

Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном

Д.В. Кононенко

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

В статье представлены результаты расчетов риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном и его продуктами распада в жилых домах с учетом синергического влияния фактора табакокурения с использованием модели, разработанной Агентством по охране окружающей среды США. Около 17% смертельных случаев рака легких среди всего населения города могут приходить на долю радон-индуцированного рака легких, а пожизненный атрибутивный популяционный риск составляет около 8%.

Ключевые слова: радон и короткоживущие дочерние продукты распада, радон-индуцированный рак легких, облучение в быту, оценка риска, табакокурение.

Введение

Оценка и анализ риска – это эффективный современный инструмент поддержки принятия решений по защите населения и персонала от опасных факторов различной природы, в том числе ионизирующего излучения [1, 2]. На данный момент официально утвержденных методик по оценке радиационных рисков для населения при облучении радоном и его короткоживущими дочерними продуктами распада (ДПР) не существует, хотя руководством Роспотребнадзора в 2010 г. была поставлена задача внедрить в практику методологию оценки риска, а также гармонизировать гигиенические нормативы на основе этой методологии [3, 4]. На период отсутствия утвержденных отечественных методик предусмотрена возможность временного использования зарубежных методик, в частности, разработанных Агентством по охране окружающей среды США. Подробнее этот вопрос рассматривался в публикации [5].

В соответствии с трехуровневой структурой (общая методика → частная методика → упрощенная методика; подробнее см. [1, 2]), методика оценки риска для населения при облучении радоном и его ДПР в жилых домах является частной методикой, центральными элементами которой являются математическая модель зависимости «экспозиция – ответ» и описание необходимых для расчетов медико-демографических данных (МДД). В данной публикации представлены результаты одного из шагов на пути к разработке данной методики, что представляется невозможным без апробации различных современных моделей на существующей в данный момент структуре российских МДД.

Для апробации была выбрана модель EPA-2003 (условное название, используемое в данной работе), разработанная Агентством по охране окружающей среды США, с использованием которой впервые была проведена оценка риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном и его ДПР в жилых домах с учетом синергического влияния фактора табакокурения. Полученный опыт практического применения одной из современных моделей оценки риска при облучении радоном и его ДПР позволил сделать вывод о пригодности ее использования с российскими МДД, а также выявить ряд необходимых

показателей, отсутствующих в структуре МДД на данный момент, из-за чего в процессе расчетов пришлось сделать некоторые допущения.

Методы

Для некоторых факторов риска вероятность проявления вызываемых ими эффектов зависит от уровня спонтанной заболеваемости или смертности. В этом случае для описания зависимости «экспозиция – ответ» применяются мультипликативные модели (в противовес аддитивным, применяющимся при отсутствии связи со спонтанной заболеваемостью). Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) в Публикации 65 (1993 г.) [6, 7] рекомендовала для случая радон-индуцированного рака легких использовать именно мультипликативную форму моделей. В этом случае смертность от радон-индуцированного рака легких связана с фоновой возраст-специфической смертностью от рака легких с помощью коэффициента избыточного относительного риска (ERR – excess relative risk). Понятие «Фоновый» (или «базовый») относится к состоянию здоровья населения без учета действия рассматриваемого вредного фактора. Центральным элементом всех существующих моделей оценки риска при облучении радоном и его ДПР является именно выражение для расчета ERR.

В 2003 г. Агентство по охране окружающей среды США выпустило уже второе по счету практическое руководство по оценке рисков за счет облучения населения радоном и его ДПР в жилых домах [8], основанное на одной из наиболее признанных в мире [9, 10] моделей, предложенных Национальной академией наук США в докладе «BEIR VI» (1999 г.) [11]. Модель EPA-2003 определяет избыточный относительный риск как линейную функцию от экспозиции радоном и его ДПР, является мультипликативной и беспороговой. В этой модели ERR зависит от уровня ЭРОА радона в воздухе, при котором формировалась полученная экспозиция; времени, прошедшего с момента облучения; достигнутого возраста, для которого производится оценка риска. Кроме того, в модели учитывается так называемое субмультипликативное взаимодействие факторов курения и облучения радоном и его ДПР. Параметров, препятство-

вавших бы использованию модели с российскими МДД, в процессе анализа выявлено не было.

