



УДК 314.172+504.3.054:314.4(470.22)

Статистическая оценка связи между показателями смертности и выбросами загрязняющих веществ в условиях урбанизации

РЫБАКОВ
Дмитрий Сергеевич

*Институт геологии Карельского научного центра
РАН, rybakovd@krc.karelia.ru*

Ключевые слова:

выбросы загрязняющих веществ
повторяемость направлений ветра
коэффициенты смертности
основные причины смерти

Аннотация:

Существует статистическая связь между сокращающимся количеством выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и смертностью населения Петрозаводска за период с 2000 по 2012 гг. Улучшение демографических показателей статистически достоверно связано с уменьшением общей массы выбросов, а также выбросов отдельных загрязняющих веществ – оксида углерода и диоксида серы. Исключение представляют показатели смертности от новообразований, статистически связанные с количеством выбросов оксидов азота. До 2004 г. эти показатели снижаются, а затем растут со значительными флуктуациями. Влияние выбросов загрязняющих веществ на показатели смертности может усиливаться или ослабляться ветровым режимом, в частности повторяемостью северо-западного направления ветра, который определен как экологически значимый при перемещении загрязнителей.

© 2014 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Т. О. Волкова

Получена: 06 мая 2014 года

Опубликована: 30 сентября 2014 года

Введение

В последние десятилетия проблема загрязнения атмосферного воздуха вредными химическими веществами рассматривалась в тесной связи с изменениями здоровья и смертности населения во многих странах мира. Публикации по данной тематике исчисляются тысячами и во многом цитируются в обобщающей литературе, руководствах и рекомендациях (ATSDR, 1998; Гичев, 2002; Онищенко и др., 2002; Ревич и др., 2004; Air Quality..., 2006; Sulfur dioxide..., 2008; Pietrodangelo et al., 2010 и др.). Все чаще оригинальные исследования проводятся по отдельным городам с использованием возможностей математической статистики (Синицын, 2011; Hoï et al., 2014).

По оценке Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в настоящее время загрязнение воздуха является крупнейшим фактором экологического риска для здоровья. Согласно этой оценке, около 3.7 млн дополнительных случаев смерти в 2012 г. связаны с загрязнением атмосферного воздуха, 4.3 млн – с загрязнением воздуха внутри помещений. Так как многие люди подвергаются воздействию как внутреннего, так и наружного загрязненного воздуха, количества смертей, вызванных этими источниками, не могут просто суммироваться, поэтому ВОЗ предлагает оценивать окончательное число жертв загрязнения в 2012 г. примерно в 7 млн человек (WHO, 2014).

В наибольшей степени проблемы со здоровьем в результате прямого действия атмосферного загрязнения связывают с болезнями систем кровообращения, органов дыхания, онкологическими

заболеваниями, психоневрологическими нарушениями и некоторыми другими (Гичев, 2002). Возможно и косвенное действие вдыхаемых вредных веществ, вследствие которого активизируются неблагоприятные и опасные факторы, способные в конечном итоге приводить (в том числе через экологически зависимые психоневрологические нарушения) к дополнительным случаям смерти от случайных отравлений алкоголем, убийств, самоубийств и т. д.

Возрастание потребления спиртных напитков населением индустриальных городов Европейского Севера России отмечалось еще в 60-80-х годах прошлого столетия. Показатели потребления алкоголя на душу населения этих городов были выше среднеобластных и среднереспубликанских (Колокольчикова, 2011). А. М. Абдалиев (1991) со ссылкой на целый ряд исследователей указывает, что наиболее высокий уровень алкоголизации отмечается среди работников промышленных предприятий. Именно данная категория лиц представляет собой группу высокого риска в плане развития тяжелых форм алкоголизма с плохим прогнозом. Между тем экологическая составляющая алкоголизации в этих и других работах не изучалась. В какой-то мере это могло стать невольной скрытой причиной признания усилий «городских властей, лечебных учреждений, административных органов, администраций предприятий, общественных организаций по борьбе с пьянством и алкоголизмом... неэффективными» (цит. по: Колокольчикова, 2011). С другой стороны, к настоящему времени тем не менее судебными медэкспертами установлено, например, что этиловый спирт в малых количествах в крови оказывает благоприятное действие на исход отравления угарным газом, а в больших концентрациях усиливает токсическое действие карбоксигемоглобина, повышая процент риска смерти (Абдукаримов, Искандаров, 2010).

Известна связь психоневрологических нарушений с их возможными тяжелыми последствиями (в том числе убийствами, самоубийствами, смертельными травмами на производстве и в дорожно-транспортных происшествиях). К сожалению, результаты исследований по этой тематике не сопоставляются и методически не объединяются с результатами экологических работ. Так, например, Н. Ф. Кузнецова (1984) упоминает, что в результате обобщения судебной практики по делам об умышленном убийстве в 1969 г. было установлено, что среди осужденных за убийство при отягчающих обстоятельствах (ст. 102 УК РСФСР) 40 % составляли лица с психическими аномалиями, не исключающими вменяемости. Ю. П. Гичев (2002) приводит многочисленные доводы и ссылки на работы разных авторов, в том числе за период с 1955 по 2001 г., подтверждающие связь экологических факторов с психологическими и неврологическими нарушениями организма. Объединяя подобного рода свидетельства, можно, проведя специальные исследования, попытаться найти искомые зависимости. Так, южнокорейские исследователи установили корреляционную связь между количеством завершенных суицидов и концентрациями взвешенных веществ в атмосферном воздухе, определенными за два дня до совершения самоубийств (Kim et al., 2010).

Опубликованы первые результаты сопоставления многолетних данных по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух и показателям смертности для Республики Карелия (Рыбаков, 2014). В частности, обнаружено, что сокращение числа случаев смерти от болезней системы кровообращения (на 1000 человек) обусловлено уменьшением выбросов от предприятий обрабатывающих производств (кроме алюминиевого производства в Сегежском районе) и, частично, жилищно-коммунального комплекса. Уровень смертности от новообразований, напротив, в последние годы вырос, что может быть связано с резким увеличением выбросов от автомобильного транспорта. Вместе с тем очевидно, что экологические факторы, включая загрязнение атмосферного воздуха, не являются единственной причиной убыли населения. Например, изменение показателей смертности также связывают с состоянием медицины, наследственностью, возрастом, полом, экологически независимыми социальными проблемами (Баскаков и др., 2001; Бочков и др., 2011; Римашевская и др., 2011; Молчанова, 2012; Молчанова, Кручек, 2013 и др.). Сведения об этих составляющих возможного воздействия на здоровье не являются предметом рассмотрения данной статьи. Основанием для нее послужила важность выделения экологических факторов, которые могут вносить дополнительный вклад в повышение уровня смертности на территориях отдельных поселений, характеризующихся определенным уровнем промышленного и транспортного развития, а также погодноклиматическими особенностями.

