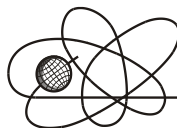




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2001-17

Preprint IBRAE-2001-17

Р.В. Арутюнян, В.П. Решетин, В.С. Сорокин

**СКОЛЬКО ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫХ СМЕРТЕЙ
ПРОИСХОДИТ В РОССИИ
ИЗ-ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ?**

Москва
2001

Moscow
2001

Арутюнян Р.В., Решетин В.П., Сорокин В.С. СКОЛЬКО ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫХ СМЕРТЕЙ ПРОИСХОДИТ В РОССИИ ИЗ-ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ?

Препринт № ИБРАЭ-2001-17. Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2001. 13 с. — Библиогр.: 14 назв.

Аннотация

Приведены оценки числа атрибутивных смертей, вызванных загрязнением атмосферного воздуха в городах России. Для оценок были использованы данные ежедневного мониторинга загрязнения атмосферы за 1993 и 1998 годы, проводившегося Росгидрометом. Для определения зависимости доза–эффект были использованы результаты хорошо известных исследований Dockery, 1993, в которых по данным проспективных когортных исследований в шести городах США была установлена статистически значимая корреляция между загрязнением атмосферы и уровнем смертности. Оценки, выполненные на основе формального прямого переноса данных этих исследований на условия российских городов с учетом фактического уровня загрязнения атмосферного воздуха, приводят к значениям числа преждевременных смертей на уровне 300 тысяч смертей в год. Обсуждаются факторы, влияющие на точность произведенных оценок.

©ИБРАЭ РАН, 2001

Arutyunyan R.V., Reshetin V.P., Sorokin V.S. HOW MANY ATTRIBUTABLE CASES OF MORTALITY ASSOCIATED WITH AIR POLLUTION OCCUR IN RUSSIA? (in Russian) Preprint IBRAE-2001-17. Moscow: Nuclear Safety Institute, November 2001. 13 p. — Refs.: 14 items.

Annotation

Assessment of attributable cases of mortality associated with air pollution is presented. The data of daily monitoring of air pollution in 1993 and 1998 carried out by Rosgidromet were used for assessment. To determine the dose-response function, the well known results of Dockery et al., 1993 were applied. In Dockery's prospective cohort investigations in six US towns, the statistically significant relationship between mortality and air pollution was confirmed. The estimates obtained by direct formal transition of the Dockery's results to the conditions of Russian cities allowing for the actual level of the atmosphere pollution, result in the number of the premature deaths on the order of 300 thousand annually. Various factors effecting the accuracy of assessments are discussed.

©Nuclear Safety Institute, 2001

Сколько преждевременных смертей происходит в России из-за загрязнения атмосферы?

Р.В. Арутюнян, В.П. Решетин**, В.С. Сорокин****

*ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РАН
**ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НАН БЕЛОРУССИИ
***РОССИЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМ. Г.В. ПЛЕХАНОВА

Содержание

1 Введение	3
2 Функция доза-отклик.....	4
3 Результаты	6
4 Уменьшение продолжительности жизни	12
5 Чувствительность.....	12
6 Заключение.....	13
Литература	13

1 Введение

Исследования, выполненные за последние 10–20 лет, подтверждают, что загрязнение атмосферы приводит к увеличению смертности и потере трудоспособности. В то время как одни эффекты связаны с кратковременной экспозицией, другие могут рассматриваться как эффекты, обусловленные долговременным воздействием. Уникальные эпидемиологические исследования (**Dockery и др., 1993a**) позволили определить существенную и когерентную связь между загрязнением атмосферы и вредными эффектами здоровью.

Национальные агентства Австрии, Франции и Швейцарии оценили экономический ущерб, наносимый здоровью загрязнением атмосферы, вызванным всеми источниками эмиссии, а также автомобильным транспортом. Повышенное внимание к загрязнению воздуха автотранспортом было обусловлено в первую очередь тем, что экономические потери от выхлопов транспортных средств не покрываются их владельцами и производителями. Такая ситуация приводит к искажению рыночных цен, вызывает экономические проблемы и, в конечном итоге, ведет к утрате редких и важных ресурсов, какими являются чистый воздух, чистая вода и т. д. Для того чтобы остановить растрату ресурсов, на чистый воздух должны быть введены реальные цены.

В исследовании (**N.Kunzli и др., 2000**) на примере Австрии, Франции и Швейцарии был оценен эффект воздействия на здоровье загрязнения атмосферы, вызванного всеми источниками эмиссии, а также выхлопами автотранспорта. Эффект здоровью был оценен посредством определения числа атрибутивных случаев смерти и потери трудоспособности. Выполненные оценки свидетельствуют, что приблизительно 6% смертей в год связаны с загрязнением атмосферы. В отличие от ранее проведенных исследований (**Katsouyanni и др., 1997; Pope и др., 1995**), в каждом из которых были использованы различные предположения, в исследованиях по трем европейским странам были получены сравнимые между собой данные. Поскольку экспозиции подвержено все население, то число атрибутивных случаев смерти и потери трудоспособности является значительным, несмотря на то, что индивидуальный риск является малым. В исследовании (**N.Kunzli и др., 2000**) вклад загрязнения атмосферы, обусловленный выхлопами автотранспорта, оценивается величиной 56% во Франции, 43% в Австрии и 53% в Швейцарии от суммарного числа атрибутивных случаев смерти. Как основной источник первичных и вторичных взвешенных частиц автотранспорт вносит значительный вклад в суммарный эффект воздействия загрязненной атмосферы на здоровье. Высокий вклад автотранспорта обусловлен также тем обстоятельством, что наиболее высокие концентрации ингаляционных и тонкодисперсных частиц наблюдаются на территориях с высокой плотностью населения.