Общий вид модели представлен выражением:

$$ERR(t) = \beta \cdot (\theta_{5-14} \cdot \omega_{5-14} + \theta_{15-24} \cdot \omega_{15-24} + \theta_{25+} \cdot \omega_{25+}) \cdot \phi_{age} \cdot \gamma_z, \quad (1)$$

где β – основной параметр зависимости «экспозиция – ответ»;

$\omega_{5-14}, \omega_{15-24}, \omega_{25+}$ – кумулятивная экспозиция радоном и его ДПР, полученная в интервалах времени от 5 до 14 лет, от 15 до 24 лет и от 25 лет и более до возраста t , для которого производится оценка риска;

$\theta_{5-14}, \theta_{15-24}, \theta_{25+}$ – коэффициенты, представляющие относительный вклад в риск возникновения рака легких экспозиций, полученных в указанные интервалы времени до возраста t ;

ϕ_{age} – коэффициент пропорциональности, учитывающий уменьшение канцерогенной восприимчивости ткани легких с увеличением достигнутого возраста;

γ_z – параметр, зависящий либо от длительности облучения (в годах), либо от уровня ЭРОА радона, при котором формировалась полученная экспозиция.

При расчетах значения коэффициентов модели $\beta, \theta, \phi_{age}$ и γ_z были взяты из руководства [8]. В модели также заложено наличие пятилетнего латентного периода в развитии рака легких, поэтому экспозиция, полученная за последние 5 лет до возраста t , в выражении (1) не учитывается.

Важным дополнением в модели EPA-2003 является переход от фиксированной доли курящего населения (58% мужчин и 42% женщин), принятой в «BEIR VI», к более детальному возрастному распределению. При этом модель EPA-2003 унаследовала коэффициенты, отвечающие за субмультипликативное взаимодействие факторов курения и облучения радоном и его ДПР: $ERR_{NS} = 2 \cdot ERR$ (для некурящего населения), $ERR_{ES} = 0,9 \cdot ERR$ (для курящего населения). Несмотря на то, что избыточный относительный риск для некурящей части населения более чем в 2 раза выше, чем для курящей, абсолютный риск все же гораздо выше для курящих, поскольку уровни спонтанной заболеваемости раком легких среди них примерно в 14 (для мужчин) и 12 (для женщин) раз выше, чем среди некурящих [8].

В качестве оценок риска рассчитывались следующие показатели:

1. Абсолютное число смертельных случаев рака легких, который может быть радон-индуцированным, а также доля от общего числа смертельных случаев рака данной локализации.

2. Ожидаемая дополнительная смертность от радон-индуцированного рака легких.

3. Пожизненный атрибутивный популяционный риск.

Пожизненный атрибутивный популяционный риск (LAR_{pop}) является основной оценкой в последних отчетах и докладах ведущих мировых организаций, специализирующихся на оценках рисков [12, 13], и представляет собой вероятность преждевременной смерти от рака, вызванного облучением. Согласно методологии, описанной в [9, 12, 13], расчет LAR_{pop} производится в два этапа. Сначала рассчитывается индивидуальный пожизненный атрибутивный риск, а затем – пожизненный атрибутивный популяционный риск.

Материалы

Для расчета оценок риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном и его ДПР в жилых домах с учетом синергического влияния фактора табако-

курения с использованием модели EPA-2003 были задействованы следующие исходные данные:

1) среднее значение ЭРОА радона в жилых домах, расположенных на территории города;

2) половозрастное распределение доли курящего населения города;

3) половозрастное распределение общей абсолютной смертности от рака легких (в том числе среди курящих и некурящих) и грубых показателей смертности от рака легких в городе;

4) половозрастное распределение вероятностей дожития до определенного возраста;

5) половозрастное распределение общей численности населения города.

Уровни ЭРОА радона

За 11 лет функционирования Федерального банка данных по дозам облучения населения РФ за счет природного и техногенно измененного радиационного фона в стране собран уникальный массив информации об уровнях содержания радона и его ДПР в воздухе жилых зданий [5]. В данной работе использовались исходные данные об уровнях ЭРОА радона в воздухе жилых домов на территории Санкт-Петербурга, полученные по результатам измерений за 2007–2011 гг., которые содержатся в указанном Федеральном банке данных.

