

Радон и канцерогенный риск в г. Москве

С.М. Голованёв

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности
и гигиены ФМБА России, Москва, Россия

Резюме

Цель: сравнительная оценка канцерогенного риска в г. Москве от радона в помещениях и атмосферных загрязнителей.

Материалы и методы: структура заболеваемости раком лёгкого в округах г. Москвы; радиационно-гигиенические паспорта территории; модельные оценки снижения среднего возраста смерти от рака лёгкого, индуцированного радоном, Агентства по охране окружающей среды США; материалы Доклада Научного комитета Организации Объединённых Наций 2006 г. и Руководства Всемирной организации здравоохранения по радону в помещениях 2009 г.; анализ тенденций заболеваемости, дополнительного относительного риска, оценка популяционного риска рака лёгкого от облучения радоном и его соотношения с опубликованными значениями суммарного популяционного канцерогенного риска от химических канцерогенов.

Результаты: показано, что 304 случая рака лёгкого в год ($1,85 \cdot 10^{-3}$) в среднем с 2006 по 2011 г. (21 280 заболеваний за 70 лет дополнительно к фоновому уровню) индуцированы радоном; установлены различия в средних тенденциях заболеваемости раком лёгкого в округах, которые могут превышать 25%.

Выводы. В среднем потенциал уменьшения суммарного канцерогенного риска мерами по снижению объёмной активности радона пятикратно превышает эффективность затрат на снижение выбросов от автотранспорта. Эти меры позволяют снизить онкологическую заболеваемость в среднем на 236 случаев в год; популяционный риск — на 16 520 случаев за 70 лет или сберечь не менее 2832 чел.-лет жизни в год. Эффект снижения потерь от недожития 12 лет вследствие смерти от рака лёгкого, индуцированного радоном, превысит 14 160 000 долларов в год. Оценка канцерогенного риска от облучения радоном в соответствии с определением популяционного риска повышает прогноз эффективности профилактических мер более чем в два раза.

Ключевые слова: радон, канцерогенный риск, дополнительный относительный риск, рак лёгкого, заболеваемость, загрязнение атмосферного воздуха, Москва, административный округ.

Введение

Здоровье населения и качество окружающей среды в г. Москве является предметом внимания научных коллективов и администрации города. Масштаб задач обусловлен территорией, численностью населения, количеством и мощностью источников техногенного воздействия. Каждый административный округ (АО) по этим факторам эквивалентен большому городу, а Москва в целом сопоставима с некоторыми странами.

Среди проблем, связанных с загрязнением окружающей среды, наибольшую опасность для здоровья представляет загрязнение атмосферного воздуха (АВ), состояние которого Роспотребнадзор по г. Москве оценивает как неблагоприятное и определяет как ведущую среду обитания, обуславливающую канцерогенный и неканцерогенный риск [1, 2]. Основным источником загрязнения АВ является автомобильный транспорт, вклад которого в загрязнение воздуха составляет 93% [3–5].

Наряду с техногенным загрязнением АВ, важное гигиеническое значение имеет облучение радоном в домашних условиях (здесь под термином «радон» подразумеваются радон и короткоживущие продукты распада радона с коэффициентом равновесия $F=0,5$ — эквивалентная равновесная объёмная активность (ЭРОА) радона). Облучение радоном в помещениях является основной экогенной причиной рака лёгкого (РЛ) у некурящих и второй по значимости после курения причиной РЛ в целом.

Канцерогенный риск зависит главным образом от объёмной активности радона в воздухе помещений [6–10].

Цель исследования — сравнение рассматриваемых канцерогенных рисков на примере г. Москвы может иметь практическое значение при планировании и реализации мер по сохранению благоприятной окружающей среды и снижению онкологической заболеваемости, связанной с экологическими факторами.

Задачи исследования

Актуальность такого сравнения могут проиллюстрировать ответы на вопросы: количество случаев заболеваний раком лёгкого в Москве, обусловленное радоновой экспозицией в сравнении с химическим загрязнением АВ; количество потерянных лет жизни вследствие гибели от РЛ, индуцированного радоном; наличие различий в средних тенденциях заболеваемости РЛ в АО Москвы и их причины; пути снижения рассматриваемого экологического риска; эффективность затрат на экологический мониторинг и профилактику канцерогенного риска.

Материалы и методы

Статистические данные о заболеваемости раком лёгкого в г. Москве и его АО; радиационно-гигиенические паспорта территории г. Москвы; модельные оценки [9] снижения среднего возраста смерти от рака лёгкого,

индуцированного радоном; материалы Доклада НКДАР ООН [6, 7] и Руководства ВОЗ [8]. В работе использованы анализ тенденций заболеваемости с применением непараметрических критериев различия; определение значения коэффициента дополнительного относительного риска (ДОР) на основе линейной зависимости; анализ показателей для оценки риска от радона в г. Москве; оценка популяционного риска рака лёгкого от облучения радоном и его соотношения с опубликованными значениями суммарного популяционного канцерогенного риска (ПКР) от химических канцерогенов.

Результаты и обсуждение

Средние значения ЭРОА радона в воздухе помещений по результатам измерений, выполненных в период 6 лет в различных АО города согласно радиационно-гигиеническим паспортам территории Москвы за 2006–2011 гг., приведены в таблице 1.