Следует отметить, что для того чтобы оценить эффекты загрязнения атмосферы, в которой содержится сложная по составу смесь веществ, в эпидемиологических исследованиях обычно используется несколько

индикаторов загрязнения атмосферы, например, NO_2 , CO , PM_{10} , SO_2 и частицы всех размеров. Эти загрязнители, однако, взаимосвязаны друг с другом. Эпидемиологические исследования не могут строго говоря отнести наблюдаемый эффект к воздействию единственного загрязнителя. Оценки риска отдельно по всем веществам могут существенно завязать риск здоровью. Таким образом, для расчета атрибутивных случаев смертности и некоторых других эффектов в работе (N.Kunzli и др., 2000) был выбран только один загрязнитель, а именно ингаляционные частицы — PM_{10} , концентрация которых является индикатором загрязнения атмосферы при сжигании топлива (автомобильный транспорт, ТЭС, и т.д.).

Для оценки атрибутивных случаев смерти для населения необходимы данные о функции доза-отклик, уровне смертности и уровне экспозиции. Аналогичные данные требуются для оценки других атрибутивных эффектов здоровью. В настоящей работе на основе данных мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городах России, проводимого Росгидрометом и известных результатов по зависимости доза-отклик (Dockery и др., 1993a) представлены результаты оценок числа атрибутивных смертей, вызванных загрязнением воздуха.

2 Функция доза-отклик

Используя функцию доза-отклик, которая представляет собой относительный риск (RR), нормированный на 10 мкг/м^3 , и частоту эффектов здоровью в расчете на 1000000 населения, для каждого эффекта здоровью может быть вычислено атрибутивное число случаев (D_{10}) соответствующих увеличению уровня загрязнения атмосферы (PM_{10}) на 10 мкг/м^3 :

$$D_{10} = (RR - 1) \cdot P_0, \quad (1)$$

P_0 — частота эффектов здоровью при экспозиции E_0 , RR — значение функции доза-отклик (см.рис.1). Функция доза-отклик является обычно log- линейной либо линейной. Для малых рисков и при ограниченном диапазоне экспозиции обе функции дают почти одинаковые результаты. Однако если использовать log-линейный масштаб, то для населения, подверженного очень широкому диапазону экспозиций, эффект может быть сильно переоценен. Таким образом, в настоящей работе, так же как и в исследованиях (N.Kunzli и др., 2000) была использована аддитивная шкала. Для вычисления D_{10} требуется предварительно определить P_0 . Величина P_0 была задана как частота эффекта здоровью, которая соответствует референтному уровню экспозиции E_0 , или 7.5 мкг/м^3 .

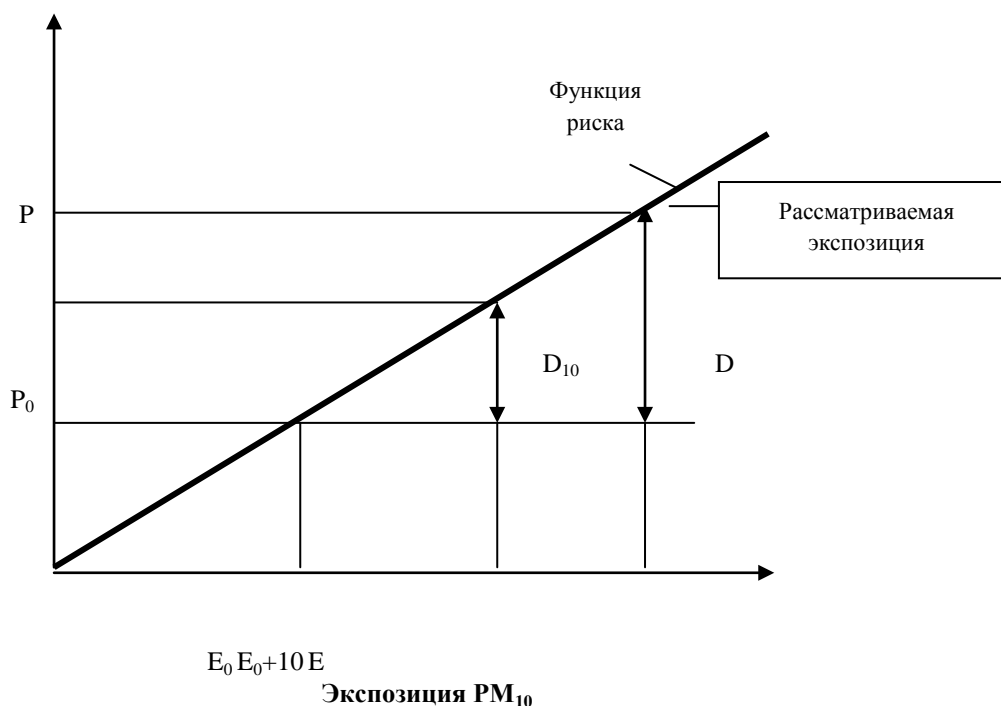


Рис.1. Модель подсчета числа преждевременных смертей, приписываемых загрязнению атмосферы

Величина 7.5 мкг/м^3 была использована как наименьшая при проведении расчетов. Таким образом, воздействие на здоровье при экспозиции ниже 7.5 мкг/м^3 считалось пренебрежимо малым. Хотя не существует никаких доказательств существования порога, не существует также и никаких свидетельств, что экспозиция низкого уровня вызывает вредные эффекты здоровью. Более того, референтный уровень также включает естественный фон PM_{10} (N.Kunzli и др.,2000).

Хотя не существует доказательств того, что значение величины RR в функции доза-отклик не изменяется по странам, численные значения этого коэффициента, указанные в работе (Dockery и др.,1993а) были использованы не только для оценок числа атрибутивных смертей в США, но и в некоторых европейских странах (N.Kunzli и др.,2000).

