

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ СТАРШИХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА¹

О.В. Тасейко, Д.А. Черных

Аннотация. Выполнен анализ и прогноз негативного воздействия климатических параметров и качества атмосферного воздуха на смертность населения г. Красноярска. Проанализирована многолетняя динамика климатических показателей для г. Красноярска. Статистика по заболеваниям, чувствительным к климатическим изменениям, рассматривалась за период с 2011 по 2014 г. Методами многомерного статистического анализа установлена взаимосвязь между климатическими параметрами, уровнем загрязнения атмосферного воздуха и количеством смертей. Выявлены факторы, вносящие наибольший вклад в показатели смертности по основным группам климатозависимых заболеваний; проанализированы первоначальные причины смерти, связанные с негативным влиянием факторов окружающей среды; определены возрастные группы населения, которые подвергаются наибольшему воздействию климатических параметров и загрязнения атмосферного воздуха. Показана применимость нелинейной регрессии Пуассона для прогнозирования смертности, довольно близкой к фактической.

Ключевые слова: качество атмосферного воздуха, климатические параметры, многомерная регрессионная модель, смертность населения, социально-природно-техногенная система.

ВВЕДЕНИЕ

Совместное воздействие антропогенной деятельности и природных факторов на здоровье населения вызывает рост рисков устойчивого развития территориальных образований, при этом проявляются тенденции урбанизации природной среды, что создает новые типы технологических и природных угроз.

В силу складывающихся экономических и социальных условий в РФ в ближайшем будущем основным объектом урбанизации будут являться территории Сибири и Арктики. Принимая во внимание уникальность природных систем и глобальную значимость этих регионов для устойчивого развития страны, исследование природных и технологических угроз и рисков развития с использованием информационных технологий нового поко-

ления представляется особо важной научной проблемой. Устойчивое развитие территорий связано с количественной оценкой комплексной безопасности и с управлением регионом с применением риск-ориентированного подхода [1–4]. Территория промышленного региона представляет собой единую сложную социально-природно-техногенную (СПТ) систему, элементы которой оказывают друг на друга взаимное влияние и характеризуются наличием связанных видов рисков [5]. Функционирование социосферы как элемента СПТ системы сопряжено с индивидуальными стратегическими рисками потери жизни и здоровья. К наиболее значимым факторам, формирующим индивидуальные стратегические риски, относят загрязнение окружающей среды (прежде всего, атмосферного воздуха) и климат, имеющий тенденцию к глобальному изменению. Конкретные метеорологические явления, оказывающие влияние на здоровье населения, являются кратковременными, тем не менее их повторяемость определяется климатическими особенностями территории. Поэтому в данной постановке используется как термин «метеорологические условия», так и термин «климатические параметры».

¹Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Краевого фонда науки в рамках научного проекта № 19-413-240013 «Методология оценки риска от влияния факторов окружающей среды на здоровье и смертность населения промышленных агломераций».



Наличие зависимости между уровнями смертности и климатическими факторами, такими как температурные волны, установлено в ряде исследований, выполненных для таких городов, как Архангельск, Якутск, Астрахань, Красноярск, Москва и др. [6–11]. Для г. Красноярска оценка относительного риска смертности от негативного воздействия волн холода и волн жары выполнена с помощью регрессионной модели Пуассона [7].

Периоды сильной жары в г. Архангельске (порог температуры 21°C) связаны с увеличением смертности как от сердечно-сосудистых заболеваний, так и от всех естественных причин среди лиц старше 65 лет, а также от всех внешних причин среди лиц старше 30 лет (за период с 1999 по 2008 г.). С 1999 по 2008 г. зафиксировано 110 дополнительных смертей из-за волн жары и 179 дополнительных смертей из-за волн холода [6].

Температурные волны были впервые выявлены и исследованы в 1881–1884 гг. и описывались как область высоких или низких температур атмосферного воздуха, которая в течение длительного времени не остается на одном месте [12]. Температурные волны связаны не только с серьезными экологическими и медицинскими проблемами, но могут повлечь за собой также значительный экономический ущерб. Высокие температуры могут вызвать термический стресс и ухудшить качество воздуха, что, в свою очередь, приводит к неблагоприятным последствиям для здоровья, особенно для более уязвимых групп населения, в том числе лиц, страдающих сердечно-сосудистыми или респираторными заболеваниями, и пожилых людей [13].