Согласно общепринятым в мировом научном сообществе взглядам [14, 15], распределение значений ЭРОА радона подчиняется логнормальному закону. Поэтому в качестве среднего значения для расчета мощности экспозиции радоном и его ДПР использовалось медианное значение. Характеристики массива данных и параметры логнормального распределения представлены в таблице.

Таблица

Характеристики массива данных и параметры логнормального распределения

Параметр	Значение
Количество измерений	23 767
Минимум, Бк/м ³	7,5
Максимум, Бк/м ³	203
Медиана, Бк/м ³	20,6
Геометрическое стандартное отклонение σ_g	1,5

Для расчета ERR было сделано следующее допущение:

(А) Уровень ЭРОА радона в жилище является постоянным на протяжении всей жизни.

То есть в работе рассматривалась ситуация равномерного пожизненного облучения. Причина, по которой необходимо было сделать это допущение, проста: полную и корректную реконструкцию условий облучения на протяжении столь длительного срока практически невозможно провести даже в условиях строгого эпидемиологического исследования. В ряде опубликованных работ с результатами исследований связи облучения людей радоном в жилых домах с раком легких методом «случай – контроль» [16, 17] относительный риск оценивался на основе данных об уровнях облучения радоном только за 25–30-летний период, предшествовавший выявлению рака легких; условия облучения в более ранний период восстановить не удалось.

Распространенность табакокурения

В 2009 г. Россия провела «Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака (GATS)» [18], 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. Распространенность табакокурения среди различных половозрастных групп населения, по данным [18], представлена на рисунке 1.

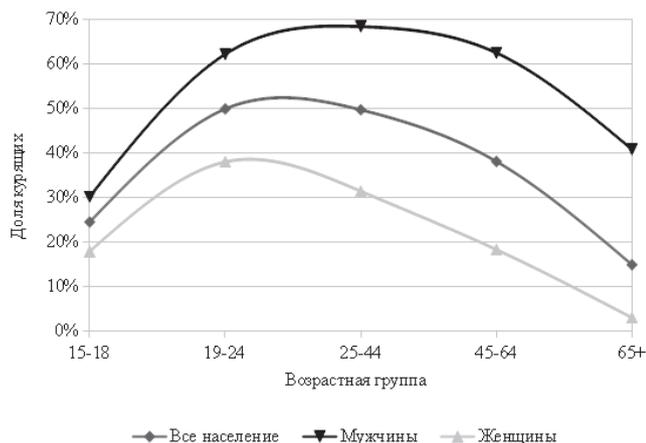


Рис. 1. Распространенность табакокурения среди населения РФ

Данные о распространенности табакокурения среди различных половозрастных групп населения на регулярной основе в России не собираются. Фактически на данный момент результаты [18] являются единственным достоверным источником информации по этому вопросу. Хотя даже в нем отсутствуют сведения о распределениях для конкретных субъектов РФ. Поэтому для использования в расчетах данных [18] необходимо было сделать следующие допущения:

(Б) Половозрастное распределение доли курящего населения Санкт-Петербурга совпадает с общероссийским.

(В) 100% населения в возрасте младше 15 лет считается некурящим.

Показатели смертности

В структуре смертности населения России от злокачественных новообразований наибольший удельный вес имеют опухоли органов дыхания (17,7%), при этом среди мужчин эта доля еще выше (27,4%), в то время как среди женщин она значительно ниже (6,5%) [19].

Для расчета абсолютного числа смертей от рака легких, который может быть радон-индуцированным, были необходимы данные об общем числе смертей от рака данной локализации в Санкт-Петербурге, вызванного всеми причинами, представленные в виде половозрастного распределения, а для расчета ожидаемой дополнительной смертности от радон-индуцированного рака легких – грубые показатели смертности от рака легких, вызванного всеми причинами. Источником этих данных послужил справочник «Злокачественные новообразования в России в 2009 г. (заболеваемость и смертность)»

[19]. В нем, однако, отсутствует половозрастное распределение необходимых параметров для конкретных субъектов РФ. Поэтому необходимо было сделать следующее допущение:

(Г) Половозрастное распределение общего числа смертей от рака легких, вызванного всеми причинами, для населения Санкт-Петербурга совпадает с общероссийским.