При оценке воздействия загрязнения атмосферы на здоровье количественная оценка зависимости доза-эффект занимает центральное место. В этой связи остановимся коротко на методике проведения исследований (Dockery и др.,1993а) в шести городах США, а именно в Watertown, Massachusetts; Harriman, Tennessee; St. Louis; Steubenville, Ohio; Portage, Wisconsin; Topeka, Kansas. В исследование было вовлечено 8111 белых людей, которым было от 25 до 74 лет на момент начала исследований. Все вовлеченные в исследование люди были отобраны случайным образом и прошли спирометрическое тестирование. Стандартный набор вопросов включал вопросы о возрасте, поле, весе, росте, образовательном уровне, полной истории по курению, производственной экспозиции и истории болезней. Составной частью исследований явились данные по концентрациям взвешенных частиц в атмосфере, концентрациям двуокиси серы, озона и взвешенных сульфатов, которые измерялись во всех перечисленных выше городах на станциях мониторинга качества воздуха, которые были расположены в центре городов. Селективный по размерам частиц контроль аэрозолей начал проводиться с конца 70х годов. Были собраны данные для тонкодисперсных частиц (аэродинамический диаметр менее 2.5 мкм) и ингаляционных частиц (аэродинамический диаметр менее 15 мкм до 1984 года и 10 мкм начиная с 1984г.) В середине 80х путем измерения концентрации ионов водорода был проведен выборочный контроль кислотности аэрозолей. Измерения кислотности проводились приблизительно раз в год в каждом городе. Для каждого загрязнителя были вычислены средние концентрации.

Вероятности выживания для каждого года контроля оценивались во всех шести городах. Различия в годовых уровнях смертности оценивались по логарифмическим тестам ранжирования. На основе регрессионной модели Cox'a были оценены отношения скорректированных уровней смертности для городов с различным загрязнением атмосферы, а также отношения уровней смертности для иных различающихся факторов риска. В использованных моделях все контролируемые люди были поделены на группы в соответствии с полом и возрастом (использована пятилетняя градация по возрасту). Для каждой группы характерен определенный присущий данному полу и возрасту риск смерти. В использованной модели введены в рассмотрение индикативные переменные для людей, курящих на момент исследования и куривших ранее. Продолжительность курения (в годах) учтена отдельно для людей, куривших на момент исследования и куривших ранее. В рассмотрение введены также индикативные переменные для людей с низким уровнем образования, а также индекс вес-рост (вес в килограммах, деленный на квадрат роста в метрах).

При оценке эффектов загрязнения атмосферы на основе регрессионной модели Cox'a были сделаны два приближения. Во-первых, индикативные переменные для городов Portage и Wisconsin с наименьшим уровнем загрязнения атмосферы были использованы в качестве референтных. Скорректированные уровни смертности для каждого из шести городов сравнивались со средним уровнем загрязнения. Во-вторых, скорректированные отношения уровней смертности для каждого из шести городов были оценены путем включения уровней загрязнения атмосферы в городах непосредственно в модель Cox'a. Скорректированные отношения уровней смертности были вычислены для наивысшей разницы в уровнях загрязнения атмосферы, которая соответствует разнице уровней наиболее и наименее загрязненных городов. Эти данные были использованы для вычисления скорректированных отношений уровней смертности для всего диапазона экспозиций каждого загрязнителя по всем шести городам.

Специальный анализ был проведен для того, чтобы оценить чувствительность модели к сделанным предположениям. Модель была оценена по данным, сгруппированным отдельно для курящих людей, людей, подверженных профессиональной экспозиции пыли, газов и дыма, а также отдельно для мужчин и женщин. Таким образом, был оценен эффект влияния различных ковариаций на оцененный эффект загрязнения атмосферы. Модель была оценена на чувствительность по отношению к влиянию на статистику людей, проходивших лечение в связи с высоким давлением крови в течение десяти лет с момента вовлечения в исследование. Аналогичные оценки были выполнены после исключения людей, страдающих диабетом, которые имели высокий уровень сахара в крови или сахар в моче. Для установления цензурированного времени выживания были использованы разнообразные приближения.

Отношения уровней смертности с корректировкой на курение, образование, индекс вес-рост были рассчитаны отдельно для следующих причин смерти: кардиопульмонарные заболевания (ICD-9 коды 400-440 и 485-496), рак легких (код 162), и всех других.

На основе модели, в которой эффект считался пропорциональным опасности, наиболее сильная связь была обнаружена между смертностью и курением. Повышенная смертность связана с низким уровнем образования и с высоким индексом масса-рост (последнее сильнее выражено у женщин). После одновременной корректировки по этим и другим факторам риска различие в уровнях смерти по всем шести городам оставалось статистически значимым.

Уровни смертности после устранения влияния всего набора различных факторов риска были связаны со средними уровнями загрязнения атмосферы в этих городах. Малая разница в уровне содержания озона в городах сильно ограничила возможности выявления связи между смертностью и концентрацией озона в атмосфере. Наиболее сильно смертность была связана с уровнем загрязнения ингаляционными, тонкодисперсными и сульфатными частицами, а не с уровнем загрязнения всеми взвешенными частицами и двуокисью серы ($P \leq 0.005$). Достаточно слабая связь была обнаружена между уровнем смертности и кислотностью частиц. Для наиболее и наименее загрязненных городов, уровень загрязнения атмосферы которых изменялся в диапазоне от 18.2 до 46.5 мкг/м³ для ингаляционных частиц, от 11.0 до 29.6 мкг/м³ для тонкодисперсных частиц и от 4.8 до 12.8 мкг/м³ для сульфатных частиц, скорректированные отношения уровней смертности составили 1.27 (95% доверительный интервал, 1.05–1.48), 1.26 (95% доверительный интервал, 1.08–1.47), 1.26 (95% доверительный интервал, 1.08–1.47) соответственно для ингаляционных, тонкодисперсных и сульфатных частиц.