Экстремально низкие температурные показатели зимой и высокие летом характерны для климата территорий Центральной Сибири, Якутии, а также других регионов и связаны с резко континентальным типом погоды. При таких уникальных климатических характеристиках для крупномасштабных промышленных образований существует необходимость в анализе синергетического воздействия факторов окружающей среды на смертность населения. Разработка методологии оценки рисков многофакторного воздействия на уровень смертности населения с применением регрессионных статистических моделей, а также разработка мероприятий по защите населения от негативного воздействия факторов окружающей среды позволят в некоторой степени решить данную проблему. При этом методология должна учитывать структурные особенности населения и региона.

Методы оценки рисков для здоровья населения разрабатываются уже в течение трех десятилетий.

Негативное влияние высоких уровней загрязнения воздуха на заболеваемость и смертность населения доказано многими исследованиями. Дети и подростки наиболее подвержены влиянию химического загрязнения атмосферного воздуха [14–16]. Дыхательная система ребенка является основной мишенью для загрязнителей воздуха. Они вызывают широкий спектр острых и хронических эффектов либо как один фактор риска, либо, чаще всего, в сочетании с другими внешними агентами и/или характеристиками восприимчивости ребенка. Важную роль в период воздействия ингаляционных загрязняющих веществ играет возраст человека [17–19]. Младенцы более восприимчивы к поражению легких токсинами одного и того же вида, чем взрослые, даже в дозах ниже оптимального уровня для взрослого человека [20–21].

Анализ смертности населения г. Красноярска за 2000–2018 гг. (по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю) показал, что общая смертность снижалась в период до 2009 г. (на 17 %) и увеличивалась до 2018 г. (на 9 %) при росте численности населения более чем на 20 % (рис. 1).

Смертность от цереброваскулярных болезней за период с 2006 по 2015 г. снизилась на 9,9 % (рис. 2). Доля умерших от ишемической болезни сердца, напротив, возросла с 18 % в 2000 г. до 30 % в 2018 г.

Для выявления взаимосвязи между смертностью населения и факторами окружающей среды рекомендована пуассоновская регрессионная модель [22]. В зарубежных эпидемиологических исследованиях применение модели Пуассона прослеживается со второй половины XX в. С помощью данной модели была изучена взаимосвязь между смертностью и факторами окружающей среды: загрязнением атмосферного воздуха [23], средней температурой [24], температурными волнами [25–27]. Существуют исследования по выявлению зависимости между заболеваемостью онкологией и загрязненным воздухом, а также вредными привычками [28–29]. Работы, в которых рассматривается применение данной модели для г. Москвы, включали три влияющих фактора – среднесуточную температуру воздуха, концентрацию озона и концентрацию взвешенных частиц PM_{10} . Было выявлено увеличение смертности от всех причин, за исключением внешних (происшествия, условия и обстоятельства в качестве причины травмы, отравления и другого неблагоприятного воздействия) при повышении количества дней с аномально низкими и высокими температурами [30].

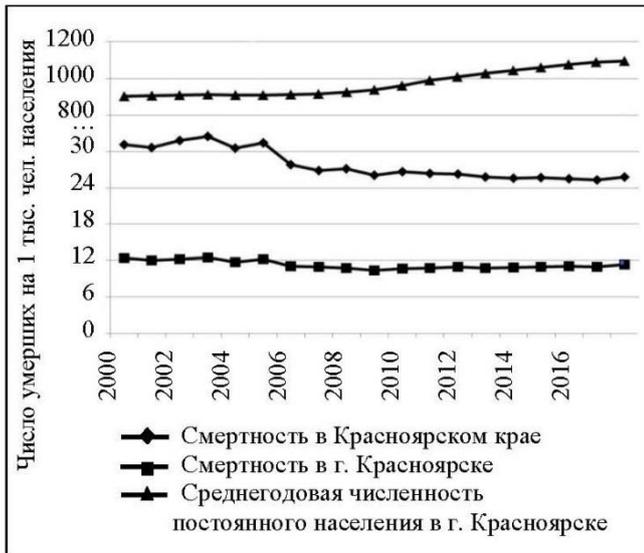


Рис. 1. Динамика смертности и среднегодовой численности населения г. Красноярска и Красноярского края



Рис. 2. Динамика смертности населения г. Красноярска от ишемической болезни сердца и цереброваскулярных болезней