Половозрастное распределение грубых показателей смертности от рака легких, вызванного всеми причинами, было получено с использованием половозрастного распределения числа смертей от рака данной локализации и соответствующего распределения общей численности населения. В соответствии с пособием [20], данный показатель (на 100 000 населения) рассчитывается как отношение числа случаев смерти в данной возрастной группе к ее численности.

Стоит также отметить, что в российских МДД отсутствует такой показатель, как доля курящих среди абсолютного числа умерших от рака легких. Поэтому, чтобы учесть столь важное для дальнейших расчетов распределение, необходимо было сделать еще одно допущение, основанное на данных Агентства по охране окружающей среды США [8]:

(Д) 95% смертей от рака легких среди мужчин и 90% среди женщин приходится на долю курящих.

Вероятности дожития

Источником возрастных коэффициентов смертности, на основе которых строилось половозрастное распределение вероятности дожития до определенного возраста, служила Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [21], являющаяся государственным источником актуальных и достоверных статистических данных, получаемых из ведомственных хранилищ данных.

Графики зависимости возрастного коэффициента смертности и вероятности дожития человека от рождения до определенного возраста, носящие название кривых Гомпертца – Мейкхама, построенные по данным ЕМИСС за 2009 г., представлены на рисунках 2 и 3.

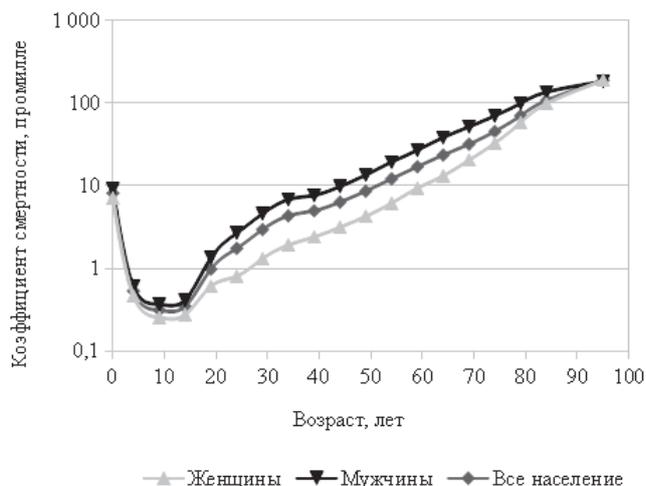


Рис. 2. Зависимость возрастного коэффициента смертности от достигнутого возраста

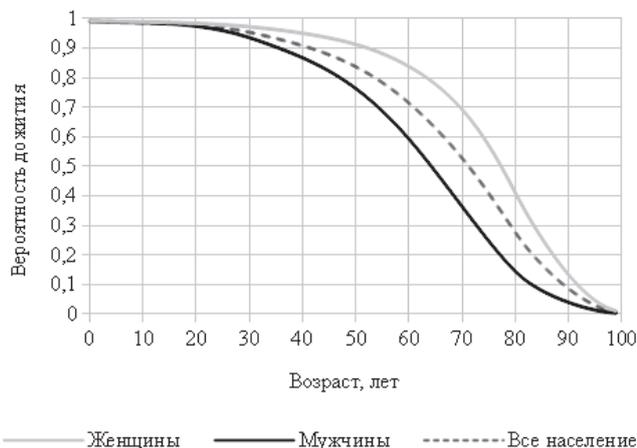


Рис. 3. График зависимости вероятности дожития человека от рождения до определенного возраста

Численность населения

Источником данных о численности населения также служила ЕМИСС. Половозрастное распределение численности населения Санкт-Петербурга, построенное по данным ЕМИСС за 2009 г., представлено на рисунке 4.