Оцененный относительный риск, выраженный числом атрибутивных смертей (взрослые, старше 30 лет) в расчете на 10 мкг/м³ PM₁₀ равен 1.043 (95% доверительный интервал 1.026–1.061). Именно эти численные значения относительного риска (RR в (1)) были использованы в настоящей работе для оценки числа атрибутивных смертей в России. Отметим, что указанные выше численные значения относительного риска были использованы ранее в исследованиях (N.Kunzli и др.,2000) для оценки влияния загрязнения атмосферы на здоровье населения Австрии, Франции и Швейцарии.

Заметим, что связь между загрязнением атмосферы и смертностью, установленная в (Dockery и др.,1993а), качественно согласуется с зависимостью, ранее обнаруженной в исследованиях по “быстрым” эффектам здоровью. (Schwartz J, Dockery DW., 1992; Kinney PI, Ozkaynak H.,1991; Dockery DW, и др.,1992; Schwartz J.,1991; Fairley D. ,1990; Pope C.A., 1992; Schwartz J.,1992). Поскольку в упомянутых работах были оценены только “быстрые” эффекты, а в работе (Dockery и др.,1993а) совместно “быстрые” и отдаленные эффекты, то количественное сравнение результатов этих исследований выполнить не представляется возможным. Тем не менее, при исследовании “быстрых” эффектов было также обнаружено, что смертность ассоциируется с кардиопульмонарными заболеваниями.

3 Результаты

В таблице 1 приведены оценки числа атрибутивных смертей, выполненные с использованием национальных данных по уровню смертности и соответствующему числу атрибутивных случаев при возрастании концентрации PM₁₀ на 10 мкг/м³. В таблице 1 представлены данные только по десяти городам, которые вносят наибольший вклад в суммарное число атрибутивных смертей, вызванных загрязнением атмосферы. Для оценки экспозиции были использованы данные мониторинга Росгидромета за 1993 и 1999 годы в 177 городах России с суммарным населением 53219000 человек. Поскольку в России проводится мониторинг взвешенных частиц всех размеров, то для оценки концентрации их мелкой фракции с размером менее 10 мкм концентрация взвешенных частиц была умножена на 0,5. По имеющимся литературным данным концентрация PM₁₀ в воздухе городов изменяется в пределах 0,4- 0,65 от концентрации частиц всех размеров (см., например, Dockery и др.,1993а). Доля фракции мелкой пыли, как правило, возрастает в городах с интенсивным движением автотранспорта.

Распределение уровня экспозиции в зависимости от числа экспонированных людей представлено на рис. 2. Отметим, что средняя экспозиция для населения различных городов, в которых проводился мониторинг взвешенных частиц (всех размеров), изменялась в достаточно широких пределах, от 10 до 609 мкг/м³. Несмотря на некоторые отличия в экспозиции по отдельным городам России в 1993 и 1998 годах, суммарное число атрибутивных смертей в городах, где проводился ежедневный мониторинг взвешенных частиц, оказалось практически одинаковым, и составило приблизительно 231 тыс. в 1998 году и

218 тыс. в 1993 году. Если считать, что рассчитанное выше увеличение уровня смертности в городах, где проводился мониторинг, характерно и для других городов России, то суммарное число смертей, которое может быть обусловлено загрязнением атмосферы, составит в целом по городам России (население 95 млн чел.) 390–410 тыс. (см. рис. 3). При уровне смертности 15000 смертей в год на 1 млн. человек, который наблюдается в настоящее время в России, 26–28% от суммарного числа смертей в городах России происходит из-за загрязнения атмосферы. Хотелось бы обратить внимание, что значительно больший вклад загрязнения атмосферы в смертность в России (26–28%) по сравнению с Францией, Австрией и Швейцарией (6%) обусловлен в первую очередь более высоким уровнем загрязнения воздуха в городах России. Кроме того, полученная в настоящей работе оценка, отражает вклад загрязнения атмосферы только в смертность в городах, в то время как во Франции, Австрии и Швейцарии оценка проведена по всей территории, включая населенные пункты в сельской местности, где загрязнение атмосферы существенно меньше. Безусловно, что прямой формальный перенос линейным образом значения коэффициента риска по данным работы (**Dockery и др., 1993a**) особенно в области высоких уровней атмосферного загрязнения неправомерен. Однако даже такая грубая оценка позволяет говорить о важности атмосферного загрязнения среди факторов неблагоприятного воздействия на здоровье населения в России.

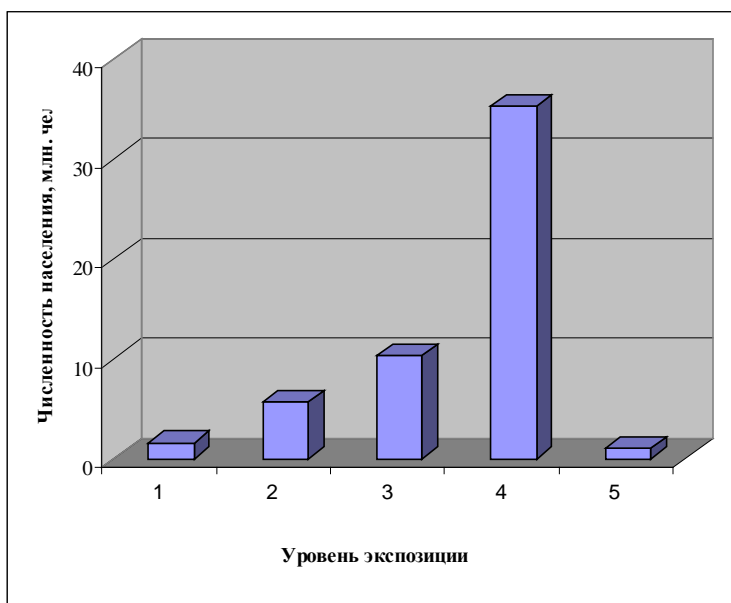


Рис. 2. Распределение населения России в зависимости от уровня экспозиции PM10. $lgC=1:(1,25 ; 1,5)$, $2:(1,5 ; 1,75)$, $3:(1,75 ; 2,0)$, $4:(2,0 ; 2,25)$, $5:(2,25 ; 2,5)$