Следует отметить, что погодноклиматические, в том числе метеорологические, факторы – температура воздуха, влажность, ветровой режим – в совокупности в той или иной степени оказывают положительное или отрицательное воздействие на здоровье как при отсутствии загрязнения воздуха, так и при его наличии (Климатические изменения..., 2003). В последнем случае текущие метеорологические условия влияют на распространение выброшенных в атмосферу загрязнителей,

сокращая или увеличивая уровень экспозиции на население.

Исходя из вышесказанного, целью настоящего исследования является оценка зависимости показателей смертности от загрязнения атмосферного воздуха в условиях самого крупного в регионе населенного пункта – города Петрозаводска. По сути создается концептуальная база для дальнейшей оценки экологических рисков населения, заключающейся, в том числе, в исследовании влияния поступающих из загрязненной воздушной среды опасных компонентов на организм человека, определении групп риска в популяции с учетом размещения выявленных источников загрязнения, формулировке обоснованных рекомендаций для принятия управленческих решений.

Материалы

Для построения статистических моделей и расчетов использовались опубликованные в государственных докладах о состоянии окружающей среды Республики Карелия (Государственный доклад..., 2001..., 2010) и предоставленные Карелиястатом данные по выбросам загрязняющих веществ от стационарных источников по городу Петрозаводску, а также численности и смертности населения за 2000-2012 гг. (данные Карелиястатом предоставлены: по валовым выбросам загрязняющих веществ – за 2010-2012 гг., по численности населения и показателям смертности – за весь исследуемый период). Главными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха Петрозаводска на протяжении последних лет являлись сосредоточенные в городе предприятия и объекты некоторых обрабатывающих производств (прежде всего по выпуску машин, оборудования и металлообработке), энергетики (Петрозаводская ТЭЦ), жилищно-коммунального комплекса (небольшие котельные), железнодорожного транспорта (локомотивное депо, железнодорожные станции).

Для учета возможного влияния на устанавливаемые связи метеорологических условий оцениваемого периода с использованием данных метеостанции «Петрозаводск» рассчитаны среднегодовые значения следующих параметров: температуры воздуха, парциального давления водяного пара, количества атмосферных осадков, повторяемости направлений ветра. Исходные данные получены через сайт Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных <http://meteo.ru> (Специализированные..., 2014).

Методы

В настоящей работе для установления связей между уровнем поступления загрязняющих веществ в атмосферу города, метеорологическими параметрами и показателями смертности населения используются методы математической статистики (построение графиков зависимости, линейный корреляционный и факторный анализы). К сожалению, упорядоченных сведений о концентрациях вредных веществ в атмосферном воздухе за длительный период времени в открытом доступе не обнаружено, что объясняется наличием в Петрозаводске только одного стационарного пункта наблюдения за состоянием атмосферного воздуха. В связи с этим оценка воздействия загрязнения осуществлена с применением сведений о количестве (массе) выбросов, как общего, так и по основным загрязнителям (взвешенным веществам, диоксиду серы, оксиду углерода, оксидам азота). Кроме того, при использовании сведений о концентрациях вредных ингредиентов, например, для диоксида серы отмечалась (Климатические изменения..., 2003) возможность в определенной степени неточностей методов отбора и определения этого вещества в воздухе, что могло приводить к занижению регистрируемых концентраций.

Для исследования использованы данные, полученные за достаточно длительный период, в течение которого происходили серьезные изменения в экономике, включающие в том числе спад промышленного производства, закрытие и переоборудование предприятий, что не могло не сказаться на значительном снижении выбросов загрязняющих веществ от стационарных объектов. Предполагалось, что природные факторы, определяющие характер распространения выбросов, при усреднении по годам соответствующих параметров могут заметно сказываться на устанавливаемых связях только в случае их широких вариаций, сопоставимых с темпами снижения выбросов.

Вместе с тем для корректировки объяснений полученных трендов учтена повторяемость северо-западного направления ветра (румбы в пределах 300-330°), обусловившего до 9.7 % повторяемости распространения выбросов в годовом ходе прежде всего от объектов Северной промышленной зоны, Петрозаводской ТЭЦ и РАО «РЖД». В силу расположения указанных объектов выбросы от них при северо-западном ветре могут проходить через всю территорию города, которая вытянута с северо-запада на юго-восток, т. е. покрывать площадь с наибольшей плотностью и численностью населения. В центральной части Петрозаводска к выбросам указанных предприятий в

исследуемый период добавлялись выбросы первой площадки ООО «Онежский тракторный завод», прекратившей свою деятельность к 2008 г.

Все статистические расчеты и построения графиков выполнены с применением пакета «Анализ данных» программы Microsoft Excel, факторный анализ – STATGRAPHICS Plus 5.0.

Результаты

Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от всех стационарных источников Петрозаводска снизилось за изучаемый период в 3.5 раза (рис. 1). Это уменьшение является следствием прекращения работы ряда котельных, падения производства на промышленных объектах, замены мазута на природный газ на многих предприятиях города, осуществления природоохранных мероприятий (Государственный доклад..., 2001..., 2010 и др.). На фоне общей динамики можно отметить закономерное снижение выбросов диоксида серы и рост, начиная с 2007 г., выбросов оксидов азота, что связывается с переходом предприятий на использование в качестве топлива природного газа.