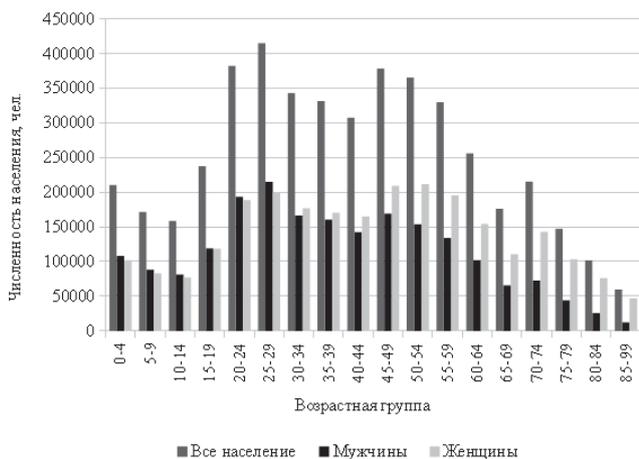


Рис. 4. Половозрастное распределение численности населения Санкт-Петербурга

Результаты

Расчеты по модели EPA-2003 на основе описанных исходных данных дали следующие результаты:

1. Из 1829 случаев смерти от рака легких в Санкт-Петербурге в 2009 г. (из них 1377 среди мужчин и 452 среди женщин) 316 случаев (17,28%) могут быть случаями смерти от радон-индуцированного рака легких (из них 246 (17,86%) среди мужчин и 70 (15,49%) среди женщин).

2. В этих результатах было учтено синергическое взаимодействие факторов курения и облучения радоном и его ДПР. В соответствии с принятыми при расчетах допущениями, распределение случаев смерти от радон-индуцированного рака легких между курящими и некурящими выглядит следующим образом: 283 случая среди курящих (из них 225 среди мужчин и 58 среди женщин) и 33 случая среди некурящих (из них 21 среди мужчин и 12 среди женщин).

3. Показатель ожидаемой дополнительной смертности от радон-индуцированного рака легких составляет (на 100 000 населения) 6,9 для всего населения, 12,11 – для мужчин и 2,68 – для женщин. Показатель фоновой смертности от рака легких при этом составляет 32,94 для всего населения, 54,86 – для мужчин и 15,15 – для женщин;

4. Пожизненный атрибутивный популяционный риск при облучении радоном и его ДПР в жилых домах (ситуация равномерного пожизненного облучения при ЭРОА радона равной 20,6 Бк/м³) составляет 8,4% для всего населения, 11,1% – для мужчин, 3,8% – для женщин.

Обсуждение

Гистограммы, отображающие возрастное распределение общего числа случаев смерти от рака легких (N) и числа случаев смерти от радон-индуцированного рака легких (NRn) в трех когортах населения Санкт-Петербурга (все население; мужчины; женщины), представлены на рисунках 5–7.

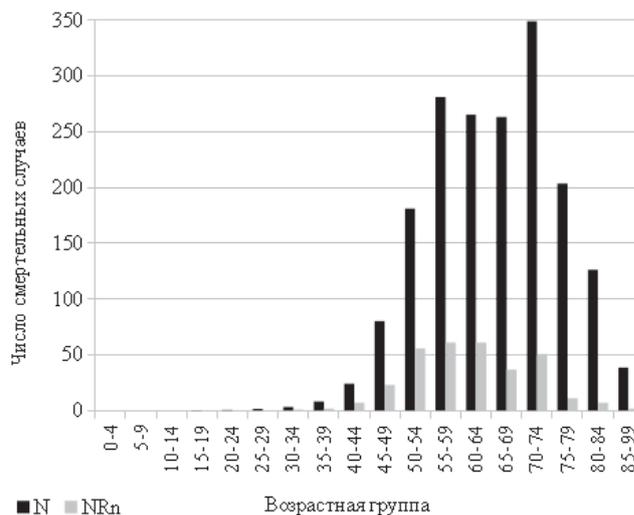


Рис. 5. Возрастное распределение числа случаев смерти от рака легких (все население Санкт-Петербурга)