Таблица 1

ЭРОА радона в воздухе помещений в г. Москве

Показатели	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Радон, среднее за год (Бк/м ³)	28,8	28	23,8	32,1	29,2	20,1

Для расчётов использовано среднее значение по результатам измерений, выполненных в период 6 лет, – 27 Бк/м³.

Жители первых этажей в г. Москве могут подвергаться радоновой опасности в большей степени. Примерно у 6% из них облучение за счёт радона квалифицируется как повышенное [11].

Значения ЭРОА радона, приведённые в таблице 1, получены в результате краткосрочных измерений. Неопределённости, свойственные оценкам, подробно рассмотрены в [7, 8]. По данным ВОЗ, надёжные оценки можно получить, применяя долгосрочные интегральные измерения [8]. Следует отметить, что при сравнении оценок риска, основанных на долгосрочных и инспекционных измерениях, установлено, что первые были в два раза выше [8].

Полученное значение 27 Бк/м³ основано на официальных результатах контроля, выполненного во всех АО г. Москвы. В данной работе принято предположение, что это значение является средним для всех АО г. Москвы. Соответственно, средний риск заболевания от облуче-

ния радоном в домашних условиях будет одинаков во всех округах Москвы, а доля индуцированных случаев РЛ постоянна с неопределённостью, характерной для коэффициента ДОР (ДОР – мультипликативный прирост дополнительной заболеваемости или преждевременной смертности от РЛ от облучения сверх фонового уровня [9]) и среднего значения ЭРОА радона.

Согласно Докладу НКДАР ООН [7] и Руководству ВОЗ [8], результаты объединённых эпидемиологических европейских и североамериканских исследований могут быть основой для прямого метода оценки риска от долгосрочного воздействия радона в домах. В качестве разумной консервативной оценки пожизненного риска РЛ от облучения радоном в жилищах предложено использовать значение пожизненного ДОР из работы S. Darby et al. [12] – 0,16 (95% ДИ: 0,05; 0,31) на 100 Бк/м³ (объёмной активности радона (ОА)), как для курящих, так и для некурящих, с погрешностью примерно в три раза выше или ниже этой величины. Этот коэффициент после коррекции на погрешности измерений не зависел от возраста или пола или от отношения к курению, а зависимость «доза – эффект» была близка к линейной [7, 8]. Экстраполяция к условиям радоновой экспозиции в жилых помещениях Москвы (27 Бк/м³ ЭРОА радона /F=0,5=54 Бк/м³ ОА) даёт среднее значение коэффициента ДОР 0,086. При сравнении с опубликованными значениями популяционного риска от атмосферных загрязнителей потребуется значение ДОР на уровне верхней границы доверительного интервала, которое, соответственно, составит 0,167.

В таблице 2 представлено расчётное количество случаев заболеваний, индуцированных облучением радоном в жилых помещениях в Москве на основании данных Департамента здравоохранения г. Москвы по заболеваемости в 2006–2011 гг. Рассмотрены данные по абсолютному количеству заболевших обоёго пола с диагнозом РЛ, установленным впервые в жизни.

По данным за 6 лет, среднее число впервые заболевших было 2815,6 случаев в год, а среднее расчётное число дополнительных заболеваний, индуцированных радоном, составило 242 случая в год (2815,6 × 0,086). Это сопоставимо с данными объединённого европейского исследования по смертности населения Швейцарии вследствие облучения от радона (численность около 8 млн человек, ЭРОА радона в домах 31 Бк/м³) – 231 в год [8] с учётом статистики выживаемости при таком диагнозе.

Таблица 2

Заболеваемость и риск рака лёгкого, индуцированного радоном, в г. Москве в 2006–2011 гг.

Год	Абс. число случаев среди взрослых	Взрослое население, тыс. чел.	На 100 тыс. чел. взросл. населен.	Индуцировано радоном*	Население в целом, тыс. чел.	На 100 тыс. чел. населен. в целом **
2006	2860	8471,88	33,75	246 (478)	10433,8	27,23
2007	2873	8607,64	33,38	247 (480)	10456,5	27,94
2008	2894	8696,68	33,28	249 (483)	10489,4	28,13
2009	2851	8677,48	32,85	237 (476)	10536,0	27,64
2010	2763	8755,06	31,56	237 (461)	11510,1	24,53
2011	2653	9536,06	27,82	228 (443)	11577,0	22,99

* – среднее значение и значение на уровне верхней доверительной границы (в скобках);

** – по данным Роспотребнадзора [4].

Ориентировочная количественная оценка снижения среднего возраста смерти от РЛ, индуцированного радоном, может быть получена на основании модельных оценок, выполненных Агентством по охране окружающей среды США [9]. Оценки, выполненные для населения США, специфичны для этой страны. Однако сравнение показателей, использованных при расчётах с аналогичными показателями для населения г. Москвы, может дать ориентир для минимального значения такой оценки. В таблице 3 приведены значения показателей, использованных при расчётах [9], и аналогичные показатели для г. Москвы.