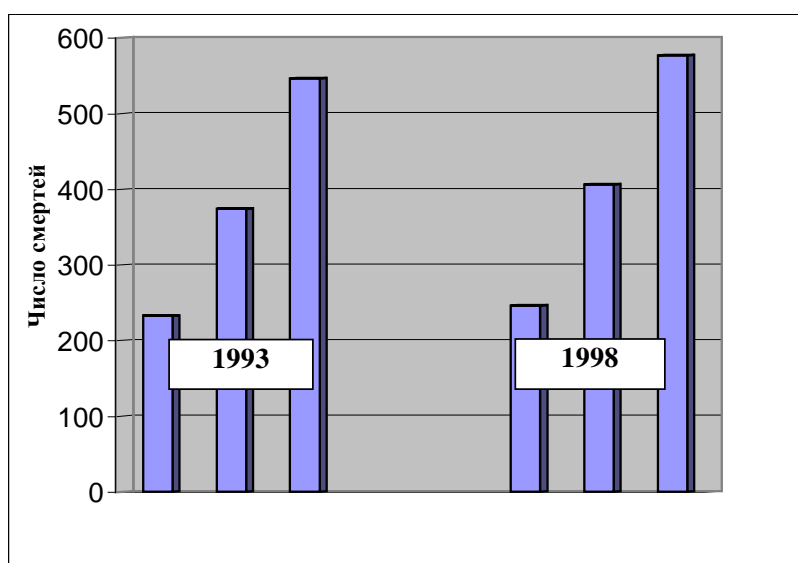


Рис.3. Число возможных преждевременных смертей в России, вызванных загрязнением атмосферы, тыс. чел. Слева и справа — 95% доверительный интервал, по центру — математическое ожидание

Следует отметить, что уровень экспозиции PM_{10} в России значительно выше по сравнению со странами Западной Европы. В городах с наиболее высоким уровнем загрязнения смертность из-за загрязнения атмосферы, оцененная прямым переносом коэффициентов риска из модели Dockery, становится основной причиной смерти (см. рис.4–5). Хотя вклад таких городов в суммарную смертность из-за загрязнения атмосферы не слишком велик, тем не менее, указанное обстоятельство свидетельствует о завышенном значении коэффициента RR в функции доза-отклик и неправомерности такого переноса в область высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха. Причиной изменения функции доза-отклик могут быть различия в демографических и социальных показателях России по сравнению с США. Второй возможной причиной высокого вклада загрязнения атмосферы в смертность является нелинейная зависимость функции доза-отклик при высоком уровне экспозиции.

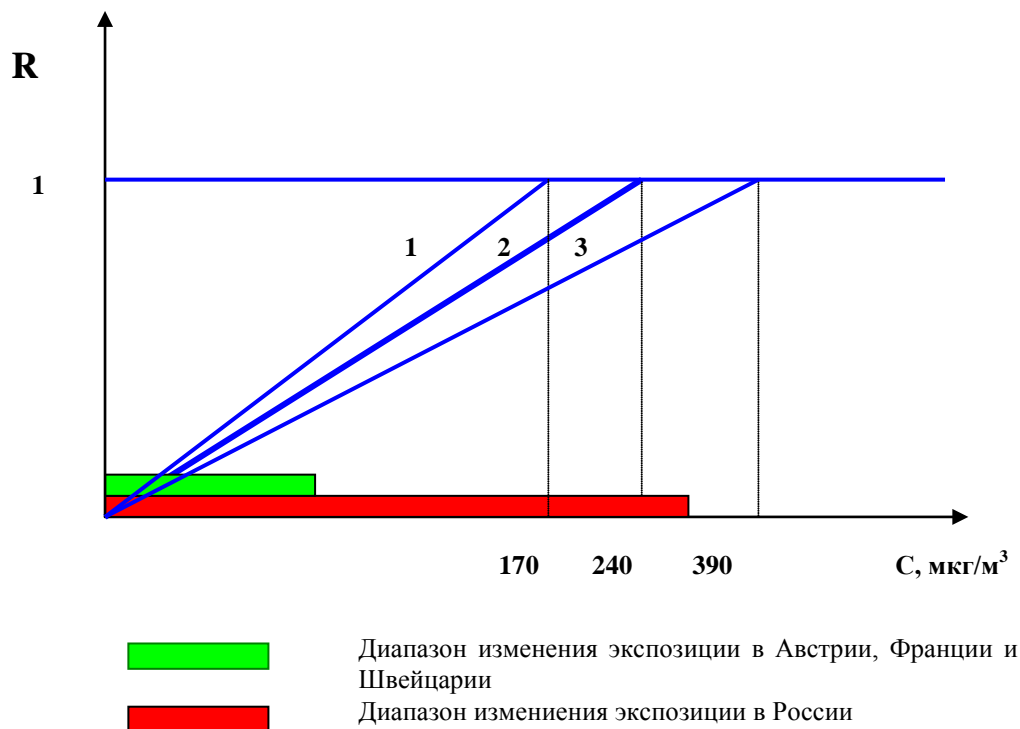


Рис. 4. Диапазон изменения экспозиции по странам.