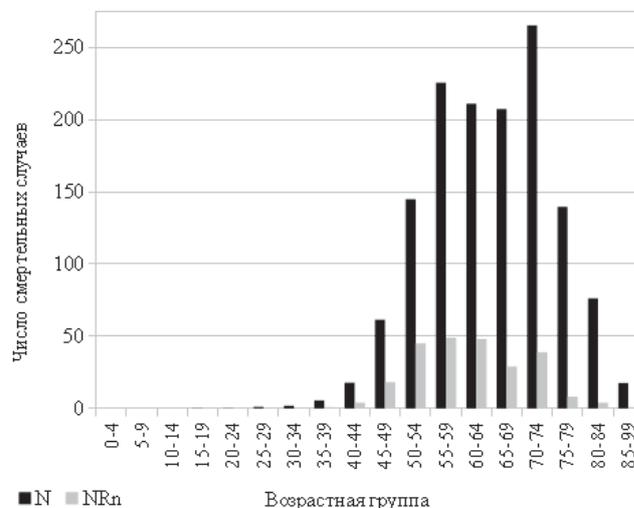


Рис. 6. Возрастное распределение числа случаев смерти от рака легких (мужское население Санкт-Петербурга)

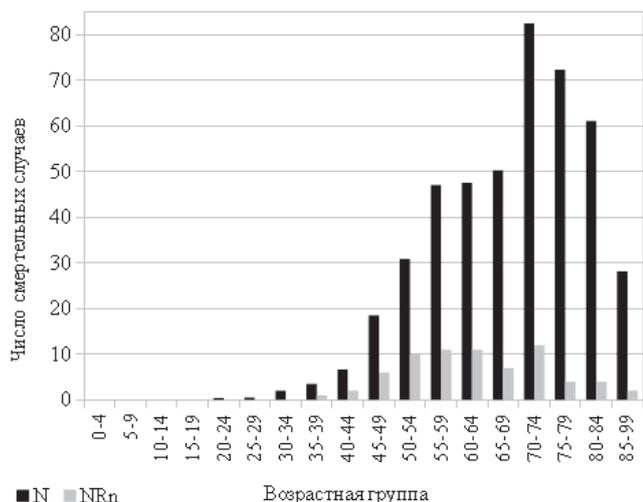


Рис. 7. Возрастное распределение числа случаев смерти от рака легких (женское население Санкт-Петербурга)

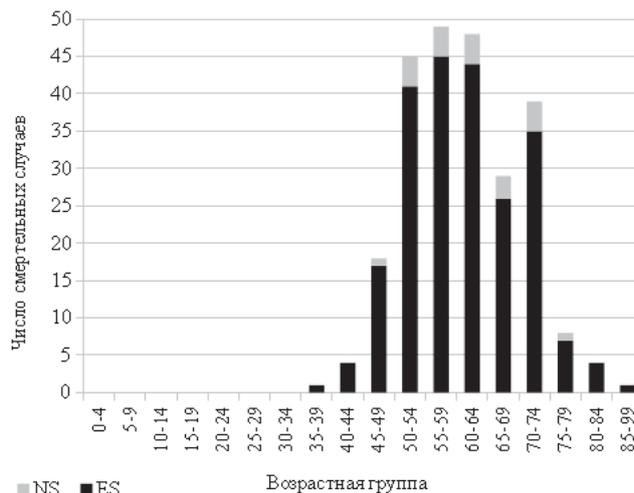


Рис. 9. Возрастное распределение числа случаев смерти от радон-индуцированного рака легких (мужское население Санкт-Петербурга)

Стоит обратить особое внимание на смещение пика смертности из возрастной группы «70–74» в группы «55–59» и «60–64» (для всего населения Санкт-Петербурга и мужской его части; для женской части населения этот эффект менее заметен) в случае радон-индуцированного рака легких по сравнению с раком легких от всех причин. Показатель «Количество потерянных лет жизни» в данной работе не рассчитывался, однако нетрудно видеть, что потеря может составить как минимум 6 лет. Эта цифра согласуется с оценками Агентства по охране окружающей среды США для населения США (6,1 лет для мужчин, 7 лет для женщин, 6,5 лет по всей популяции; средний уровень ЭРОА радона – 23 Бк/м³) [8].

На рисунках 8–10 представлены гистограммы, отображающие возрастное распределение числа случаев смерти от радон-индуцированного рака легких среди курящих (ES – ever smokers) и некурящих (NS – never smokers) в трех когортах населения Санкт-Петербурга (все население; мужчины; женщины).