Таблица 3
Сравнение значений показателей, использованных при расчётах снижения среднего возраста смерти от рака лёгкого, индуцированного радоном для населения США и г. Москвы

Показатель	США [9]	Москва
Экспозиция (РУМ* в год в течение жизни)	0,181	0,30**
Средняя ЭРОА радона (Бк/м³) в жилище	19	27
Средняя продолжительность жизни	75,4	75,8 [13]
Распространённость курения, % (муж/жен)	59/42	61/27 [14]
Этиологическая доля, обусловленная радоном	0,134 (смертность)	0,086 (заболеваемость)
Возрастные категории с самыми высокими показателями смертности и заболеваемости от РЛ	55–75	55–75 [4]

* РУМ – единица экспозиции по дочерним продуктам радона – суммарная экспозиция, обусловленная дыханием в атмосфере при концентрации в 1 рабочий уровень (РУ) в течение рабочего месяца в 170 ч. РУ – любая комбинация короткоживущих дочерних продуктов радона в 1 л воздуха, которая приведёт к эмиссии $1,3 \times 10^5$ МэВ потенциальной энергии альфа-излучения. 1 РУ = 2,08 10^{-5} Дж/м³. 1 РУМ = 6,38 $\times 10^5$ Бк ч/м³ ЭРОА радона [7].

** ЭРОА радона в жилых зданиях 27 Бк/м³ приведёт к экспозиции в течение года, равной 0,30 РУМ/год = (27 Бк/м³ $\times$ 7000 ч в год/6,38 $\times 10^5$ Бк ч/м³).

Ожидаемый средний возраст смерти от РЛ, индуцированного радоном, для всего населения США был на 6,5 лет меньше, чем от РЛ от всех причин, и составлял 65,2 лет. Среднее значение сокращения ожидаемой продолжительности жизни от РЛ, индуцированного радоном, находилось в диапазоне от 12 до 17 лет в зависимости от модели расчёта [9].

Эта оценка для населения США получена для экспозиции 0,181 РУМ в год в течение жизни с учётом возрастного-полового распределения риска преждевременной смерти при средней концентрации в жилище 1,25 пКи/л (19 Бк/м³ ЭРОА радона при F = 0,4) и ожидаемой продолжительности жизни 75,4 года, при условии, что курят 59% мужчин и 42% женщин.

По данным Департамента здравоохранения г. Москвы, средняя продолжительность жизни составляет 75,8 лет (79,7 женщины и 71,7 мужчины) [13]. Такие показатели, как экспозиция и средняя ЭРОА радона в жилище в г. Москве превышают значения для США.

Рак лёгкого относится к новообразованиям с высоким уровнем летальности и низкой выживаемостью в течение первого года после установления диагноза. Самые высокие показатели преждевременной смертности от РЛ приходятся

на возрастные категории от 55 до 75 лет [4, 9]. Значения показателей средней продолжительности жизни, распространённости курения и возрастные категории с самой высокой смертностью и заболеваемостью от РЛ близки.

Сравнительный анализ показателей позволяет использовать данную оценку потери лет жизни (12–17 лет) вследствие снижения возраста смерти от РЛ, индуцированного радоном как ориентировочное минимальное значение для населения г. Москвы при иллюстрации эффективности затрат на радонопрофилактику в помещениях.

Для сравнения средних тенденций заболеваемости в АО г. Москвы рассмотрены показатели взрослого населения. В таблице 4 приведены абсолютные числа заболеваний раком лёгкого в АО г. Москвы среди взрослого населения по данным Департамента здравоохранения города Москвы.

Таблица 4
Абсолютное число заболевших среди взрослого населения в административных округах г. Москвы в 2006–2011 гг.

АО г. Москвы	Год					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ВАО	397	393	385	352	372	364
ЗАО	300	298	316	311	282	265
ЗелЗАО	75	69	80	82	76	68
САО	332	321	317	307	–	252
СВАО	395	358	349	347	343	333
СЗАО	201	195	220	209	185	187
ЦАО	153	197	183	158	162	178
ЮВАО	304	302	318	351	334	288
ЮЗАО	308	321	315	340	295	315
ЮАО	395	419	411	394	425	403
Москва	2860	2873	2894	2851	2763	2653

По данным Мосгорстата, взрослое население в АО г. Москвы распределено по возрасту однородно, а средний возраст населения составляет от 40,2 до 41,9 лет. При сравнительной оценке заболеваемости по АО Москвы отсутствие значимых различий приближает значения грубых показателей к стандартизованным по возрастному распределению населения Москвы. В таблице 5 приведена сравнительная оценка заболеваемости по впервые выявленному раку лёгкого в АО г. Москвы и городу в целом с 2006 по 2011 г. Несмотря на небольшой рассматриваемый период, можно отметить статистические различия в средних тенденциях заболеваемости по АО.

Известно, что уровень онкологической заболеваемости в АО г. Москвы различен. В частности, Роспотребнадзор по г. Москве при анализе первичной заболеваемости населения Москвы всеми злокачественными новообразованиями [4, 5] зарегистрировал в 2011 г., как и в предыдущие годы, высокий уровень общей первичной онкологической заболеваемости населения (в порядке убывания) в Зеленоградском АО; средний – в Юго-Западном, Восточном, Центральном, Северо-Восточном, Северном и Западном АО [4, 5]. Ранжирование заболеваемости в АО г. Москвы было выполнено за 1 год. Уровни заболеваемости злокачественными новообразованиями трахеи, бронхов и лёгкого в 2011 г. в АО г. Москвы были высокими в ЗелЗАО, средними в САО, СВАО, ЮАО, СВАО, ЦАО, ВАО ниже среднего в СЗАО, ЗАО, ЮВАО [4].

