данная модель дает самое высокое значение риска и является наиболее консервативной.

В работе [7] был рассмотрен частный случай задачи по оценке риска при облучении радоном и его ДПР – расчет показателей риска на основе данных РГП. В связи с особенностями структуры данных в РГП использование вышеупомянутых многофакторных моделей оказывается нецелесообразным, в связи с чем было предложено использовать упрощенную модель «Darby-2005» (условное название, используемое в данной работе), рекомендуемую в Публикации 115 МКРЗ [20, 21] и полученную по результатам эпидемиологических исследований в помещениях жилых домов. Модель представлена следующим выражением:

$$ERR = 0,0016 \cdot A_{\text{Pn}} \quad (3)$$

Следует отметить, что, несмотря на сходимость результатов оценки пожизненного риска при равномерном облучении с использованием двух типов моделей (основанных на результатах объединенных эпидемиологических исследований среди шахтеров с относительно низкими уровнями суммарной экспозиции и на результатах объединенных эпидемиологических исследований связи облучения людей радоном в жилищах с раком легкого методом «случай – контроль»), только модели первого типа позволяют учитывать такие модифицирующие факторы, как возраст на момент экспозиции; время, прошедшее с момента экспозиции; достигнутый возраст; мощность экспозиции.

Учет этих факторов особенно важен в задачах расчета риска, связанных с прогнозированием или оценкой результатов радонозащитных мероприятий в различных детских образовательных учреждениях [4–6]. В связи с этим крайне важным представляется появление новой модели «Tomasek-2014» [8] (условное название, используемое в данной работе), в основе которой лежит тот же гигантский массив исходных эпидемиологических дан-

ных, что и в основе «BEIR VI», но математическая структура которой близка к высокочувствительной модели «FCZ». При этом основной акцент при разработке этой модели был сделан на изучении влияния фактора возраста на момент экспозиции на зависимость «экспозиция – ответ», начиная с самой младшей возрастной группы – до 15 лет.

Общий вид модели «Tomasek-2014» представлен выражением:

$$ERR(t) = (\sum \beta_C \cdot W_C) \cdot \exp[c_A \cdot (AE(t) - 30) + c_T \cdot (TE(t) - 20)], \quad (4)$$

где t – возраст на момент оценки риска, лет;

β_C – основной параметр зависимости «экспозиция – ответ», соответствующий мощности экспозиции категории C (менее 4 WL, 4–8 WL, более 8 WL), WLM^{-1} ;

W_C – кумулятивная экспозиция радоном и его ДПР, накопленная при мощности экспозиции категории C , WLM ;

$AE(t)$ – возраст на момент медианной экспозиции, лет;

$TE(t)$ – время, прошедшее с возраста на момент медианной экспозиции, лет;

c_A, c_T – коэффициенты модели, отн.ед.

При расчетах значения коэффициентов модели β_C, c_A, c_T были взяты из публикации [8]. В модели учитывается пятилетний латентный период в развитии рака легкого, поэтому экспозиция, полученная за последние 5 лет до возраста t , в выражении (4) не учитывается.

Результаты и обсуждение

Апробация модели «Tomasek-2014» была проведена с использованием тестовой задачи из работы [6], заключавшейся в оценке эффективности радонозащитных мероприятий в одной из школ Красносельского района Санкт-Петербурга, где уровень ЭРОА радона был снижен в 2,1 раза (с 231 до 110 Бк/м³). Пожизненный атрибутивный популяционный риск LAR_{pop} (представляющий собой долю радон-индуцированных случаев смерти от рака легкого от общего их числа в популяции) рассчитывался до возраста 100 лет, а для расчета кумулятивной экспозиции радоном и его ДПР был использован сценарий облучения, включавший в себя посещение ребенком в течение 5 лет детского сада, расположенного рядом со школой, в котором также были выявлены уровни ЭРОА радона, превышающие установленный норматив, а также посещение школы в течение 11 лет (в варианте до и после проведения радонозащитных мероприятий). Для определения максимально возможного годового времени пребывания ребенка в помещениях детского сада использовались рекомендации СанПиН 2.4.1.3049-13, а значения максимальной допустимой недельной образовательной нагрузки в различных классах школы были взяты из СанПиН 2.4.2.2821-10. Остальное время человек по сценарию находился в помещениях при среднем значении ЭРОА радона в жилых и общественных зданиях, расположенных на территории Санкт-Петербурга (доля времени, проводимая человеком в помещениях, была принята равной 0,8). Результаты расчета LAR_{pop} приведены в таблице.