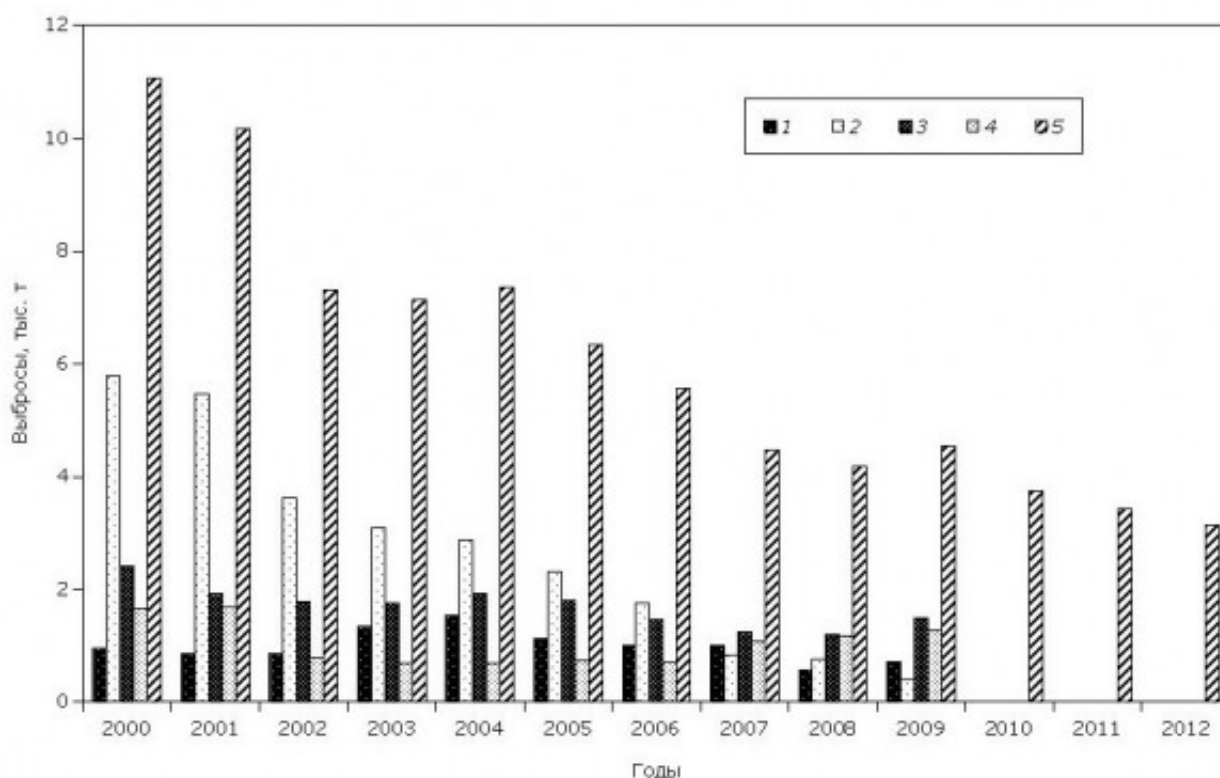


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу г. Петрозаводска в 2000–2012 гг. (Государственный доклад..., 2001..., 2010; 2010–2012 гг. – данные Карелиястата): 1 – взвешенные вещества (ВВ); 2 – SO₂; 3 – CO; 4 – NO_x; 5 – прочие; 6 – всего выбросов

Fig. 1. Emissions of air pollutants in Petrozavodsk in 2000–2012 (State Report ..., 2001 ..., 2010; 2010–2012 – data from Kareliastat): 1 – particulate matter (PM); 2 – SO₂; 3 – CO; 4 – NO_x; 5 – others; 6 – a total of emissions

Расчеты с использованием метеорологических данных показали, что в период с 2000 по 2012 г. среднегодовые значения температуры атмосферного воздуха и парциального давления водяного пара варьировали в Петрозаводске в пределах 2.6–4.6 °C и 7.0–7.9 гПа соответственно. Среднегодовая повторяемость северо-западного направления ветра, выбранного, как указано выше, в качестве экологически значимого, колебалась в пределах 5.8–9.7 % в годовом ходе.

Основными причинами смерти жителей Петрозаводска являются (2000–2012 гг.): болезни системы кровообращения (52.0–56.5 % случаев), внешние причины (17.4–7.9 %) и онкологические заболевания (12.9–19.0 %). При этом в 2004 г. злокачественные новообразования как причина смерти вышли на второе место, сместив внешние факторы на третью позицию. В целом наблюдается снижение общей

смертности, смертности от болезней системы кровообращения и от внешних причин (рис. 2).

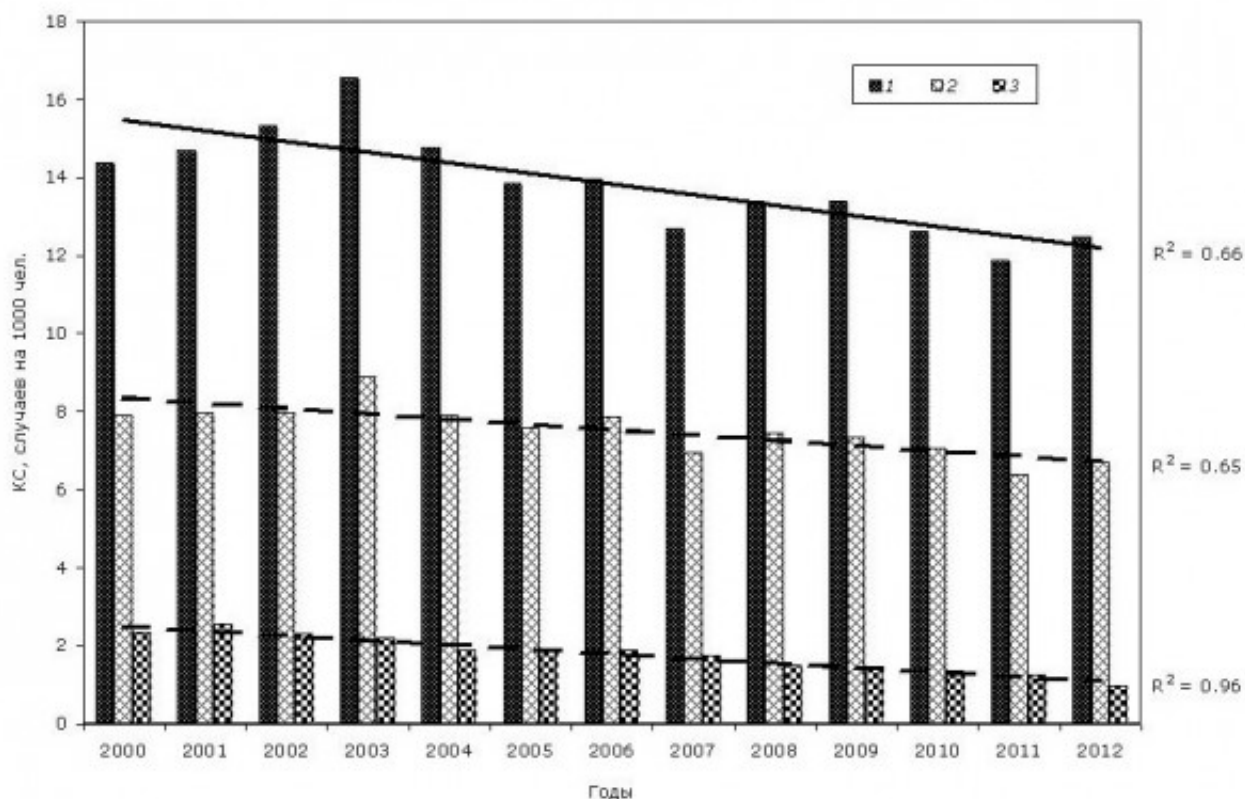


Рис. 2. Смертность населения г. Петрозаводска в 2000–2012 гг. (по данным Карелиястата): КС – коэффициенты смертности: 1 – общий (ОКС), 2 – от болезней системы кровообращения (КС_{БСК}), 3 – от внешних причин (несчастных случаев, отравлений и травм) (КС_{ВН}); R^2 – коэффициенты детерминации соответствующих линейных моделей

Fig. 2. Population mortality in Petrozavodsk in 2000–2012 (according to Kareliastat): MC – mortality coefficients: 1 – total (TMC), 2 – from diseases of the circulatory system (MC_{DCS}), 3 – from external causes (accidents, poisoning and injuries) (MC_{Ext.}); R^2 – coefficients of determination of the corresponding linear models

Иначе выглядит изменение показателя смертности от новообразований. С 2000 по 2004 г. наблюдается его резкое снижение, а в последующие годы – рост со значительными флуктуациями (рис. 3).