1,3: — 95% доверительный интервал функции доза-эффект, 2— математическое ожидание

1: $R=0,026(C-7,5)$ 2: $R=0,043(C-7,5)$ 3: $R=0,061(C-7,5)$

(Dockery D, et al.1993a), (N.Kunzli, et al. 2000)

В исследованиях (Dockery и др.,1993a) было обнаружено, что причиной смерти в основном являются кардиопульмонарные заболевания. В то же время приблизительно 8% от всех преждевременных смертей приходится на рак легких и верхних дыхательных путей. Если эту величину использовать для грубых оценок числа смертей от рака, вызванных загрязнением атмосферы в России, то приблизительно 31–33 тыс. смертей от рака вызваны загрязнением атмосферы. Проведенные ранее (Reshetin и др., 2000) оценки атрибутивного числа смертей от рака, свидетельствуют, что только приблизительно 1 тыс. смертей вызвана воздействием контролируемых Росгидрометом канцерогенов. В их числе формальдегид, шестивалентный хром, ацетальдегид, никель, кадмий, бензапирен, бензол и свинец. Эта величина составляет около 3% всех смертей от рака, приписываемых загрязнению атмосферы (см. рис. 3).

Очевидно, что основной вклад в инициируемую загрязнением воздуха смертность от рака вносит воздействие пыли и неконтролируемых канцерогенов (рис. 6).

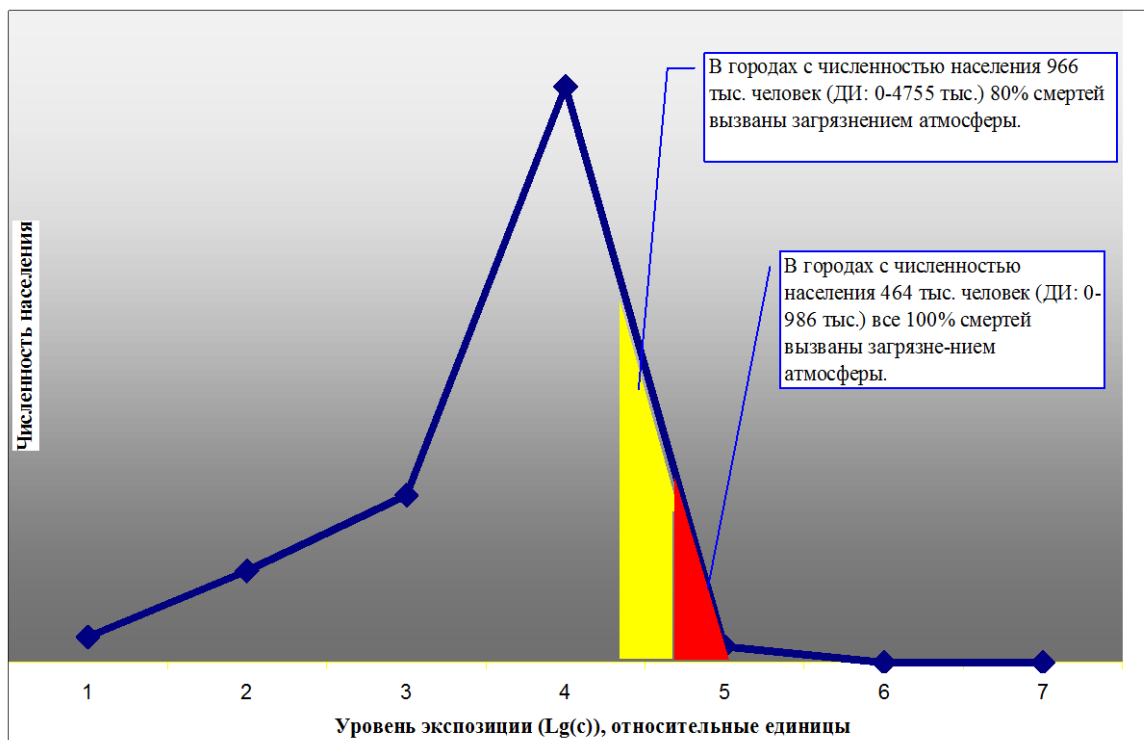


Рис. 5. Проблемы оценки риска при высоких экспозициях по модели Dockery: в некоторых городах России при формальном переносе данных модели Dockery основной причиной смерти является загрязненная атмосфера



Рис. 6. Вклад контролируемых и неконтролируемых канцерогенов и пыли в смертность из-за загрязнения атмосферы.

Таблица 1. Результаты оценки числа атрибутивных смертей в некоторых городах России

Город	Средняя концентрация, мг/м ³ 1998 год	Средняя концентрация, мг/м ³ 1993 год	Население	Число смертей 1998 год	Число смертей (95% доверительный интервал), 1998 год	Число смертей 1993год	Число смертей (95% доверительный интервал), 1993 год
Санкт-Петербург	0.138	0.100	4728200	18679	11294 -26499	12961	7837 -18387
Воронеж	0.330	0.260	908900	9233	5583 -13098	7181	4342 -10188
Ростов-на-Дону	0.292	0.090	1017000	9072	5485 -12870	2460	1487 -3490
Новосибирск	0.165	0.190	1402400	6761	4088 -9592	7915	4786 -11228
Красноярск	0.254	0.030	877800	6755	4084 -9582	425	257 -602
Самара	0.180	0.110	1168000	6215	3758 -8817	3578	2164 -5076
Волгоград	0.202	0.160	1000000	6031	3647 -8555	4676	2828 -6634
Нижний Новгород	0.147	0.130	1364900	5793	3503 -8218	5062	3061 -7181
Смоленск	0.500	0.400	355700	5564	3364 -7893	4416	2670 -6265
Саратов	0.200	0.060	881000	5256	3178 -7457	1279	773 -1814

В отличие от событий, которые могут быть непосредственно подсчитаны (например, смерти в автомобильных авариях), жертвы загрязненной атмосферы не могут быть идентифицированы. Неопределенность остается неотъемлемой составляющей любой попытки определить число атрибутивных случаев. В настоящей работе авторы с большой осторожностью отнеслись к проблеме неопределенности, используя приближение “по меньшей мере” при определении числа атрибутивных случаев, приписываемых загрязнению атмосферы. Так, в рассмотрение не были включены все эффекты загрязнения атмосферы. В частности, были проигнорированы потенциальные эффекты для новорожденных и детей. Хотя детская смертность является низкой и число атрибутивных смертей невысоко, эффект, выраженный в годах потерянной жизни, может быть значительным.