На рисунках 1–3 представлены графики зависимости избыточного относительного риска (ERR) от достигнутого возраста, полученные с использованием четырех указанных в таблице моделей по трем сценариям облучения. Общий характер полученных кривых вполне согласуется с приведенными в публикациях [8] и [22].

Как видно из таблицы, модель «Tomasek-2014» обладает чувствительностью, характерной для модели «FCZ», но при этом дает не столь консервативный результат. Значение LAR_{pop} близко к результату, полученному по модели «Wismut-2006», модифицированные варианты которой предлагалось в ряде публикаций [16–18] использовать в отечественной практике. Однако, как было показано выше, для задач, где важно оценить влияние снижения дозовой нагрузки за счет облучения радоном и его ДПР в детском и подростковом возрасте на пожизненный риск смерти от рака легкого – а это прогнозирование и оценка результатов уже осуществленных радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях различного профиля, которые осуществляются преимущественно за счет бюджетных средств, – модель «Wismut-2006» и производные от нее не подходят по причине недостаточной чувствительности к изменению экспозиции радоном и его ДПР в отдаленные периоды времени, приходящиеся на первые два десятка лет жизни человека.

Рис. 1. Графики зависимости ERR(t): ситуация до проведения радонозащитных мероприятий
[Fig. 1. ERR(t) dependence graphs: before the radon mitigation actions]

Результаты расчета пожизненного атрибутивного популяционного риска

Таблица

[Table]

Results of the population lifetime attributable risk estimation

$LAR_{pop}, \%$	Модель [Model]			
	EPA-2003	Wismut-2006	FCZ	Tomasek-2014
<i>До проведения радонозащитных мероприятий ($C_{Rn}=231$ Бк/м³) [Before the radon mitigation actions $C_{Rn}=231$ Bq/m³]</i>				
Все население [All population]	8,5	4,7	18,0	4,9
Мужчины [Men]	11,6	6,1	22,9	6,2
Женщины [Women]	3,9	2,3	9,3	2,6
Стандарт WSP [Word Standard Population]	5,0	2,7	10,7	2,9
Стандарт ESP-2013 [European Standard Population 2013]	9,7	5,5	20,4	5,4
<i>После проведения радонозащитных мероприятий ($C_{Rn}=110$ Бк/м³) [After the radon mitigation actions $C_{Rn}=110$ Bq/m³]</i>				
Все население [All population]	8,5	4,7	15,6	4,2
Мужчины [Men]	11,6	6,1	19,9	5,4
Женщины [Women]	3,9	2,3	8,0	2,2
Стандарт WSP [Word Standard Population]	4,9	2,7	9,2	2,5
Стандарт ESP-2013 [European Standard Population 2013]	9,7	5,5	17,7	4,7
<i>Ситуация равномерного пожизненного облучения ($C_{Rn}=23$ Бк/м³) [The constant lifelong exposure scenario $C_{Rn}=23$ Bq/m³]</i>				
Все население [All population]	8,5	4,7	13,9	3,7
Мужчины [Men]	11,6	6,1	17,7	4,8
Женщины [Women]	3,9	2,3	7,1	1,9
Стандарт WSP [Word Standard Population]	4,9	2,7	8,2	2,2
Стандарт ESP-2013 [European Standard Population 2013]	9,7	5,5	15,8	4,2

Рис. 2. Графики зависимости ERR(t): ситуация после проведения радонозащитных мероприятий
[Fig. 2. ERR(t) dependence graphs: after the radon mitigation actions]

Рис. 3. Графики зависимости ERR(t): ситуация равномерного пожизненного облучения
[Fig. 3. ERR(t) dependence graphs: the constant lifelong exposure scenario]

Таким образом, задачи по оценке риска при облучении радоном и его ДПР можно условно разделить на 2 группы, исходя из объема доступных входных данных:

1) оценка рисков для целей радиационно-гигиенической паспортизации, сравнительная оценка состояния радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации на основе обобщенных статистических данных;

2) оценка рисков при осуществлении практических работ, связанных с получением или использованием массивов измерительных данных о содержании радона в воздухе помещений отдельных зданий (группы зданий в населенном пункте, районе, регионе).