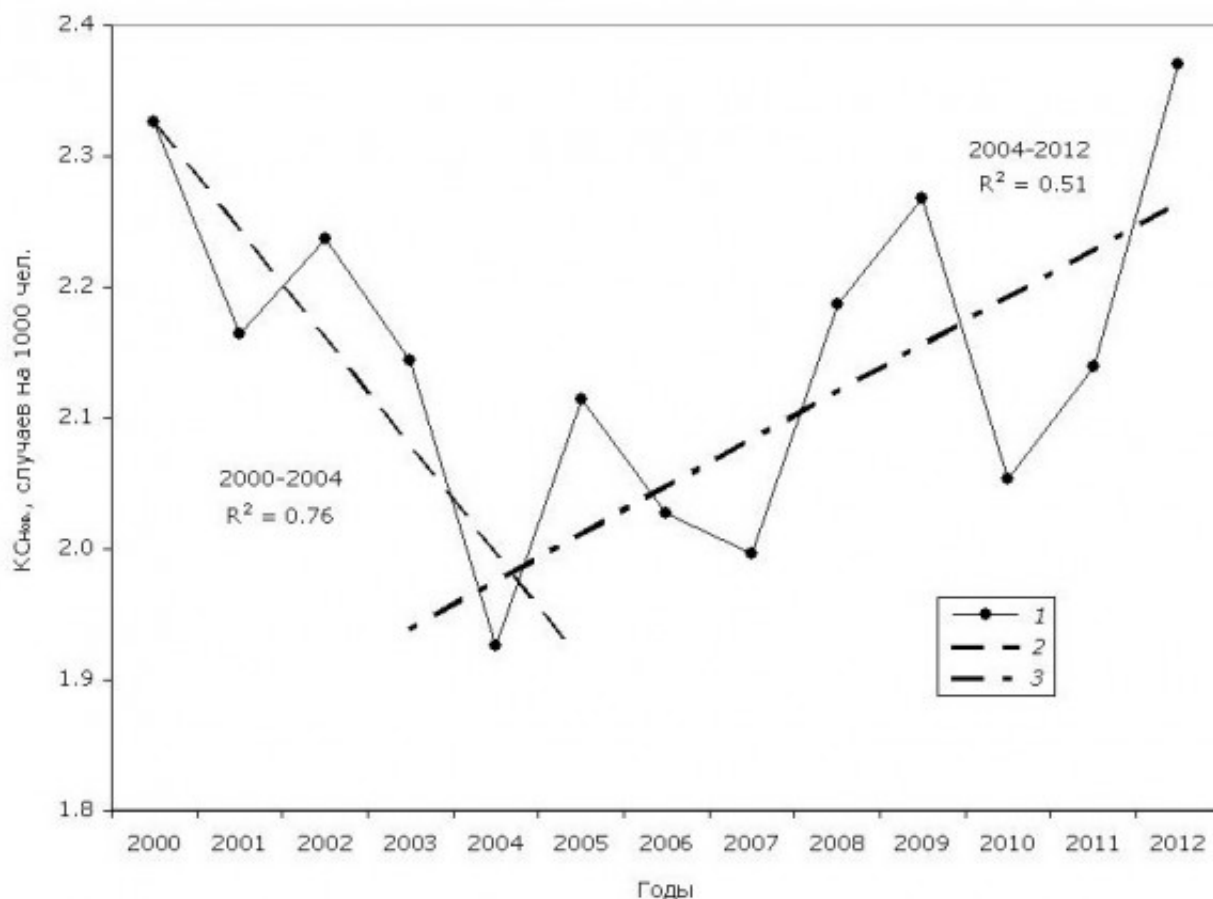


Рис. 3. Смертность населения г. Петрозаводска от новообразований ($KC_{нов.}$): 1 – данные Карелиястата; 2 – линейная модель для периода 2000–2004 гг.; 3 – то же для периода 2004–2012 гг.

Fig. 3. Population mortality from neoplasms in Petrozavodsk ($MC_{Neopl.}$): 1 – data of Kareliastat; 2 – the linear model for the 2000–2004; 3 – the same for the 2004–2012

В табл. 1 приведены рассчитанные для нормального закона распределения парные коэффициенты корреляции между погодно-климатическими характеристиками, которые могут влиять на здоровье, и показателями смертности. Из таблицы видно, что для значений температуры воздуха, количества осадков, парциального давления водяного пара, характеризующего влажность атмосферного воздуха, и повторяемости направления ветра коэффициенты корреляции статистически незначимы при 95%-м уровне надежности.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между метеорологическими показателями и показателями смертности населения за 2000–2012 гг.

Table 1. The correlation coefficients between meteorological parameters and indicators of mortality in 2000–2012

	ОКС	$KC_{БСК}$	$KC_{нов.}$	$KC_{вн.}$
$t_{в}$	-0.10	-0.07	0.03	0.10
O	-0.01	0.04	0.18	-0.27
P_w	-0.41	-0.34	-0.13	-0.12
NW	0.07	-0.01	-0.28	-0.30

– температура воздуха; O – количество атмосферных осадков; P_w – парциальное давления водяного пара; NW – повторяемость северо-западного направления ветра; критический $r = 0.55$ при $P = 0.95$, $f = 11$.

– air temperature; R – amount of precipitation; Pw – partial pressure of water vapor; NW – repeatability of the north-west wind direction; critical $r = 0.55$ at $P = 0.95$, $f = 11$.

Вместе с тем, как оказалось, некоторые характеристики можно использовать для корректировки интерпретации графических построений и зависимостей.

На рис. 4 представлены графические модели, демонстрирующие связь между количеством выбросов загрязняющих веществ и показателями смертности, в том числе по двум из основных классов причин смерти – от болезней системы кровообращения и от внешних причин.