Целью настоящего исследования является оценка относительных рисков социосферы СПТ системы г. Красноярска. В качестве влияющих факторов рассматриваются характеристики климатических параметров и уровни загрязнения атмосферного воздуха, в качестве прогнозируемого показателя используется риск преждевременной смертности населения г. Красноярска от совместного влияния климатических и экологических факторов. Основная задача исследования включает в себя оценку наличия взаимосвязи между климатическими параметрами, загрязненным атмосферным воздухом и показателями смертности населения с помощью методов многомерного статистического

анализа. Выполнялся также анализ значимости вклада каждого из исследуемых факторов в уровни смертности по основным группам климатозависимых заболеваний.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Было проведено исследование показателей смертности населения г. Красноярска от **первоначальных причин**, характеризующихся наибольшей чувствительностью к климатическим факторам, согласно Международной классификации болезней (МКБ-10) [22] в двух возрастных группах (60–74 лет и старше 75 лет), разделенных по полу за период с 2011 по 2014 г.:

- ишемическая болезнь сердца (I20–I25),
- цереброваскулярные болезни (I60–I69),
- болезни органов дыхания (J00–J22, J30, J40–J44, J45).

Определение и оценка климатических характеристик осуществлялись с использованием данных государственных наблюдательных сетей метеостанций [31, 32]. С целью стандартизации временных рядов было проведено нормирование делением на стандартное отклонение [33]. Заполнение пропусков по значениям данных факторов выполнялось методом скользящего среднего.

Для построения нелинейной модели с пуассоновской регрессией, описывающей зависимость смертности от воздействия факторов окружающей среды, использовались данные о ежедневной смертности населения г. Красноярска за период с 2011 по 2014 г. (предоставленные Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю) [22]. Модель имеет вид:

$$\log(\mu_t) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t-L} + \dots + \beta_k X_{k,t-L} + \beta_{k+1} Z,$$

$$\mu_t = e^{\beta_0} e^{\beta_1 X_{1,t-L}} \dots e^{\beta_k X_{k,t-L}} e^{\beta_{k+1} Z},$$

где μ_t – прогнозируемый параметр (пуассоновская переменная); $X_{1,t}, \dots, X_{k,t}$ – влияющие переменные; Z – краткосрочный временной тренд по дням недели; L – отставание негативного эффекта во времени (лаг); $\beta_1, \dots, \beta_{k+1}$ – параметры модели; β_0 – свободный член.

В эпидемиологических исследованиях определяют связь между концентрацией загрязнителей воздуха за один день и последствиями для здоровья в некоторые лаг-дни. Лаг подразумевает под собой отставание эффекта во времени. То есть при воздействии негативного явления его эффект мо-



жет проявиться не в тот же день, а лишь через некоторое время [22]. В настоящем исследовании использовался лаг от 1 до 15 дней.

Для интерпретации коэффициента регрессии применялся показатель относительного риска (англ. *relative risk*, *RR*). Относительный риск представляет собой меру связи между независимой переменной (например, концентрация загрязняющих веществ в воздухе) и риском определенного результата (например, количество людей с респираторным повреждением). Относительный риск показывает, во сколько раз увеличивается смертность населения в период негативного явления относительно фоновой смертности (т. е. смертности в отсутствие негативного воздействия факторов окружающей среды). Для регрессии Пуассона относительный риск определяется так [13, 34]:

$$RR = \exp(\beta_i),$$

где β_i – коэффициент регрессии.

В табл. 1 представлена характеристика исследуемых факторов окружающей среды в динамике с 2000 по 2018 г. Данные о ежедневных концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере г. Красноярска были предоставлены ФГБУ «Среднесибирское УГМС».

Выбор загрязняющих веществ основывался на доказанности фактов их влияния на показатели заболеваемости и смертности населения (табл. 2). Одним из наиболее опасных загрязнителей атмосферы является озон (O_3). Это вещество первого класса опасности, являющееся одним из главных компонентов фотохимического смога. Повышенный уровень приземного озона отмечается лишь при солнечной жаркой погоде. Ингаляционное воздействие вещества на организм сопровождается раздражением органов дыхания, снижением легочных функций, развитием астмы и аллергии, а также значительным снижением иммунитета к инфекциям [22, 35–37]. В связи с тем, что в городах Красноярского края на постах государственной наблюдательной сети измерения озона не выполняются, в настоящем исследовании использовались концентрации диоксида азота и формальдегида как предшественников озона.