Исходя из этой классификации, можно предложить дифференцированный подход к самой процедуре расчета показателей риска. В случае, когда данные о содержании радона представлены единичными усредненными значениями ОА, ЭРОА радона или даже эффективной дозы за счет облучения радоном и его ДПР, детальный сценарий облучения отсутствует, и рассматривается ситуация равномерного пожизненного облучения, вполне

достаточным и целесообразным представляется использование упрощенной модели «Darby-2005», применение которой подробно рассмотрено в публикации [7]. В случае, когда в наличии имеются массивы измерительной информации об ОА или ЭРОА радона, есть возможность разработать сценарий облучения и получить необходимые МДД на уровне региона, района или даже населенного пункта, рекомендуется использовать модель «Tomasek-2014». Перечень показателей риска, расчет которых будет осуществляться, должен быть определен в первом случае соответствующими методическими рекомендациями, а во втором – адекватно соотноситься с целями и задачами конкретной практической работы. Следует отметить, что при прогнозировании и оценке результатов радонозащитных мероприятий расчет показателей риска не должен подменять собой оценку снижения прямого нормируемого показателя радиационной безопасности, а именно ЭРОА радона, а лишь дополнять его в целях выработки более четкого и ясного понимания долгосрочных результатов осуществления радонозащитных мероприятий, т.е. их конкретного влияния на здоровье населения.

Закключение

Предлагаемая методика оценки риска для здоровья населения при облучении радоном и его ДПР реализует дифференцированный подход к самой процедуре расчета показателей риска в зависимости от целей, для которых проводится оценка риска. Методика подходит для различных сценариев облучения, различных наборов исходных измерительных и статистических медико-демографических данных и различных задач, которые определяют необходимый для расчета набор показателей риска. Для задач со сценарием равномерного пожизненного облучения и ограниченным количеством входных данных предлагается использовать упрощенную модель «Darby-2005», а для задач со сложными сценариями облучения, особенно на ранних этапах жизни человека, с объемными массивами детальной измерительной информации – высокочувствительную многофакторную модель «Tomasek-2014».

Литература

1. Кононенко, Д.В. Проблема оценки радиационных рисков населения Российской Федерации при облучении радоном / Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 1. – С. 60–62.
2. 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.
3. 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.
4. Кононенко, Д.В. Влияние радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях на радиационный риск при облучении радоном (на примере одной из школ Санкт-Петербурга) / Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 90–96.
5. Кононенко, Д.В. Особенности оценки радиационного риска при облучении радоном в детском и подростковом возрасте / Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская // Актуальные вопросы радиационной гигиены : сб. тез.