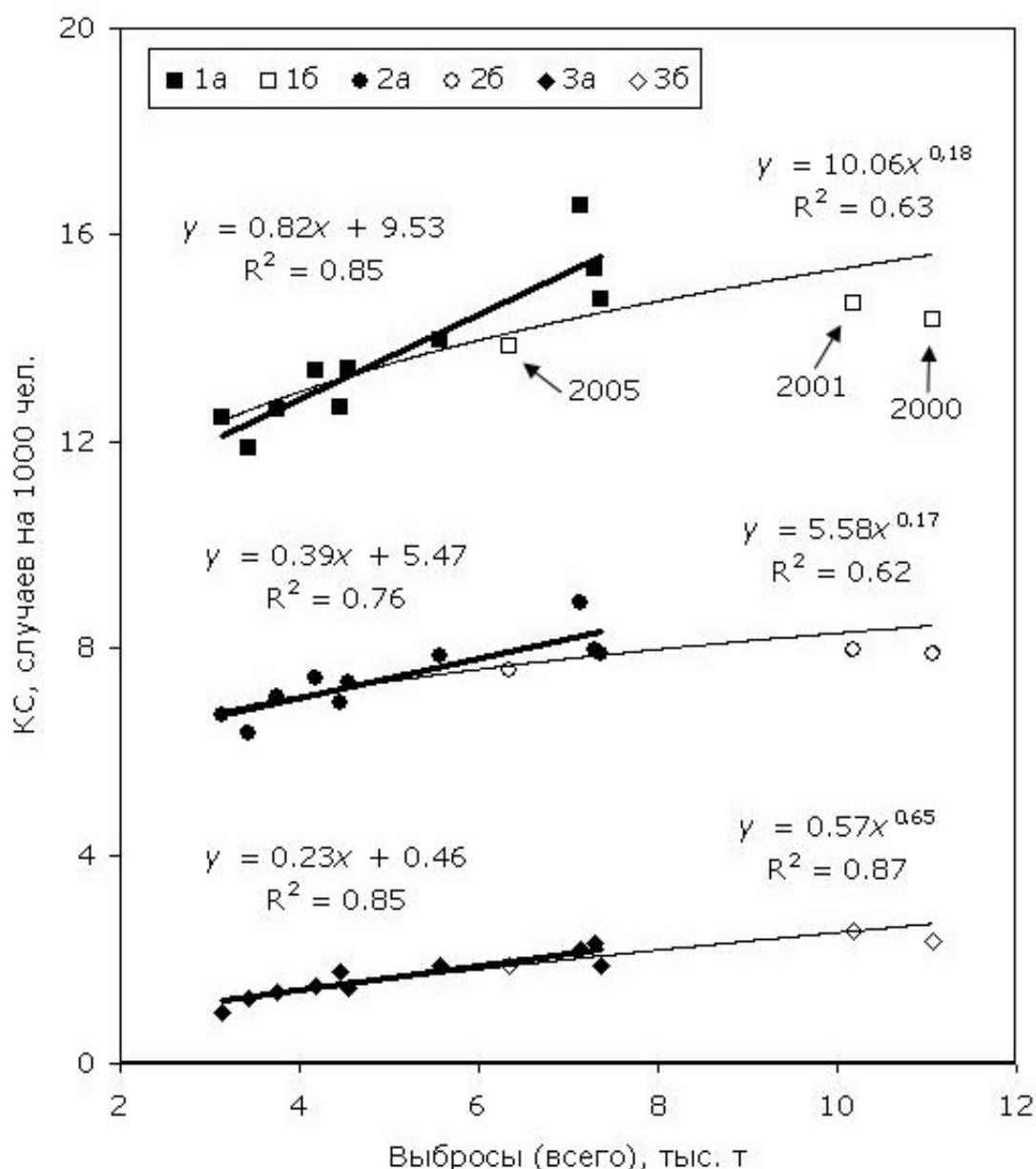


Рис. 4. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу г. Петрозаводска и значения коэффициентов смертности (источники данных указаны в разделе «Материалы»): 1 – ОКС; 2 – КС_{БСК}; 3 – КС_{ВН.}; а – годы со среднегодовой повторяемостью северо-западного направления ветра 6.8-9.7 % (2002-2012, кроме 2005); б – годы со среднегодовой повторяемостью северо-западного направления ветра 5.8-6.5 % (2000-2001, 2005); для каждой линии трендов сверху приведены уравнения (линейные или степенные) и коэффициенты детерминации (R^2)

Fig. 4. Emissions of air pollutants in Petrozavodsk and mortality coefficients (the data sources are listed in the section «Materials»): 1 – TMC; 2 – MC_{DCS}; 3 – MC_{Ext.}; а – years with an average annual frequency of the

north-west wind direction of 6.8–9.7 % (2002–2012, except 2005); *b* – the years with an average annual frequency of the north-west wind direction of 5.8–6.5 % (2000–2001, 2005); for each trend lines the equations (linear or power) and the coefficients of determination (R^2) are shown.

На рисунке темными маркерами показаны точки, соответствующие годам с большей среднегодовой повторяемостью северо-западного направления ветра (среднее составляет 8.2 %), светлыми – с меньшей (среднее – 6.2 %). При исключении из построений последних статистические связи для периода 2000–2012 гг. характеризуются достаточно низкими коэффициентами неопределенности ($1 - R^2$) линейных моделей (0.24–0.15). Точки, соответствующие данным 2000, 2001 и 2005 годов с наименьшими значениями среднегодовой повторяемости северо-западного направления ветра, при их включении в графические построения, снижают адекватность получаемых моделей. Их примерами являются линии, описывающие связь показателей смертности от болезней системы кровообращения и общей смертности населения с количеством выбросов (см. рис. 4). Коэффициенты неопределенности даже степенных моделей в этих случаях оказываются относительно высокими (0.38 и 0.37). В то же время максимальные значения смертности от болезней системы кровообращения (8.90 случая на 1000 человек) и общей смертности (16.55 случая на 1000 человек) зафиксированы в 2003 г., когда повторяемость северо-западного направления ветра также была максимальной за весь изучаемый период (9.7 % в годовом ходе).

Сильная статистическая связь отмечается между количеством выбросов и смертностью от внешних причин (см. рис. 4), показатели которой в рассматриваемый период последовательно снижались (см. рис. 2). В Республике Карелия смертность от внешних причин формируют следующие факторы: случайные отравления алкоголем, убийства, самоубийства и некоторые другие (Государственный доклад..., 2001..., 2007; Смертность..., 2014).