В процессе обработки данных и проведения численного эксперимента выполнялся анализ на наличие коллинеарности или мультиколлинеарности факторов, а также проводилась корректировка краткосрочных временных трендов (по дням недели) путем добавления дополнительного коэффициента в модель.

Таблица 1

Динамика факторов окружающей среды

Год	Волны жары				Холодовые волны				Температура, °С	Относительная влажность, %	Экстремальные перепады температуры в течение суток				Средняя концентрация загрязняющих веществ		
	Число волн, единицы	Продолжительность волн, дни	Амплитуда волн, °С		Число волн, единицы	Продолжительность волн, дни	Амплитуда волн, °С				Число событий, единицы	Диапазон мощности, °С		Взвешенные вещества, мг/м ³	NO ₂ – диоксид азота, мг/м ³	F – формальдегид, мг/м ³	
			min	max			min	max				min	max				
2000	6	37	7,2	20,2	5	52	–38	–14	0,8	73	49	10	16,6	0,254	0,024	–	
2003	4	29	6,4	20,6	3	30	–14	–10	2,5	71	73	10	31	0,265	0,042	0,008	
2006	2	24	13,6	20,4	4	49	–24	–10	0,8	71	15	10,1	20	0,198	0,051	0,0043	
2009	3	19	8,3	21	9	82	–24	–7,7	0,2	73	15	10,1	22,2	0,173	0,062	0,0094	
2012	4	31	8,3	21,1	4	78	–21	–9	0,6	71	14	10,1	30,3	0,228	0,051	0,0185	
2015	7	42	7,5	20,8	1	14	–11	–11	3,8	66	16	10	13,7	0,1380	0,0360	0,0120	
2018	4	40	7,7	20,7	8	60	–20	–11	1,3	70	26	10,1	19,4	0,1063	0,0379	0,0168	

Эффект воздействия загрязняющих веществ на организм [38]

Вещество	Класс опасности	Критический орган	Критический эффект
Взвешенные вещества	3	Органы дыхания	– увеличение общей смертности, – смертность от заболеваний сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, – частота симптомов со стороны верхних и нижних отделов дыхательных путей, – обращаемость по поводу респираторных заболеваний, – частота обострения бронхиальной астмы
Озон (O ₃) [22, 35]	1	Органы дыхания	– увеличение общей смертности, – раздражение органов дыхания, – снижение легочных функций, – развитие астмы и аллергии, – значительное снижение иммунитета к инфекциям
Диоксид азота (NO ₂)	2	Органы дыхания, кровь и кроветворные органы	– увеличение частоты возникновения и продолжительности заболеваний верхних и нижних отделов дыхательных путей, – увеличение количества болезней нижних дыхательных путей у детей
Формальдегид	2	Органы дыхания, органы зрения, иммунная система	– увеличение частоты возникновения заболеваний верхних и нижних отделов дыхательных путей, – воспалительные процессы в легких, – заболевания иммунной системы, включая аллергические реакции, – заболевания органов зрения

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уровень воздействия конкретного фактора на уровень смертности в исследуемых моделях определяется с помощью коэффициента регрессии, который указывает, на сколько единиц изменится результат при изменении исследуемого фактора на одну единицу [39].

У женщин в возрастной группе от 60 до 74 лет на смертность от болезней органов дыхания в наибольшей степени влияют температурные волны на девятый день воздействия (лаг равен 9). Влияние поллютантов представлено воздействием формальдегида:

$$\ln(\mu_t) = -7,4 + 0,9F_t - 4,9Temp_{t-2} - 3,3Temp_{t-12} + 0,9Diff_{t-1} + 0,9Diff_{t-12} + 1,3Hum_{t-11} + 2,8W_{t-9}, \quad (1)$$

где F – концентрация формальдегида в атмосферном воздухе, мг/м³; $Temp$ – температура, °C; $Diff$ – перепад температуры, °C; Hum – относительная влажность, %; W – температурные волны, ед.

Небольшое значение свободного члена β_0 (по сравнению с суммарным значением весов учтенных в модели факторов) свидетельствует о несущественном влиянии неучтенных факторов в данной модели. Согласно выражению (1), одни и те же влияющие факторы могут оказывать негативный эффект при различных лагах. Влияние среднесуточной температуры проявляется как на второй день, так и на 12-й день после его ингаляционного воздействия, перепад температуры в течение суток – на первый и на 12-й дни.