- международ. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию со дня рождения П.В. Рамзаева. – СПб., 2014. – С. 122–125.
6. 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.
 7. Кононенко, Д.В. Оценка риска при облучении радоном для населения субъектов Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории / Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 15–22.
 8. Tomasek L. Effect of Age at Exposure in 11 Underground Miners Studies. *Radiat Prot Dosimetry*. 2014, Jul, 160(1-3): 124–7.
 9. UNSCEAR, 2000, Annex B “Exposures from natural radiation sources”. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2000.
 10. UNSCEAR, 2009. UNSCEAR 2006 Report, Annex E “Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces”. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2009.
 11. Злокачественные новообразования в России в 2014 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2016. – 250 с.
 12. Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака: отчет ИИЦ «Статистика России» Росстата и НИИ пульмонологии. – 2009. – 171 с.
 13. U.S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. EPA 402-R-03-003. Washington, D.C., 2003.
 14. Демин, В.Ф. Общая методика оценки риска воздействия на здоровье человека разных источников опасности / В.Ф. Демин, С.И. Иванов, С.М. Новиков // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2009. – Т. 54, № 1. – С. 5–15.
 15. Демин, В.Ф. Риск воздействия ионизирующего излучения и других вредных факторов на здоровье человека: методы оценки и практическое применение / В.Ф. Демин, И.Е. Захарченко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2012. – Т. 52, № 1. – С. 77–89.
 16. Демин, В.Ф. Модифицированная модель оценки риска при ингаляционном поступлении радона / В.Ф. Демин, М.В. Жуковский, С.И. Иванов, И.В. Ярмошенко // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2011. – Т. 56, № 5. – С. 21–30.
 17. Демин, В.Ф. Методика оценки риска от воздействия на здоровье человека радона и дочерних продуктов его распада / В.Ф. Демин, М.В. Жуковский, С.М. Киселев // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 5. – С. 64–69.
 18. Демин, В.Ф. Риск от воздействия радона на здоровье человека: методы оценки и практическое применение / В.Ф. Демин, М.В. Жуковский, С.М. Киселев // Атомная энергия. – 2015. – Т. 118, № 1. – С. 42–46.
 19. Салдан, И.П. Гигиеническая оценка радиационного риска эманаций радона на территории Алтайского края / И.П. Салдан, Б.А. Баландович, Н.Ю. Поцелуев, М.Х. Флат // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 2. – С. 44–47.
 20. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1).
 21. Публикация 115 МКРЗ. 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. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013. – 92 с.
 22. Tomasek L., Rogel A., Tirmarche M. et al. Dose conversion of radon exposure according to new epidemiological findings. *Radiat Prot Dosimetry*, 2008, 130(1):98–100.

Поступила: 18.10.2016 г.

Кононенко Дмитрий Викторович – научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: radon-and-life@yandex.ru

Для цитирования: Кононенко Д.В. Дифференцированный подход к оценке риска для здоровья населения при облучении радоном // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 76–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-76-83

A differentiated approach to the risk assessment from exposure to radon

Dmitry V. Kononenko

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The paper presents the methods of risk assessment from exposure to radon. Proposed methods implement a differentiated approach to the risk estimates calculation procedure which depends on the purpose of risk assessment. This approach is based on the analysis of the results of practical tests of different risk assessment models on arrays Russian medical and demographic data with and without consideration of the synergistic effect of smoking, in simple and complex exposure scenarios. All of these tests were performed in previous 5 years (results are available elsewhere). In this work the evaluation of effectiveness of radon mitigation actions in schools was used as a test task and results obtained using 4 models («EPA-2003», «Wismut-2006», «FCZ» and «Tomasek-2014») were compared. If it is important to evaluate the effect of reduction of radon concentration on the health of children and adolescents in terms of lifetime lung cancer risk, «Tomasek-2014» model will be the best choice. It is as sensitive as «FCZ» model and ERR is close to that from «Wismut-2006» model, which was earlier proposed by other authors for use with some modifications in Russia. If the data on radon concentration are limited (for example data from radiation-hygienic passports of territories) and constant lifelong exposure scenario is considered, it seems reasonable to apply more simple «Darby-2005» model. Thus, the proposed methods could be used by specialists in various fields in a wide range of tasks, from the risk assessment for the purposes of radiation-hygienic certification and comparative assessment of radiation safety of the population of different regions of Russia on the basis of the generalized statistical data, to the risk assessment in practical works where large amounts of measurement data on the radon concentration and complex exposure scenarios are used.

Key words: radon and progeny, radon-induced lung cancer, risk assessment, model, exposure scenario, risk estimates.