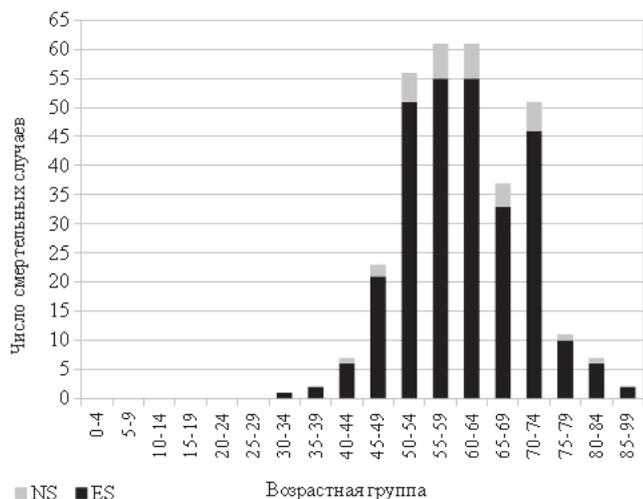


Рис. 8. Возрастное распределение числа случаев смерти от радон-индуцированного рака легких (все население Санкт-Петербурга)

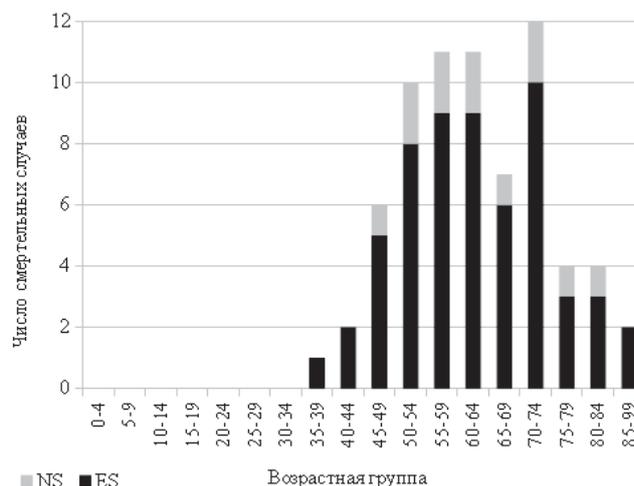


Рис. 10. Возрастное распределение числа случаев смерти от радон-индуцированного рака легких (женское население Санкт-Петербурга)

Представленные гистограммы наглядно показывают особенность синергического взаимодействия факторов курения и облучения радоном и его ДПР. С одной стороны, подавляющая часть смертельных случаев радон-индуцированного рака легких приходится на когорту курящих. Подобный же вывод сделан и в Публикациях 115 МКРЗ [22] и ВОЗ [23]. С другой стороны, доля смертельных случаев радон-индуцированного рака легких в когорте некурящих (30,84% среди всего населения Санкт-Петербурга, 30,43% среди мужчин, 52,17% среди женщин) почти в 2 раза (а среди женщин почти в 4 раза) выше, чем в когорте курящих (16,43% среди всего населения, 17,2% среди мужчин, 13,52% среди женщин). Этот вывод хорошо согласуется с данными [10]: во Франции среди курящих доля смертельных случаев радон-индуцированного рака легких составляет от 8 до 11%, среди некурящих – от 36 до 50%.

Заключение

В ходе проведения оценки риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном и его ДПР в жилых домах с использованием модели ЕРА-2003 был сделан ряд допущений, несомненно являющихся источниками неопределенности в получаемых оценках. Основной причиной, по которой пришлось пойти на этот шаг, является отсутствие в современной российской структуре МДД ряда необходимых для расчета показателей. К ним, в частности, относятся:

1) половозрастное распределение доли курящего населения по субъектам РФ, собираемое на регулярной основе, включая распределение в младших возрастных группах. В данной работе было принято допущение, что 100% населения младше 15 лет является некурящим, хотя существуют данные о том, что у определенного процента детей в Санкт-Петербурге возраст начала регулярного курения составляет 7–9 лет [24];

2) половозрастное распределение доли курящих среди умерших от рака легких по субъектам РФ.