На рис. 3 приведено распределение фактической смертности и смертности, рассчитанной с использованием пуассоновской модели. Видно, что рассчитанный показатель смертности хорошо описывает фактическую (с коэффициентом корреляции 0,8) на примере смертности от болезней органов дыхания у женщин в возрастной группе от 60 до 74 лет.

В результате обработки имеющегося статистического массива данных за период с 2011 по 2014 г. для возрастных категорий «от 60 до 74 лет» и «старше 75 лет» было получено 12 моделей прогноза смертности для трех основных непосредственных причин, относящихся к категории климатозависимых. Относительный риск смертности от воздействия факторов окружающей среды, лаги и показатели корреляции для каждой из моделей приведены в табл. 3.

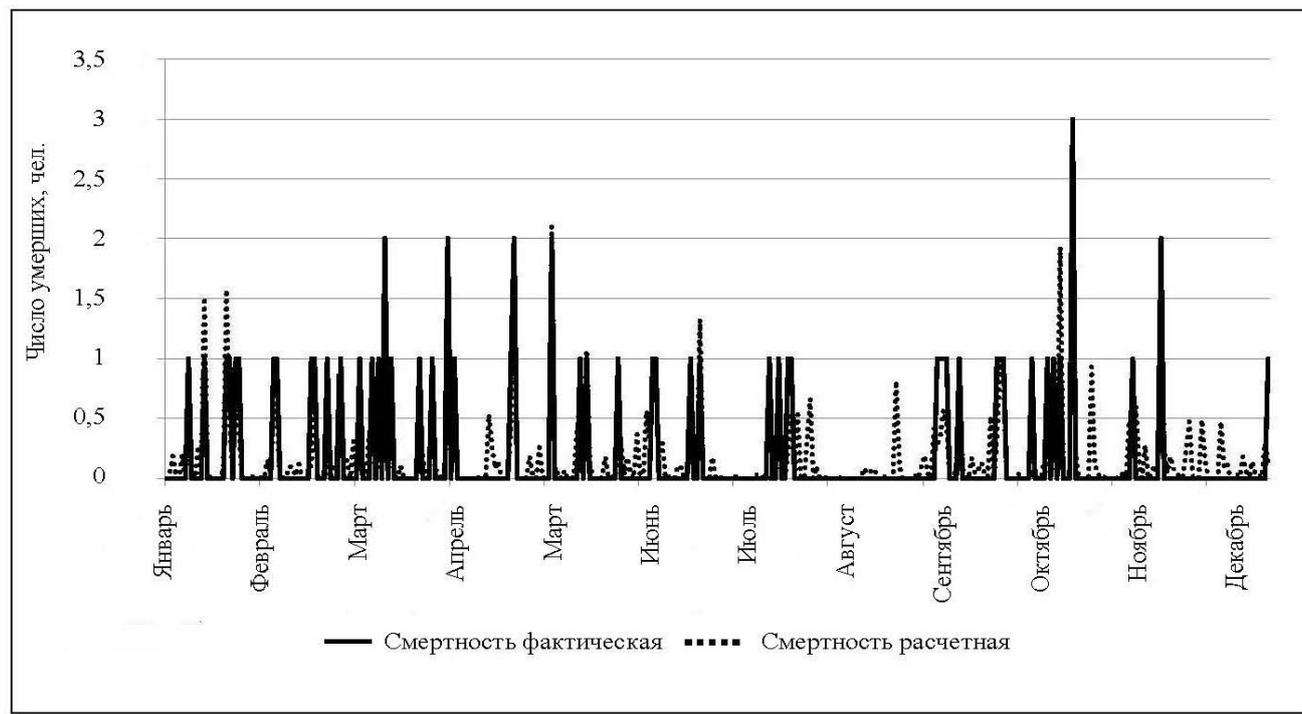


Рис. 3. Фактическая и расчетная смертности от болезней органов дыхания у женщин в возрастной группе от 60 до 74 лет за 2014 г.