В настоящей работе недооценен вклад, обусловленный воздействием тех веществ в атмосфере, которые не коррелируют с PM_{10} . В качестве примера можно привести озон, возможно лидирующий с точки зрения вклада в смертность, количественные оценки по которому однако до сих пор не проведены. Используемая для оценок атрибутивных случаев смерти функция доза-отклик, **определена (Dockery и др.,1993a)** без указания перечня источников эмиссии и их вклада в загрязнение атмосферы. Функция доза-отклик для тонкодисперсных частиц, преимущественно содержащихся в выхлопах автомобильного транспорта, может отличаться от соответствующей функции для PM_{10} . В действительности, взвешенные частицы, образующиеся при сгорании топлива, дают значительный вклад в тонкодисперсную фракцию пыли $PM_{2.5}$, для которой в некоторых исследованиях (**Dockery и др.,1993b**) установлена более сильная связь с вредными эффектами для здоровья. Таким образом, представляется маловероятным, что эффекты здоровью, оцененные в настоящей работе, окажутся завышенными.

Оцененные атрибутивные случаи смерти являются следствием как “быстрых” так и отдаленных эффектов, которые в рамках принятой в (**Dockery и др.,1993a**) методики исследований не могут быть выделены отдельно. Число атрибутивных случаев было бы в 4-5 раз меньше, если бы были оценены только “быстрые” эффекты. В исследованиях “быстрых” эффектов устанавливается связь только с теми эффектами здоровью, которые близки по времени проявления к времени увеличения загрязнения атмосферы. Хотя когортные проспективные исследования позволяют оценить “быстрые” и отдаленные последствия, вызванные загрязнением атмосферы, для количественных расчетов были использованы только данные исследований по шести городам США (**Dockery и др.,1993a**), которые по предварительным данным находят подтверждение во французских исследованиях PAARC (**Sommer и др.,1999**).

Следует обратить внимание, что Европейская комиссия адаптировала предложения по Директиве для установления новых предельных величин по содержанию взвешенных частиц в атмосферном воздухе. Это предложение является первым в серии предложений, направленных на выполнение Директивы по оценке и управлению качеством окружающего **воздуха (Directive on Ambient Air Quality Assessment and Management-96/62/EC)**. Основной целью предложений является обеспечение высокого уровня защиты общественного здоровья в странах Европейского сообщества. Новые предельные величины основаны на Руководящих принципах по качеству воздуха (Air Quality Guidelines) для Европы, адаптированных Всемирной организацией здравоохранения в 1996 г. Предельно допустимые величины, обеспечивающие необходимую защиту общественного здоровья, планируется ввести до 2005 года. Для достижения поставленных целей к 2010 году эмиссия взвешенных частиц должна быть уменьшена по отношению к существующему уровню на 50% по всем странам Европейского Сообщества. Эти предложения являются только началом для разработки новых стандартов качества атмосферного воздуха, в частности, для тропосферного озона, окиси углерода, бензола и полициклических ароматических углеводородов.

Интересно отметить, что число преждевременных смертей может сократиться приблизительно на 40% при переходе в России к новым европейским стандартам качества атмосферы. При оценке ожидаемого эффекта, полагалось, что во всех городах России максимальная среднегодовая концентрация PM_{10} не превысит 50 мкг/м^3 (рис. 7). Значение 50 мкг/м^3 принято в ЕС, как максимальное среднегодовое значение концентрации взвешенных частиц в атмосфере в рекомендуемых новых стандартах качества атмосферного воздуха.

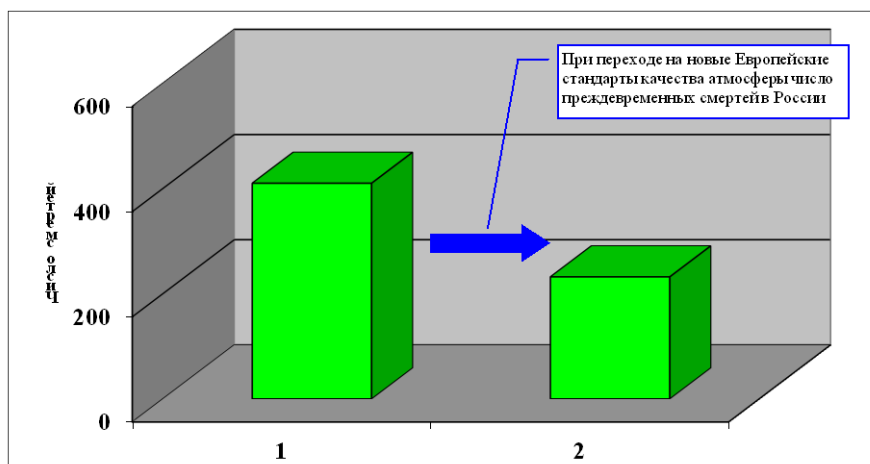


Рис. 7. Ожидаемое уменьшение числа смертей при переходе на новые Европейские стандарты качества атмосферного воздуха (среднегодовая концентрация $PM_{10} < 50 \text{ мкг/м}^3$)