Таблица 5

Показатели заболеваемости по впервые выявленному раку лёгкого на 100 000 человек взрослого населения в г. Москве и административных округах

АО г. Москвы	Год						M	*p	**p	***p
	2006	2007	2008	2009	2010	2011				
ВАО	34,91	34,51	33,19	30,42	32,08	29,82	32,49	<0,05	>0,05	>0,05
ЗАО	35,11	33,68	35,59	34,93	31,65	24,49	32,58	=0,05	>0,05	>0,05
ЗелЗАО	44,04	40,23	46,51	47,67	43,73	37,71	43,32	<0,01	<0,01	<0,01
САО	35,68	34,37	33,87	32,76	30,81	26,60	32,35	<0,05	<0,05	>0,05
СВАО	40,29	36,47	35,04	34,60	33,72	29,91	35,01	<0,05	<0,05	<0,05
СЗАО	31,46	30,13	33,74	31,85	28,13	24,25	29,93	>0,05		>0,05
ЦАО	25,64	32,50	30,44	26,02	26,07	29,07	28,29		>0,05	<0,05
ЮВАО	34,95	32,70	33,85	37,61	35,55	28,19	33,81	<0,05	<0,05	>0,05
ЮЗАО	31,75	32,03	30,95	33,36	28,93	27,52	30,76	>0,05	>0,05	>0,05
ЮАО	29,84	31,79	30,79	30,25	31,78	27,91	30,39	>0,05	>0,05	>0,05
Москва	33,75	33,38	33,28	32,85	31,56	27,82	32,10	<0,05	<0,05	

* – уровень значимости различия переменных при парном сравнении с ЦАО;

** – уровень значимости различия переменных при парном сравнении с СЗАО;

*** – уровень значимости различия переменных при парном сравнении с показателями г. Москвы.

Различия переменных установлены с использованием критерия Вилкоксона – Манна – Уитни для независимых выборок и точного метода Фишера для четырёхпольной таблицы [15].

Проанализировав ряды чисел в таблице 5, с помощью непараметрических критериев для небольших независимых выборок [15] можно оценить направленность и выраженность различий в тенденциях заболеваемости между АО. Средние тенденции заболеваемости РЛ по календарным годам позволяют отметить различия, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения в разных АО по сравнению с городскими показателями. Так, переменные, отражающие тенденции заболеваемости в ЦАО, статистически значимо ниже городских показателей ($p < 0,05$) в среднем на 10%, и, напротив, заболеваемость в СВАО и ЗелАО на 11% ($p < 0,05$) и 37,5% ($p < 0,01$) выше средних городских показателей соответственно.

Различия между рядами чисел, отражающих заболеваемость в АО г. Москвы, также очевидны. В таблице 5 выделены результаты оценки различий показателей по административным округам в сравнении с ЦАО и СЗАО, в которых средние тенденции в рассматриваемый период статистически значимо отличаются в меньшую сторону от показателей семи и четырёх АО мегаполиса соответственно и не имеют значимых статистических различий между собой. Показатели первичной заболеваемости за рассматриваемый период значимо превышают средний уровень по г. Москве в ЗелАО и СВАО, а в ЦАО достоверно ниже. В нескольких других округах, включая СЗАО, заболеваемость также меньше, хотя уровень значимости различий не достигает 95%, вероятно, вследствие небольшого объёма (количества календарных лет) анализируемой выборки.

Влияние загрязнения АВ не объясняет полностью такие различия. По результатам исследований по экологии промышленных городов диапазон влияния актуальных критериев экологического благополучия нерадиационной природы количественно определён. Например, Роспотребнадзор по г. Москве при оценке канцерогенных рисков приводит данные Национального института рака

США: 2–3% случаев рака вызвано загрязнением окружающей среды [4]. В Великобритании вклад факторов риска от загрязнения АВ, воды и продуктов питания в суммарную онкологическую заболеваемость населения оценивается на уровне 1–5%, в то время как с курением связывают 29–31%, особенностями питания – 20–50%; бактериальными и вирусными инфекциями – 10–20%, ионизирующим и ультрафиолетовым излучением – 5–7% [16].