Таблица 3

Относительный риск смертности населения

Влияющие факторы	Пол	Ишемическая болезнь сердца	Цереброваскулярные болезни	Болезни органов дыхания	Ишемическая болезнь сердца	Цереброваскулярные болезни	Болезни органов дыхания
		Возрастная группа					
	От 60 до 74 лет			Старше 75 лет			
	Значение коэффициента корреляции между фактической и расчетной смертностью						
	Ж	0,69	0,66	0,8	0,63	0,53	0,66
	М	0,6	0,63	0,6	0,55	0,64	0,66
Относительный риск смертности (relative risk)							
Диоксид азота	Ж	1,2 / L = 5	1,3 / L = 15	–	–	–	1,3
	М	1,1 / L = 5	1,2 / L = 13	1,4	–	–	1,4 / L = 14
Формальдегид	Ж	1,2 / L = 9	–	2,5	–	1,2	1,4 / L = 11
	М	–	1,5 / L = 4	–	0,7 / L = 14	0,7 / L = 2	1,6 / L = 3
Взвешенные вещества	Ж	1,2 / L = 5	1,3 / L = 8	–	–	0,8	–
	М	1,2 / L = 15	1,3 / L = 5	–	1,2 / L = 3	–	1,4 / L = 8
Температура	Ж	0,4 / L = 11	–	0,04 / L = 12	0,7 / L = 4	–	3,7 / L = 5
	М	0,6 / L = 15	–	–	–	0,4 / L = 12	3,3 / L = 10
Относительная влажность	Ж	1,3 / L = 6	–	3,6 / L = 11	0,8 / L = 11	–	1,6 / L = 2
	М	1,1	–	–	1,2 / L = 5	1,5 / L = 4	–
Резкие перепады температуры	Ж	–	–	2,5 / L = 12	–	–	–
	М	–	–	1,4 / L = 9	–	0,8 / L = 14	1,4 / L = 1
Температурные волны	Ж	1,8 / L = 2	–	16,4 / L = 9	1,5 / L = 13	–	0,5 / L = 2
	М	–	0,4 / L = 10	–	–	–	–

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ смертности населения от негативного воздействия факторов окружающей среды с использованием пуассоновской регрессионной модели позволил получить такие результаты:

- Анализ распределения лагов показывает, что большая часть негативных эффектов у мужчин от ишемической болезни сердца и цереброваскулярных болезней проявляется до шести дней после воздействия совокупности факторов, от болезней органов дыхания – после седьмого дня, в то время как у женщин негативные эффекты для здоровья накапливаются более равномерно в течение двух недель (рис. 4).

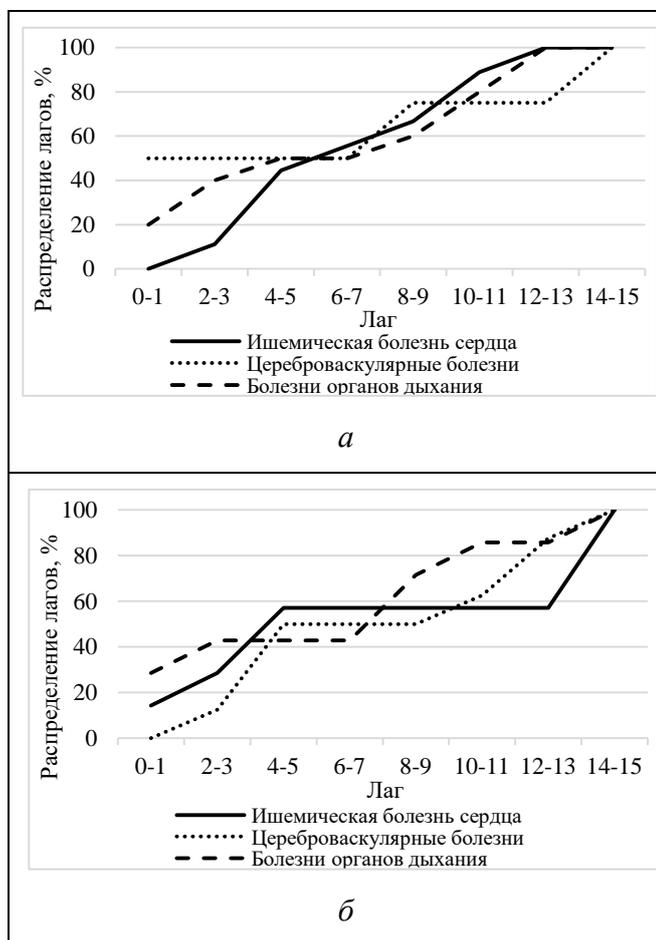


Рис. 4. Распределение отставания отрицательного эффекта во времени: а – среди женщин, б – среди мужчин

- Анализ полученных моделей выявил наибольший вклад воздействия климатических факторов в смертность населения всех возрастных и половых групп, что и показано в большинстве полученных моделей в соотношении 58,1 % (влияние климатических факторов) к 41,9 % (влияние

загрязненного атмосферного воздуха). Также показано, что женщины в наибольшей степени подвергаются негативному воздействию факторов окружающей среды.