References

1. Kononenko D.V. Issues of risk assessment for the population of Russia from residential exposure to radon. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2012, Vol. 5, № 1, pp. 60–62. (In Russian)
2. Kormanovskaya T.A. Kononenko D.V. Accounting for smoking factor in models of risk assessment for the population from exposure to radon. *Proceedings of the XI-th All-Russia congress of hygienists and sanitary practitioners*. Vol II. M., 2012, pp. 473–476. (In Russian)
3. Kononenko D.V. Risk assessment for the population of Saint-Petersburg from residential exposure to radon. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2013, Vol. 6, № 1, pp. 31–37. (In Russian)
4. Kononenko D.V. Kormanovskaya T.A. Effect of radon mitigation actions in children's educational institutions on the risk from exposure to radon (an example of one of the schools in Saint-Petersburg). *Analiz riska zdorov'yu = Journal «Health Risk Analysis»*, 2014, № 2, pp. 90–96. (In Russian)
5. Kononenko D.V. Kormanovskaya T.A. Issues of risk assessment from exposure to radon in childhood and adolescence. *Actual issues of radiation hygiene: Book of abstracts of the International scientific and practical conference "Actual problems of radiation hygiene"*, dedicated to the 85th anniversary of Professor P.V. Ramzaev, SPb., 2014, pp. 122–125. (In Russian)
6. Kononenko D.V. Analysis of the applicability of some risk assessment models associated with exposure to radon for evaluation of effectiveness of radon mitigation actions in schools. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, № 4, pp. 92–98. (In Russian)
7. Kononenko D.V. Kormanovskaya T.A. Risk assessment for the population of regions of the Russian Federation from exposure to radon based on data from radiation-hygienic passports of territories. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015, Vol. 8, № 4, pp. 15–22. (In Russian)
8. Tomasek L. Effect of Age at Exposure in 11 Underground Miners Studies. *Radiat Prot Dosimetry*. 2014, Jul, 160(1-3): 124–7.
9. UNSCEAR, 2000, Annex B "Exposures from natural radiation sources". United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2000.
10. UNSCEAR, 2009. UNSCEAR 2006 Report, Annex E "Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces". United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2009.
11. Malignant neoplasms in Russia in 2014 (morbidity and mortality) Ed.: A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, G.V. Petrova. Moscow, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2016, 250 p. (In Russian)
12. Global adult tobacco survey: report Information Center "Statistics of Russia" and Research Institute of Pulmonology, 2009, 171 p. (In Russian)
13. U.S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. EPA 402-R-03-003. Washington, D.C., 2003. (In Russian)
14. Demin V.F., Ivanov S.I., Novikov S.M. Common Methodology of Health Risk Assessment for Impact of Different Harm Sources. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*, 2009, Vol. 54, № 1, pp. 5–15. (In Russian)

Dmitry V. Kononenko

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

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

15. Demin V.F. Zakharchenko I.E. Radiation risk and risk of other dangerous factors: methods of assessment and practical application. Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology, 2012, Vol. 52, № 1, pp. 77–89. (In Russian)
16. Demin V.F., Zhukovsky M.V., Ivanov S.I., Yarmoshenko I.V. Modified Model of Health Risk Assessment from Inhaled Radon. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Radiation Biology. Radioecology, 2011, Vol. 56, № 5, pp. 21–30. (In Russian)
17. Demin V.F., Zhukovsky M.V., Kiselev S.M. The methods of assessment of health risk from exposure to radon and radon daughters. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation, 2014, Vol. 93, № 5, pp. 64–69. (In Russian)
18. Demin V.F., Zhukovsky M.V., Kiselev S.M. Health Risk from Radon Impact: Assessment Method and Practical Application. Atomnaya energiya = Atomic Energy, 2015, Vol. 118, № 1, pp. 42–46. (In Russian)
19. Saldan I.P., Balandovich B.A., Potseluev N.Yu., Flat M.Kh. Hygienic assessment of the radiation risk of radon emanation at the territory of the Altai Region. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation, 2014, Vol. 93, № 2, pp. 44–47. (In Russian)
20. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1).
21. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. Ed.: M.V. Zhukovskiy, S.M. Kiselev, A.T. Gubin. Translation ICRP Publication 115. M. Pub. «FGBU SSC FMBC Them. Al Burnazyan FMBA of Russia», 2013, 92 p. (In Russian)
22. Tomasek L., Rogel A., Tirmarche M. et al. Dose conversion of radon exposure according to new epidemiological findings. Radiat Prot Dosimetry, 2008, 130(1): 98–100.

Received: October 18, 2016

For correspondence: Dmitry V. Kononenko – 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 Str., 8, 197101, St. Petersburg, Russia; E-mail: radon-and-life@yandex.ru)

For citation: Kononenko D.V. A differentiated approach to the risk assessment from exposure to radon. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No 1, pp. 76-83. (In Russian)
DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-76-83