Количественная оценка связи заболеваемости РЛ с общим загрязнением АВ и индикатором трафика у никогда не куривших лиц характеризуется величиной относительного риска 1,47 (95% ДИ: 1,01–2,16) на 10 мкг/м³ прироста общей концентрации чёрной сажи [18]. Увеличение концентрации взвешенных частиц PM_{2,5} или сажи на 10 мкг/м³ приводило к приросту относительного риска смерти от РЛ на 3–8% или на 3% соответственно [18, 19]. Рост интенсивности движения на 10 000 транспортных средств в сутки увеличивал относительный риск смерти от РЛ у жителей в 100-метровой зоне вдоль автомагистрали на 7%. В объединённом европейском анализе рисков населения установлена статистически значимая связь между риском развития РЛ и концентрацией PM₁₀ (отношение рисков 1,22 (95% ДИ: 1,03–1,45) на 10 мкг/м³), а для PM_{2,5} отношение рисков было 1,18 (0,96–1,46) на каждые 5 мкг/м³. Исследование связи с гистологическими особенностями РЛ показали, что воздействие PM₁₀ и PM_{2,5} было связано с аденокарциномой лёгкого (отношение рисков = 1,51 (1,10–2,08) и 1,55 (1,05–2,29) соответственно [20]. При анализе литературных данных таких оценок для г. Москвы выявлено не было, однако такие работы могли бы существенно повысить информативность и значимость экологического мониторинга.

В Москве величины суммарных канцерогенных рисков в АО почти полностью определялись формальдегидом, бензолом [3, 4] и 1,3-бутадиеном [2].

Значения суммарного популяционного канцерогенного риска (ПКР) включают риск РЛ как одну из переменных. Некоторые ингредиенты выхлопных газов, например, бензол, не связаны с индукцией РЛ. Доказана связь РЛ с воздействием полициклических ароматических углеводородов вследствие сгорания углеродсодержащих материалов, в частности, автомобильного топлива, но в опубликованных исследованиях по г. Москве риск от бенз(а)пирена рассматривается как незначительный (менее $4,8 \times 10^{-7}$) и не оказывает существенного влияния на суммарный ПКР на территориях АО [3,4].

Соотношение суммарного ПКР, обусловленного химическими канцерогенами, и популяционного риска РЛ от облучения радоном можно проиллюстрировать с использованием опубликованных оценок первого. Популяционный риск отражает дополнительное (к фоновому уровню заболеваемости) число случаев злокачественных новообразований в исследуемой популяции и представляет собой верхнюю доверительную границу дополнительного пожизненного риска [2]. Например, для населения Южного АО численностью 1274,0 тыс. человек (в год исследования) прогнозная оценка риска от воздействия формальдегида и бензола составляла 161 и 377 человек за 70 лет [17]. Ожидаемое число случаев РЛ, индуцированного радоном, на уровне верхней границы доверительного интервала составит 4769,5 (408 всех случаев РЛ в год $\times 0,167 \times 70$ лет) или 68,1 в год.

Суммарные ПКР, рассчитанные для территорий АО Москвы в зависимости от уровня загрязнения АВ при хроническом воздействии, находились в диапазоне от $1,5 \times 10^{-4}$ до $6,5 \times 10^{-4}$ [3, 4, 17]. ПКР от атмосферных загрязнителей в муниципальных районах с населением 2930,1 тыс. человек составил 14,26 в год [3].

Среднегодовые концентрации загрязнения АВ в 1999–2000 гг. обуславливали ПКР у жителей Москвы за 70 лет жизни 1315,5 и 1229,8 злокачественных опухолей [3].

Оценка суммарного ПКР для здоровья населения Москвы при продолжительности воздействия оцениваемых концентраций за 70 лет от загрязнения АВ выхлопными газами в 2011 г. составляла 3442,88 дополнительно к фоновому уровню онкологических заболеваний ($2,99 \times 10^{-4}$) или 49 случаев в год [4, 5]. Среднее значение канцерогенного риска от облучения радоном в условиях помещений за тот же период составит 16 940 заболеваний ($1,46 \times 10^{-3}$) или 242 случая в год, максимальное – ($2,84 \times 10^{-3}$), 32 900 заболеваний (2815,6 всех случаев РЛ в год $\times 70$ лет) или 470 случаев в год.

Опубликованные прогнозные оценки канцерогенной опасности загрязнений АВ в целом совпадали с тенденциями, отмечаемыми при анализе заболеваемости новообразованиями у населения г. Москвы. Например, один из наименьших уровней суммарного канцерогенного риска был установлен в Северо-Западном округе, где отмечаются наиболее низкие показатели первичной заболеваемости новообразованиями среди взрослого населения [3, 21]. Это соответствует данным, приведённым в таблице 5. В то же время уровень первичной заболеваемости раком лёгкого среди взрослых в ЦАО, где качество АВ существенно ниже, был самый низкий. Однако это согласуется с оценкой АО г. Москвы, выполненной Роспотребнадзором по степени благополучия здоровья населения в целом по 62 показателям в 2011 г. Наилучшие показатели здоровья установлены в СЗАО, ЗАО и ЦАО; наихудшие – в ЮЗАО, СВАО и ЗелАО [5].

Различия в средних тенденциях заболеваемости между округами могут превышать 25%, в частности, 28,29 в ЦАО против 43,32 и 35,01 на 100 000 взрослого населения в ЗелЗАО и СВАО. Вероятно, такие различия обусловлены в большей степени другими факторами. Точная оценка может быть получена в специальном исследовании с использованием методов многофакторного анализа.