4 Уменьшение продолжительности жизни

Также как в исследованиях (Dockery и др.,1993а; N.Kunzli и др.,2000) , где были приведены только данные по числу смертей, а не по времени жизни, потерянного в результате преждевременных смертей, в настоящей работе основное внимание уделено подсчету атрибутивного числа смертей. При оценке экономического эффекта загрязнения атмосферы существенно возрастная структура людей, умерших преждевременно от загрязнения атмосферы. Потеря трудоспособности и смертность наиболее сильно связаны с кардиопульмонарными заболеваниями, включая рак легких. Подгруппа людей, имеющих склонность к смерти от кардиопульмонарных болезней, имеет в среднем больший возраст по сравнению с людьми, умирающими от всех других ненасильственных причин. Например, в 1995 году средний возраст умерших от кардиопульмонарных болезней в Швейцарии составил 80 лет, в то время как средний возраст, умерших от всех других ненасильственных причин 72 года. Как следствие в результате одной смерти ожидаемая продолжительность жизни сокращается на сравнительно небольшую величину, а именно не более 6 месяцев на каждые $10 \text{ мкг/м}^3 PM_{10}$. Таким образом, суммарные потери времени жизни в результате загрязнения атмосферы оказываются ниже по сравнению с потерями от других ненасильственных случаев. Например, средний возраст погибшего в автомобильной аварии менее 40 лет, что значительно меньше возраста людей, преждевременно умерших из-за загрязнения атмосферы. Таким образом, в среднем потери времени жизни из-за загрязнения атмосферы оказываются меньше по сравнению с потерями из-за смертей в автомобильных авариях. С другой стороны, загрязнение атмосферы увеличивает смертность среди новорожденных и детей. Рост смертности новорожденных и детей из-за загрязнения атмосферы до сих пор количественно не исследован. Однако хотя смертность среди детей и новорожденных невысока, большие потери времени жизни в каждом случае могут быть причиной заметного вклада в суммарные потери времени жизни. В настоящей работе из-за отсутствия необходимых данных оценка сокращения продолжительности жизни не проводилась.

5 Чувствительность

Кроме погрешности в оценках эпидемиологических данных по определению функции доза-отклик, для характеристики которой был использован 95% доверительный интервал, ошибки возникают также при определении распределения экспозиции. Моделирование мультипликативных вероятностных распределений может, однако, привести к ошибочному выводу о точности вычислений, которая на самом деле не достигается. В этой связи хотелось бы еще раз отметить, что при оценках эффектов загрязнения атмосферы в настоящей работе авторы исходили из приближения “по меньшей мере”, позволяющего получить оценку снизу для числа атрибутивных случаев.

Были сделаны оценки чувствительности по отношению к основным сделанным предположениям. Как видно из рис. 3, число атрибутивных смертей, рассчитанное по данным 1993 года, незначительно изменяется по сравнению с числом смертей, рассчитанных по данным 1998 года. В тоже время изменение референтного уровня с 7.5 мкг/м^3 до 0 приводит к возрастанию числа атрибутивных смертей на 10–12%.

Атрибутивные смерти обычно интерпретируются, как такие случаи смерти, которые могут быть предотвращены в случае снижения экспозиции. Следует обратить внимание на то, что к такой интерпретации нужно относиться весьма осторожно. Во-первых, отдаленные последствия экспозиции могут проявиться лишь через годы, так что в результате снижения текущей экспозиции положительные эффекты могут быть достигнуты лишь в отдаленном будущем. Во-вторых, при оценке атрибутивных рисков не принимается в расчет состязательность рисков, когда исчезающий риск замещается менее значимым, остающимся до определенного времени в тени. Хорошо известно, что для болезней, возникающих из-за различных причин, суммарный риск по всем факторам может превышать значение 100%. Таким образом, для снижения риска преждевременной смерти должны быть приняты меры по снижению всех состязательных рисков.

6 Заключение

Проведенные в настоящей работе оценки числа атрибутивных смертей, вызванных загрязнением атмосферы в городах России, основаны на прямом формальном применении ранее установленной зависимости доза-эффект (**Dockery и др.,1993a**), которая по предварительным данным находит подтверждение во французских исследованиях PAARC (**Sommer и др.,1999**). В настоящее время, к сожалению, нет сведений о том, насколько универсальной является указанная функция, и каковая ее чувствительность к изменению социально-демографических показателей. Тем не менее, приведенные в настоящей работе оценки позволяют получить важную информацию о возможном масштабе влияния загрязнения атмосферы на здоровье людей в России и подтверждают актуальность проведения соответствующих исследований на основе эпидемиологических наблюдений в России.

Литература

1. **Dockery D, Pope A, Xu X, et al.(1993a)** An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med*; 329, 1753–59.
2. **Schwartz J, Dockery DW. (1992)** Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am Rev Respir Dis*; 145, 600–4.
3. **Kinney PI, Ozkaynak H.(1991)** Associations of daily mortality and air pollution in Los Angeles County. *Environ Res*; 54, 99–120.
4. **Dockery DW, Schwartz J, Spengler JD. (1992)** Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols. *Environ Res*; 59, 362–73.
5. **Schwartz J. (1991)** Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. *Environ Res*; 56: 204–13.
6. **Fairley D. (1990)** The relationship of daily mortality to suspended particulates in Santa Clara County, 1980-1986. *Environ Health Perspect*; 89, 159–68.
7. **Pope CA III, Schwartz J, Ransom MR. (1992)** Daily mortality and PM₁₀ pollution in Utah Valley. *Arch Environ Health*; 47, 211–7.
8. **Schwartz J, Dockery DW. (1992)** Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol*; 135, 12–9.
9. **N.Kunzli, R.Kaiser, S.Medina, etc. (2000)** Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, v.356, September 2, 795–801
10. **Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C. (1997)** Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from times series data from the APHEA project. *BMJ*; 314, 1658–63.
11. **Pope A, Thun M, Namboodiri M, et al. (1990)** Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med*; 151, 669–74.
12. **Dockery D, Pope A, Xu X, et al. (1993b)** An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med*;329, 1753–59.
13. **Sommer H, Chanel O, Vergnaud JCh, Herry M, Sedlak N, Seethaler R.** Monetary valuation of road traffic related air pollution: health costs due to road traffic-related air pollution: an impact assessment project of Austria, France and Switzerland third WHO Ministerial Conference of Environment & Health. London: WHO, 1999.
14. **Reshetin et al. (2000)** Sustainable urban development problem: environmental risk assessment as a tool for decision-making. Final report on ISTC project #320d.