Следует отметить, что статистические данные в целом по Республике Карелия свидетельствуют об уменьшении доли случайных отравлений алкоголем в общем числе случаев смерти от внешних факторов – 21.1–24.7 % (2000–2005), 11.1–18.5 % (2006–2011) и 8.2 % (2012). Эту тенденцию, как представляется, можно распространить и на Петрозаводск. В справочной литературе отмечается (Вредные..., 1988), что, с одной стороны, алкоголики, наряду с курящими и лицами с заболеваниями системы кровообращения, тяжело переносят отравление оксидом углерода. С другой стороны, среди многообразия жалоб при хроническом отравлении оксидом углерода, обычно через два-три месяца после начала контакта с ним, среди прочего выделяется плохая переносимость алкоголя. Как было сказано выше, судебная медэкспертиза подтверждает увеличение риска смерти в результате отравления угарным газом при высокой концентрации этилового спирта в крови (Абдукаримов, Искандаров, 2010). Таким образом, чрезмерное разовое употребление алкоголя с летальным исходом может в какой-то мере оказаться одной из причин «парадоксальной» зависимости показателя смертности, связанной с внешними факторами, от уровня загрязнения атмосферного воздуха (см. рис. 4).

В целом в Петрозаводске в 2012 г. коэффициент смертности от внешних факторов составил 0.98 случая на 1000 человек (или в абсолютном выражении при среднегодовой численности населения за указанный год 267 тыс. 105 человек – 261 случай). Используя уравнение линейной модели, приведенное на рис. 4 для линии тренда, характеризующей связь между смертностью от внешних причин и выбросами загрязняющих веществ, при условии сглаживания действия других факторов и при сохранении линейного тренда в области экстраполяции вплоть до гипотетического прекращения выбросов ($x = 0$; $y = 0.46$), можно предположить, что в 2012 г., например, число погибших от всех внешних причин из-за влияния загрязнения воздуха (косвенный фактор) могло составить порядка 138 человек: $267105 \cdot (0.98 - 0.46) / 1000 = 138.9$.

Статистическая связь между показателями смертности и выбросами загрязняющих веществ иллюстрируется коэффициентами парной корреляции (табл. 2). Значения общего коэффициента смертности, коэффициентов смертности от болезней системы кровообращения и внешних причин в большей степени связаны с присутствием в выбросах диоксида серы и оксида углерода. С выбросами взвешенных веществ они связаны в меньшей степени (все значения коэффициентов корреляции незначимы при 95%-м уровне надежности).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между количеством выбросов загрязняющих веществ и показателями смертности населения

Table 2. The correlation coefficients between the amount of pollutant emissions and the indicators of mortality

	ОКС	КС _{БСК}	КС _{Нов.}	КС _{Вн.}
Всего выбросов	0.52	0.51	0.31	0.89
	0.87	0.76	-0.21	0.87
BB	0.48	0.47	-0.63	0.24
	0.55	0.54	-0.70	0.52
SO ₂	0.56	0.55	0.33	0.93
	0.87	0.77	-0.11	0.93
CO	0.52	0.50	0.34	0.72
	0.80	0.69	-0.11	0.67
NO _x	-0.28	-0.24	0.57	0.24
	-0.75	-0.75	0.45	-0.84

Примечание. Сокращенные обозначения коэффициентов смертности приведены на рис. 2 и 3; в верхних строках для каждого ингредиента – расчет для всех имеющихся данных (полная выборка за 2000–2009 гг.), критический $r = 0.63$ при $P = 0.95$, $f = 8$; в нижних строках – за исключением данных за 2000–2001, 2005 гг. с минимальной среднегодовой повторяемостью северо-западного направления ветра (см. рис. 4), критический $r = 0.75$ при $P = 0.95$, $f = 5$.

Note. Shorthand notation mortality coefficients are given in Fig. 2 and 3; in the upper rows for each ingredient – calculation for all available data (full statistical sample for 2000–2009), critical $r = 0.63$ at $P = 0.95$, $f = 8$; in the lower rows – with the exception of data for 2000–2001, 2005 with a minimum average annual frequency of the north-west wind direction (see Fig. 4), critical $r = 0.75$ at $P = 0.95$, $f = 5$.

Известно, что выживаемость больных злокачественными новообразованиями зависит от ряда причин, в том числе, возможно, более раннего выявления заболеваний и проведения качественного лечения (Государственный доклад..., 2010). Обычно ориентируются на 5-летнюю выживаемость, которая в 2009 г. составила по Республике Карелия 57.4 %. Вместе с тем по ряду раков выживаемость пациентов обычно очень низкая. Например, большинство больных раком легких, входящим, наряду с раками молочной железы, трахеи, бронхов, желудка, в число ведущих в региональной структуре онкопатологий (Государственный доклад..., 2007), умирают в первые три года после постановки диагноза (Мерабишвили, Дятченко, 2000).

Снижение выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, исходя из данных корреляционного анализа, не ведет к адекватному сокращению смертности от новообразований (см. табл. 2). В большей степени с уровнем смертности от новообразований могут быть связаны выбросы оксидов азота. Однако значения соответствующих коэффициентов корреляции не являются статистически значимыми (см. табл. 2).

Для получения адекватной информации о структуре изучаемых связей проведен факторный анализ методом главных компонент, результаты которого представлены в табл. 3. При расчетах использовались четыре выборки: в каждой последующей значения коэффициента смертности от новообразований смещались на один год таким образом, что в результате получились данные о статистической связи этого показателя с другими переменными с лагами в один, два и три года. Все значения переменных распределены по нормальному закону.

Таблица 3. Матрицы факторных нагрузок, рассчитанных для выявления статистической связи между количеством выбросов загрязняющих веществ и показателями смертности с оценкой временного лага

Table 3. Matrix of factor loadings calculated to identify the statistical relationship between the amount of the emissions of pollutants and mortality indicators with the estimate of the time lag

	Без лага		Лag 1 год		Лag 2 года		Лag 3 года	
	I	II	I	II	I	II	I	II
BB	0.15	-0.94	-0.77	-0.34	0.58	-0.56	0.58	-0.71
SO ₂	0.95	-0.08	-0.61	0.77	0.87	0.42	0.89	0.40
CO	0.92	-0.18	-0.72	0.61	0.89	0.29	0.85	0.27
NO _x	0.45	0.76	0.33	0.87	0.01	0.97	0.09	0.96
KC _{БКС}	0.62	-0.53	-0.85	0.03	0.79	-0.26	0.75	-0.31
KC _{Нов.}	0.53	0.69	0.59	0.64	-0.17	0.61	-0.66	0.05
d _f , %	43.7	37.8	44.4	37.4	42.4	32.8	47.6	29.0

Примечание. Обозначения переменных см. в примечаниях к предыдущим рисункам и таблицам; критическое значение для факторных нагрузок при P = 0.95 и f = 8 равно 0.63; d_f – вклад i-го фактора в общую дисперсию.