Оценки рисков содержат допущения и находятся под влиянием неопределённости исходных данных по концентрациям химических загрязнений и информации в рамках форм государственной статистической отчётности затрудняют или делают невыполнимыми сравнения связей уровня злокачественных новообразований с качеством среды обитания между административными округами г. Москвы и их районами [4]. В то же время риск от облучения радоном в домашних условиях на сегодняшний день установлен эпидемиологическими исследованиями [7, 8]. ВОЗ, обобщая существующие оценки доли РЛ, связанного с радоном, приводит диапазон 3–14% в зависимости от его средней объёмной активности в стране и методов расчёта [8].

Результаты сравнительной оценки канцерогенного риска в г. Москве сопоставимы с оценкой радиационных и химических канцерогенных рисков для населения Швеции с населением более 9 млн человек при существующих концентрациях радона (средняя ОА радона по стране 108 Бк/м³ [7, 8]). Ожидаемое число впервые установленных случаев РЛ от воздействия радона в помещениях составило 1100 в год, а от действия бензола и без(а)пирена – 0,03 и 7 случаев соответственно; ожидаемое количество случаев РЛ вследствие общего загрязнения АВ – около 100 случаев в год. Что касается последствий облучения от техногенных источников излучения, то количество онкологических заболеваний было близко к оценкам канцерогенного риска от этих химических веществ [21].

Заключение

Решения, принимаемые на основе системы управления рассмотренными канцерогенными рисками, различаются по стоимости выполнения и эффективности. Например, только распространение информации о риске РЛ, индуцируемого радоном, и влияющих на его величину факторах, введение паспорта жилья и другие меры, направленные на повышение эффективности квартирных вентиляционных систем самими горожанами, приведёт к снижению онкологической заболеваемости. Рассмотрим прогноз результата снижения ЭРОА радона в помещениях до среднемирового значения на открытой территории (6,5 Бк/м³). Среднее значение ДОР составит 0,021, а на уровне верхней границы доверительного интервала 0,04; среднее число впервые заболевших радон-индуцированным РЛ составит 59 человек (2815,6 случаев в год $\times 0,021$); это снизит заболеваемость РЛ в среднем на 183 случая в год (242–59), а по максимальной оценке – на 357 случаев (470–113). Прогнозное значение ПКР уменьшится на 24 990 случаев за 70 лет (357 случаев $\times 70$ лет), что позволит ежегодно избегать потери не менее 4384 чел.-лет жизни (357 чел. $\times 12$ лет).

Суммарный ПКР для населения г. Москвы от загрязнения АВ выхлопными газами в 9,5 раз меньше, чем риск РЛ от воздействия радона в помещениях. Поэтому прямые и косвенные затраты на снижение выбросов от автотранспорта и концентраций химических канцерогенов в АВ г. Москвы, включая мониторинг загрязнений, обладают

пропорционально меньшим профилактическим потенциалом снижения канцерогенного риска.

При использовании ориентировочной стоимости 1 года жизни 5 тыс. долларов [22] ежегодный эффект снижения потерь от недожития 12 лет вследствие смерти от РЛ, индуцированного радоном, в среднем составит 10,98 млн долларов (183 случая×5 тыс. долларов×12 лет).

Влияние загрязнения АВ (согласно информации, существующей в настоящее время) не объясняет полностью отмеченные различия в средних тенденциях первичной заболеваемости РЛ в АО г. Москвы. Их причины следует уточнить при анализе более длительного периода с использованием методов многофакторного анализа.

Использование интегральных методов контроля радона в домах г. Москвы позволит более точно классифицировать помещения по степени радоноопасности и уточнить оценки риска.

Применение сравнительных оценок канцерогенных рисков для выбора приоритетных направлений при планировании бюджета экологического мониторинга может существенно повысить его экономическую и социальную эффективность.