При определении средней ЭРОА радона в воздухе жилых домов в Санкт-Петербурге были использованы данные за пятилетний период, с 2007 по 2011 г. Принимая во внимание кумулятивный характер статистики по природным источникам облучения, можно предположить, что увеличение объема данных с результатами измерений, по которым производится расчет параметров логнормального распределения, за счет расширения временного интервала (и, как следствие, охвата территории города) позволит получить более точную оценку медианного значения ЭРОА радона, характерного для жилых домов в городе.

Поскольку рак легких возникает под влиянием двух основных синергически взаимодействующих факторов (табакокурения и облучения радоном и его ДПР), для снижения смертности от радон-индуцированного рака легких и пожизненного атрибутивного популяционного риска при облучении радоном и его ДПР необходимо проводить мероприятия по двум направлениям. В социальной сфере это уменьшение доли курящего населения, а в сфере надзора за радиационной безопасностью – это выявление жилых зданий, а также детских образовательных учреждений с уровнями ЭРОА радона, превышающими установленные нормативные значения, и осуществление в них рациональных радонозащитных мероприятий.

Литература

- 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.
- 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
- Решение 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».
- Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 10 марта 2010 г. № 86 «О создании межведомственной рабочей группы по гармонизации гигиенических нормативов».
- 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.
- ICRP, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2). – Oxford: Pergamon Press, 1993.
- Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ ; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 68 с.
- U.S. Environmental Protection Agency. EPA assessment of risks from radon in homes. EPA 402-R-03-003. – Washington, D.C., 2003.
- Grosche, B. Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946–1998. / B. Grosche [et al.] // British Journal of Cancer. – 2009 – V. 95 (9). – P. 1280–1287.
- Catelinois, O. Lung Cancer Attributable to Indoor Radon Exposure in France: Impact of the Risk Models and Uncertainty Analysis. / O. Catelinois [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2006 – V. 115, № 9. – P. 1361–1366.
- NAS (National Academy of Sciences). Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI). – Washington, D.C.: National Academy Press, 1999.
- NAS (National Academy of Sciences). Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR VII – Phase 2). – Washington, D.C.: National Academy Press, 2006.
- U.S. Environmental Protection Agency. EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population. EPA 402-R-11-001. – Washington, D.C., 2011.
- UNSCEAR, 2000, Annex B «Exposures from natural radiation sources». United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations. – New York, 2000.
- 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.
- Darby, S. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. / S. Darby [et al.] // BMJ. – 2005 – № 330. – P. 223–228.
- Darby, S. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data from 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe / S. Darby [et al.] // Scand. J. Work Environ. Health. – 2006 – 32 suppl. 1. – P. 1–84.
- Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака: отчет ИИЦ «Статистика России» Росстата и НИИ пульмонологии. – 2009. – 171 с.
- Злокачественные новообразования в России в 2009 году (заболеваемость и смертность) / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена Минздравсоцразвития России, 2011. – 260 с.
- Петрова, Г.В. Характеристика и методы расчета статистических показателей, применяемых в онкологии / Г.В. Петрова [и др.]. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2005. – 39 с.
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [электронный ресурс]. – <http://www.fedstat.ru/indicators/start.do>. Введена в эксплуатацию совместным приказом Минкомсвязи России и Росстата от 16 ноября 2011 года № 318/461.

22. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40 (1). – Elsevier, 2011.
23. WHO, 2009. WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective. – Geneva: WHO Press, 2009.
24. Суховская, О.А. Распространенность табакокурения в Санкт-Петербурге. / О.А. Суховская [и др.] // Сайт Центрального НИИ организации и информатизации здравоохранения [электронный ресурс]. – http://www.mednet.ru/images/stories/files/zosh/Rasprostranennost_tabakokureniya_v_Sankt-Peterburge.pdf

D.V. Kononenko

Risk assessment for the population of Saint-Petersburg from residential exposure to radon

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

Abstract. The paper presents the results of risk assessment for the population of Saint-Petersburg from residential exposure to radon and progeny considering interaction with tobacco smoking. U.S. EPA model was used. About 17% of lung cancer deaths in the general population could be radon-induced and the lifetime attributable risk for the population is about 8%.

Key words: radon and progeny, radon-induced lung cancer, residential exposure, risk assessment, tobacco smoking.

Поступила: 19.11.2012 г.

Кононенко Д.В.
Тел.: 8(812)232-74-63
E-mail: radon-and-life@yandex.ru