Note. Notation of variables see in the notes to the previous figures and tables; critical value of the factor loadings at P = 0.95 and f = 8 equals 0.63; d_f – the contribution of the i-th factor to the total dispersion.

Таблица 4. Матрицы факторных нагрузок после варимаксного вращения

Table 4. Matrix of factor loadings after varimax rotation

	Без лага		Лag 1 год		Лag 2 года		Лag 3 года	
	I	II	I	II	I	II	I	II
BB	0.48	-0.82	0.33	-0.78	0.40	-0.70	0.38	-0.83
SO ₂	0.91	0.28	0.97	0.14	0.95	0.16	0.97	0.17
CO	0.92	0.17	0.94	-0.04	0.94	0.03	0.89	0.05
NO _x	0.13	0.87	0.35	0.86	0.28	0.93	0.32	0.90
KC _{БКС}	0.77	-0.27	0.64	-0.56	0.69	-0.48	0.65	-0.48
KC _{Нов.}	0.23	0.84	0.01	0.87	0.01	0.64	-0.63	0.21
d _f , %	42.9	38.6	41.1	40.7	41.6	33.5	46.5	30.1

Анализ приведенных матриц выявил сильную статистическую связь между значениями коэффициента смертности от новообразований и количеством выброшенных в воздух оксидов азота. Причем эта связь проявляется на протяжении двухлетнего периода по окончании года, в котором допущены выбросы, затухая к третьему году. Подтверждаются сильные статистические связи между коэффициентом смертности от болезней системы кровообращения, с одной стороны, и выбросами диоксида серы и оксида углерода, с другой. Отсутствие значимой корреляции с количеством выбросов взвешенных веществ может быть объяснено дополнительным влиянием транспортных магистралей (Июффе, 2014), которое в данном исследовании не учитывалось.

Следует отметить, что диоксид азота относится к веществам, способным потенцировать действие канцерогенов (Первичная профилактика..., 2011), что в нашем случае может отражаться в выявленных статистических связях. Снижение выбросов диоксида серы (см. рис. 1), также способного усиливать действие канцерогенных веществ (Первичная профилактика..., 2011), в том числе создавать определенные условия в легочной ткани для проявления канцерогенного действия бенз(а)пирена (Вредные..., 1989), практически не отразилось на изменении онкологической ситуации (см. табл. 2–4). Между тем среднемесячная концентрация бенз(а)пирена, одного из возможных агентов, канцерогенные свойства которого могут быть усилены другими химическими загрязнителями, в атмосфере Петрозаводска в исследуемый период (данные за 2001–2005 гг.) составляла $2.2\text{--}3.1 \cdot 10^{-6}$ мг/м³ (2.2–3.1 ПДК) (Государственный доклад..., 2002–2006).

Заключение

Методы математической статистики дают возможность установить связь между количеством выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ и параметрами смертности населения в условиях

городской среды. В Петрозаводске снижение общей смертности населения, смертности от болезней системы кровообращения и внешних причин в течение 2000-2012 гг. статистически тесно связано с сокращением суммарных выбросов от сосредоточенных в городе источников загрязнения. При этом учет повторяемости наиболее экологически опасного для большей части населения города направления ветра (северо-западного) позволил объяснить некоторые отклонения от полученных трендов. Установлены статистические связи между изменением показателей смертности, в том числе по основным классам причин смерти, и количеством выбрасываемых ведущих загрязняющих компонентов. Так, общая смертность, смертность от болезней системы кровообращения и внешних причин связаны с присутствием в выбросах диоксида серы и оксида углерода.

Применение факторного анализа (метод главных компонент) позволило также получить данные о статистической связи между значениями показателя смертности от новообразований и выбросами оксидов азота. Созданные графические модели для подтверждения их достоверности в дальнейшем необходимо дополнять вновь поступающими данными. При отклонении новых данных от указанных моделей следует оценивать воздействие ранее отсутствовавших или слабо проявлявшихся факторов.

Наиболее опасными для большей части населения Петрозаводска являются выбросы от объектов Северной промышленной зоны и некоторых других, расположенных рядом с ней, источников загрязнения в сочетании с ветром северо-западного направления. Получение корректных данных по выбросам от передвижных источников, в том числе автотранспорта, позволит в дальнейшем дополнить оценку связи используемых демографических показателей с общим количеством выбросов загрязняющих веществ на городской территории.

Библиография

Абдалиев А. М. Терапевтические ремиссии у больных алкоголизмом мужчин, рабочих, занятых в промышленном производстве: [Therapeutic remission in male alcoholic patients, workers employed in industrial production] Автореф. дисс. ... канд. мед. наук / Всесоюз. науч. центр мед.-биол. проблем наркологии. М., 1991. 24 с.

Абдукаримов Б. А., Искандаров А. И. Особенности судебно-медицинской токсикометрии острых отравлений угарным газом, сочетанных с алкогольной интоксикацией [Forensic medical toxicometry of acute carbon monoxide poisoning during alcoholic intoxication] // Судебно-медицинская экспертиза. 2010. № 1. С. 30-33.

Баскаков В. Н., Андреева О. Н., Баскакова М. Е., Карташов Г. Д., Крылова Е. К. Страхование от несчастных случаев на производстве: актуарные основы [Personal accident insurance in production: actuarial bases] / Под ред. В. Н. Баскакова. М.: Academia, 2001. 192 с.

Бочков Н. П., Пузырев В. П., Смирнихина С. А. Клиническая генетика: учебник [Clinical genetics: the textbook] / Под ред. Н. П. Бочкова. 4-е изд., доп. и перераб. М., 2011. 592 с.

Вредные химические вещества. Неорганические соединения I-IV групп: Справ. изд. [Harmful chemicals. Inorganic compounds I-IV groups: Ref. ed.] / А. Л. Бандман, Г. А. Гудзовский, Л. С. Дубейковская и др.; Под ред. В. А. Филова и др. Л.: Химия, 1988. 512 с.

Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп: Справ. изд. [Harmful chemicals. Inorganic compounds V-VIII groups: Ref. ed.] / А. Л. Бандман, Н. В. Волкова, Т. Д. Грехова и др.; Под ред. В. А. Филова и др. Л.: Химия, 1989. 592 с.