Литература

1. Филатов, Н.Н. Влияние химического загрязнения АВ Москвы на здоровье населения / Н.Н. Филатов, В.М. Глиненко, С.Г. Фокин // Гигиена и санитария. – 2009. – № 6. – С. 82–84.
2. Онищенко, Г.Г. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко [и др.]. – М., 2002. – 408 с.
3. Рахманин, Ю.А. Применение методологии оценки риска при проведении социально-гигиенического мониторинга в г. Москве / Ю.А. Рахманин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2002. – № 6. – С. 57–61.
4. Заболеваемость злокачественными новообразованиями населения Москвы и административных округов в 2011 году // Инф. бюлл. Центра гигиены и эпидемиологии в городе Москве, Роспотребнадзор. – М. – 32 с.
5. Анализ состояния здоровья населения Москвы и среды обитания по показателям государственной системы социально-гигиенического мониторинга в 2011 году // Инф. бюлл. ФБУЗ Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве Роспотребнадзора РФ – М. – 61 с.
6. Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report: Volume I. Annex A: Epidemiological Studies of Radiation and Cancer. New York. – 2008.
7. Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report: Volume II. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. New York. – 2008.
8. WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective. WHO. – 2009.
9. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes. EPA 402-R-03-003, June 2003.
10. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1).
11. Рогалис, В.С. Вклад радона и среды обитания человека в формирование радиоэкологической обстановки в г. Москве / В.С. Рогалис [и др.] // Геофизический вестник – 2008. – № 6. – С. 14–16.
12. Цапалов, А.А. Принцип оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений / А.А. Цапалов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010 – Т. 3. – С. 23–27.
13. Darby, S. Residential radon and lung cancer — detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe / S. Darby [et al.] // Scand. J. Work Environ. Health. – 2006. – V. 32. Suppl. 1. – P. 1–84.
14. <http://medportal.ru/mednovosti/news/2014/03/18/110moskva>
15. Табакокурение в Москве и Российской Федерации: распространенность, отрицательное влияние на здоровье нации, меры по устранению курения табака из жизни общества: // http://osgm.ru/fileadmin/site/files/activities/12.03.10._tabakokurenije._obshchestvennyje_slushanija/tabakokurenije_doklad.pdf
16. Чиссов, В.И. Злокачественные новообразования в России в 2008 году (заболеваемость и смертность) / В.И. Чиссов, В.И. Старинский, Г.В. Петрова // М.: ФГУ МНИОИ им. П.А. Герцена Росздрава, 2010. – 248 с.
17. IAEA-TECDOC-870. Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure. IAEA. VIENNA, 1996
18. Аксель, Е.М. Заболеваемость злокачественными новообразованиями в Москве и Санкт-Петербурге / Е.М. Аксель, И.А. Горбачева // Вестник РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН. – 2008. – Т. 19, № 2 (прил. 1). – С. 120–134.
19. Гублер, Е.В. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е.В. Гублер, Генкин А.А. – Л.: Медицина, 1973. – 142 с.
20. Doll, R. Epidemiological evidence of the effects of behavior and the environment on the risk of human cancer / R. Doll // Recent Results in Cancer Research. – 1998. – V. 154. – P. 3–21.
21. Новиков, С.М. Использование данных СГМ при оценке риска атмосферных загрязнений для здоровья населения г. Москвы / С.М. Новиков [и др.] // Материалы Всероссийской науч.-но-практической конференции «Оценка риска для здоровья от неблагоприятных факторов окружающей среды: опыт, проблемы, и пути решения», Ангарск (23–25 октября 2002 г.). – Часть I. – С. 44–50.
22. Brunekreef, B. Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study / B. Brunekreef [et al.] // Res Rep Health Eff Inst. – 2009 Mar. – (139). – P. 5–71; discussion 73–89.
23. Pope, C.A. 3rd. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution / C.A. Pope [et al.] // JAMA. – 2002. – V. 287 (9). – P. 1132–1141.
24. Raaschou-Nielsen, O. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) / O. Raaschou-Nielsen [et al.] // Lancet Oncol. – 2013. – V. 14 (9). – P. 813–822.
25. Victorin, K. Risk comparisons between limit values for ionizing radiation, PAH, and benzene in Sweden / K. Victorin [et al.] // Regul Toxicol Pharmacol. – 1993. – V. 18 (3). – P. 381–391.
26. Авалиани, С.Л. Оценка риска загрязнения окружающей среды для здоровья населения как инструмент муниципальной экологической политики в Московской области / С.Л. Авалиани [и др.] // Ежедневные новости. – 2010. – 311 с.

Поступила: 15.12.2014 г.

✉ Голованёв Сергей Михайлович (*Golovanev Sergey Mikhailovich*) – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России. Адрес: 123182, г. Москва, Щукинская ул., 40. Тел. 8(499)193-74-14. E-mail: sm.golovanev@bk.ru.

S.M. Golovanev

Radon and carcinogenic risk in Moscow

Scientific and Technical Centre for Radiation-Chemical Safety and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

Abstract.

Objective: comparative evaluation of carcinogenic risk in Moscow from radon in indoor and atmospheric pollutants.

Materials and methods: the lung cancer incidence in Moscow; radiation-hygienic passport of the territory; U.S. EPA estimated average age at all and radon induced deaths, years of life lost; Report of UNSCEAR 2006 and WHO handbook on indoor radon, 2009. Trend analysis of incidence; evaluation of the excess relative risk; assessment of ratio radon-induced population risk and published values of total population carcinogenic risk from chemical carcinogens.

Results: it is shown that the 304 cases of lung cancer per year ($1.85 \cdot 10^{-3}$) on average from 2006 to 2011 (21280 diseases for 70 years in addition to background level) induced by radon; the differences in average trends of all lung cancer incidence in the districts can exceed 25%.

Conclusion. The potential of risk reduction by measures of mitigation radon concentration exceeds 5 times the cost efficiency to reduce emissions from vehicles and can reduce cancer incidence, on average 236 cases per year; population risk - 16520 cases over 70 years or save not less than 2832 person-years of life per year. The annual effect of reducing losses from not-survival of 12 years as a result of radon-induced lung cancer deaths exceeds 14160000 dollars. The evaluating of the carcinogenic risk from radon in accordance with the definition of population risk increases the predictive evaluation of the effectiveness of preventive measures more than twice.

Key words: radon carcinogenic risk, excess relative risk, lung cancer, incidence, atmospheric pollution, Moscow.