Гичев Ю. П. Загрязнение окружающей среды и здоровье человека. (Печальный опыт России). [Pollution of the environment and human health. (The sad experience of Russia)] Новосибирск: СО РАМН, 2002. 230 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2000 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2000] / Государственный комитет природных ресурсов по Республике Карелия. Петрозаводск, 2001. 248 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2001 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2001] / Комитет природных ресурсов по Республике Карелия. Петрозаводск, 2002. 240 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2002 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2002] / Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Республике Карелия. Петрозаводск, 2003. 256 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2003 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2003] / Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Республике Карелия. Петрозаводск, 2004. 313 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2004 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2004] / Министерство сельского, рыбного хозяйства и продовольствия Республики Карелия; Сост. А. Д. Волков. Петрозаводск: Скандинавия, 2005. 335 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2005 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2005] / Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: ПетроПресс, 2006. 344 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2006 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2006] / Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: Издательский Дом «Карелия», 2007. 308 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2007 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2007] / Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: Издательство «Карелия», 2008. 304 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2008 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2008] / Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: Издательство «Карелия», 2009. 288 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2009 году [State Report on the State of the Environment in the Republic of Karelia in 2009] / Министерство сельского, рыбного хозяйства и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: Издательский Дом «Карелия», 2010. 296 с.

Июффе А. О. Определение уровня запыленности на территории г. Петрозаводска [Determining the level of dustiness on the territory of Petrozavodsk] // Фундаментальные исследования. 2014. № 6. С. 753-759.

Климатические изменения: взгляд из России [Climate change: the view from Russia] / Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. М.: ТЕИС, 2003. 416 с.

Колокольчикова Р. С. Социальные проблемы населения: пьянство и алкоголизм в промышленных городах Европейского Севера России (сер. 1960-х – сер. 1980-х гг.) [Social problems of the population: drunkenness and alcoholism in the industrial cities of Northern European Russia (Ser. 1960s – mid. 1980s.)] // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. СПб., 2011. № 130. С. 9-18.

Кузнецова Н. Ф. Проблемы криминологической детерминации [Problems of criminological determination] / Под ред. В. Н. Кудрявцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 208 с.

Мерабишвили В. М., Дятченко О. Т. Статистика рака легкого (заболеваемость, смертность, выживаемость) [Statistics lung cancer (incidence, mortality, survival)] // Практическая онкология. 2000. Т. 1. № 3 (03). С. 3-7.

Молчанова Е. В. Модель выбора оптимальной стратегии управления медико-демографическими процессами [Model of the selection of the optimal management strategy of medical-demographic processes] // Труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2012. № 1. С. 77-84.

Молчанова Е. В., Кручек М. М. Математические методы оценки факторов, влияющих на состояние здоровья населения в регионах России (панельный анализ) [Mathematical methods of assessment of factors affecting the health of the population in the regions of Russia (panel analysis)] // Социальные аспекты здоровья населения (электронный журнал). 2013. № 5 (33).

Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А., Авалиани С. Л., Буштуева К. А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Framework for assessing the public health risk when exposed to chemicals that pollute the environment] / Под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. М.: ГУ НИИ ЭЧИГОС им. А. Н. Сысина РАМН, 2002. 408 с.

Первичная профилактика рака в условиях современной России: Сборник информационно-методических писем. [Primary prevention of cancer in conditions of the modern Russia. Collection of informational-learning letters] М., 2011. 89 с.

Ревич Б. А., Авалиани С. Л., Тихонова Г. И. Экологическая эпидемиология [Environmental epidemiology]. М.: Академия, 2004. 384 с.

Римашевская Н. М., Мигранова Л. А., Молчанова Е. В. Факторы, влияющие на состояние здоровья населения России [Factors influencing health status of the Russian population] // Народонаселение. 2011. № 1. С. 38-49.

Рыбаков Д. С. Выбросы загрязняющих веществ как региональный фактор изменения показателей смертности [Pollutant emissions as regional factor of mortality rate change] // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 2 (139). С. 65-69.

Синицын И. С. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха города Ярославля на заболеваемость органов дыхания [Assessing the impact of air pollution of Yaroslavl on the incidence respiratory organs] // Ярославский педагогический вестник. Т. III (Естественные науки). Ярославль, 2011. № 1. С. 190-194.

Смертность по основным классам причин смерти [Mortality by main causes of death] / Карелиястат [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://krl.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/krl/resources/dfb25c8043ae0164a172b5d06954faf7/71021.pdf (дата обращения: 20.07.2014).

Специализированные массивы для климатических исследований [Specialized arrays for climate research] / ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 22.07.2014).

Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf (дата обращения: 23.04.2014).

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1998. Toxicological Profile for Sulfur Dioxide. December, 1998. U.S. Public Health Service. URL: www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp116.pdf (дата обращения: 30.07.2014).

Hoi K.-I., Zhang D.-B., Mok K.-M., Yuen K.-V. Association of human mortality with air pollution of Hong Kong. Toxics. 2014. 2(2). P. 158-164.

Kim C., Jung S. H., Kang D. R., Kim H. C., Moon K. T., Hur N. W., Shin D. C., Suh I. Ambient particulate matter as a risk factor for suicide // Am. J. Psychiatry. 2010. 167. P. 1100-1107.

Pietrodangelo A., Bencardino M., Cecinato A., Decesari S., Perrino C., Sprovieri F., Pirrone N., Facchini M. C. Role of Atmospheric Pollution on Harmful Health Effects // CNR Environment and Health Inter-departmental Project: present knowledge and prospects for future research. Rome: Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2010. P. 69-110. URL: http://issuu.com/cnr-dta/docs/pias_2010 (дата обращения: 18.04.2014).

Sulfur dioxide (CAS Reg. No. 7446-09-5). Final acute exposure guideline levels (AEGs). May, 2008. URL: www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/sulfur_dioxide_interim_may_2008_v1.pdf (дата обращения: 30.07.2014).

WHO (World Health Organization). 2014. Seven million deaths annually linked to air pollution. March, 2014. URL: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/ (дата обращения: 10.04.2014).

Statistical estimation of the relationship between mortality rates and pollutant emissions in the conditions of urbanization

RYBAKOV
Dmitry

*Institute of Geology, Karelian Research Center,
rybakovd@krc.karelia.ru*

Keywords:

emissions of pollutants
repeatability of wind directions
mortality coefficients
main causes of death

Summary:

There is statistical relationship between the reduced emission of pollutants from stationary sources and population mortality in Petrozavodsk from 2000 to 2012. The improvement of demographic indicators is significantly associated with the decrease of the total emitted mass as well as the emission of definite pollutants – carbon monoxide and sulfur dioxide. The exception is the mortality from neoplasms, that is significantly related to the amount of nitrogen oxides emission. Before 2004 these figures reduce, and then grow with considerable fluctuations. The impact of the pollutants emission on the mortality may become stronger or weaker because of the wind regime, in particular the repeatability of north-west wind, which is defined as environmentally significant when moving pollutants.

References