References

1. Filatov, N.N. VliyanieximicheskogozagryazneniyaAVMoskvynaz dorovenaseleniya / N.N. Filatov, V.M. Glinenko, S.G. Fokin // Gigienaisanitariya. – 2009. – № 6. – S. 82–84.
2. Onishhenko, G.G. Osnovy ocenki riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii ximicheskix veshhestv, zagryaznyayushhix okruzhayushhuyu sredyu / G.G. Onishhenko [i dr.]. – M. – 2002. – 408 s.
3. Raxmanin, Yu.A. Primenenie metodologii ocenki riska pri provedenii socialno-gigienicheskogo monitoringa v g. Moskve / Yu.A. Raxmanin [i dr.] // Gigiena i sanitariya. – 2002. – № 6. – S. 57–61.
4. Zaboлеваmost zlokachestvennyimi novoobrazovaniyami naseleniya Moskvy i administrativnyx okrugov v 2011 godu // Inf. byull. Centra gigieny i epidemiologii v gorode Moskve, Rospotrebnadzor. – M. – 32 s.
5. Analiz sostoyaniya zdorovya naseleniya Moskvy i sredy obitaniya po pokazatelyam gosudarstvennoj sistemy socialno-gigienicheskogo monitoringa v 2011 godu // Inf. byull. FBUZ Centr gigieny i epidemiologii v gorode Moskve Rospotrebnadzora RF – M. – 61 s.
6. Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report: Volume I. Annex A: Epidemiological Studies of Radiation and Cancer. – New York, 2008.
7. Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report: Volume II. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. – New York, 2008.
8. WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective. WHO. – 2009.
9. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes. EPA 402-R-03-003, June 2003.
10. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1).
11. Rogalis, V.S. Vklad radona i sredy obitaniya cheloveka v formirovanie radioekologicheskix obstanovki v g. Moskve / V.S. Rogalis [i dr.] // Geofizicheskij vestnik – 2008. – № 6. – S. 14–16.
12. Capalov, A.A. Princip ocenki srednegodovoj EROA radona v zdaniyax po rezul'tatam kratkosrochnyx izmerenij / A.A. Capalov [i dr.] // Radiacionnaya gigiena. – 2010 – T. 3. – S. 23–27.
13. Darby, S. Residential radon and lung cancer — detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe / S. Darby [et al.] // Scand. J. Work Environ. Health. – 2006. – V. 32. Suppl. 1. – P. 1–84.
14. <http://medportal.ru/mednovosti/news/2014/03/18/110moskva>
15. Tabakokurenije v Moskve i Rossijskoj Federacii: rasprostranennost, otricatel'noe vliyanie na zdorove nacji, mery po ustraneniyu kurenija tabaka iz zhizni obshhestva:// http://osgm.ru/fileadmin/site/files/activities/12.03.10._tabakokurenije._obshchestvennyye_slushaniya/tabakokurenije_doklad.pdf
16. Chissov, V.I. Zlokachestvennyye novoobrazovaniya v Rossii v 2008 godu (zaboлеваmost i smertnost) / V.I. Chissov, V.V. Starinskij, G.V. Petrova. M.: FGU MNIIO im. P.A. Gercena Roszdruva, 2010. – 248 s.
17. IAEA-TECDOC-870. Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure. IAEA. VIENNA, 1996
18. Aksel, E.M. Zaboлеваmost zlokachestvennyimi novoobrazovaniyami v Moskve i Sankt-Peterburge / E.M. Aksel, I.A. Gorbacheva // Vestnik RONC im. N.N.Bloxina RAMN. – 2008. – T.19, № 2 (prii.1). – S.120–134.
19. Gubler, E.V. Primenenie neparametricheskix kriteriev statistiki v mediko-biolo-gicheskix issledovaniyax / E.V. Gubler, A.A. Genkin. – L.: Medicina, 1973. – 142 s.
20. Doll, R. Epidemiological evidence of the effects of behavior and the environment on the risk of human cancer / R. Doll // Recent Results in Cancer Research. – 1998. – V. 154. – P. 3–21.
21. Novikov, S.M. Ispolzovanie dannyx SGM pri ocenke riska atmosferynx zagryaznenij dlya zdorovya naseleniya g. Moskvy / S.M. Novikov [i dr.] // Materialy Vserossijskoj nauch-no-prakticheskoy konferencii «Ocenka riska dlya zdorovya ot neblagopriyatnyx faktorov okruzhayushhej sredy: opyt, problemy, i puti resheniya», Angarsk (23–25 oktyabrya 2002 g.). – Chast I. – S. 44–50.
22. Brunekreef, B. Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study / B. Brunekreef [et al.] // Res Rep Health Eff Inst. – 2009. – V. 139. – P. 5–71; discussion 73–89.
23. Pope, C.A. 3rd. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution / C.A.Pope [et al.] // JAMA. – 2002. – V. 287 (9). – P. 1132–41.
24. Raaschou-Nielsen, O. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) / O. Raaschou-Nielsen [et al.] // Lancet Oncol. – 2013. – V. 14 (9). – P. 813–822.
25. Victorin, K Risk comparisons between limit values for ionizing radiation, PAH, and benzene in Sweden / K. Victorin [et al.] // Regul Toxicol Pharmacol. – 1993. – V. 18 (3). – P. 381–391
26. Avaliani, S.L. Ocenka riska zagryazneniya okruzhayushhej sredy dlya zdorovya naseleniya kak instrument municipalnoj ekologicheskoy politiki v Moskovskoj oblasti / S.L. Avaliani [i dr.] // Ezhednevnye novosti. – 2010. – 311s.