- Изучение относительного вклада в уровни смертности поллютантов показало преобладающее влияние формальдегида. Из климатических факторов наибольший вред оказывают температурные волны.

- Оценка тесноты связи спрогнозированной и фактической смертностей показала, что наибольшие коэффициенты корреляции приходятся на смертность от болезней органов дыхания.

- Показано, что среди возрастных групп наиболее чувствительными к воздействию комплекса анализируемых факторов оказались пожилые люди в возрасте от 60 до 74 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нелинейной регрессии Пуассона позволило доказать применимость данного метода для прогнозирования смертности населения от факторов окружающей среды довольно близкой к фактической. Это подтверждает возможность применения данного подхода для исследований по оценке совместного воздействия климатических параметров и качества атмосферного воздуха на смертность населения. С целью развития представленного подхода к оценке рисков предполагается исключение незначительных факторов и более детальное исследование характера влияния значащих факторов по группам в зависимости от направления выявленных связей.

ЛИТЕРАТУРА

- Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край / под ред. В.Ф. Шабанова. – М.: МГФ «Знание», 2001. – 576 с. [*Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ehkonomicheskie i nauchno-tekhicheskie aspekty. Regional'nye problemy bezopasnosti. Krasnoyarskii krai / pod red. V.F. Shabanova. – M.: MGF «ZnaniE», 2001. – 576 p. (In Russian)*]
- Винокуров Ю.И., Лепихин А.М., Москвичев В.В. и др. Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами / под ред. Ю.И. Шокина. – Б.: Пять плюс, 2011. – 250 с. [*Vinokurov, Yu.I., Lepikhin, A.M., Moskvichev, V.V., et al. Geoinformatsionnye tekhnologii i matematicheskie modeli dlya monitoringa i upravleniya ehkologicheskimi i sotsial'no-ehkonomicheskimi sistemami / pod red. Yu.I. Shokina. – B.: Pyat' plus, 2011. – 250 p. (In Russian)*]



3. Левкевич В.Е., Лепихин А.М., Москвичев В.В. и др. Безопасность и риски устойчивого развития территорий. – К.: Сибирский федеральный ун-т, 2014. – 224 с. [Levkevich, V.E., Lepikhin, A.M., Moskvichev, V.V., et al. Bezopasnost' i riski ustoichivogo razvitiya territorii. – K.: Sibirskii federal'nyi un-t, 2014. – 224 p. (In Russian)]
4. Акимов В.А., Быков А.А., Шевченко А.В., Стрелко С.В. Развитие научно-методических основ государственного управления с использованием показателей стратегических рисков, в том числе и рисков чрезвычайных ситуаций (на примере Ульяновской области) // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3, № 2. – С. 736–780. [Akimov, V.A., Bykov, A.A., Shevchenko, A.V., Strelko, S.V. Razvitie nauchno-metodicheskikh osnov gosudarstvennogo upravleniya s ispol'zovaniem pokazatelei strategicheskikh riskov, v tom chisle i riskov chrezvychainykh situatsii (na primere Ul'yanovskoi oblasti) // Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya. – 2013. – Vol. 3, no. 2. – P. 736–780. (In Russian)]
5. Москвичев В.В., Бычков И.В., Потанов В.П. и др. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 8. – С. 696–705. [Moskvichev, V.V., Bychkov, I.V., Potanov, V.P. et al. Informatsionnaya sistema territorial'nogo upravleniya riskami razvitiya i bezopasnost'yu // Vestnik Rossijskoi akademii nauk. – 2017. – Vol. 87, no. 8. – P. 696–705. (In Russian)]
6. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/protecting-health-from-climate-change-a-seven-country-initiative>.
7. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резко-континентальным климатом // Сибирское медицинское обозрение. – 2017. – № 2. – С. 84–90. [Revich, B.A., Shaposhnikov, D.A. Osobennosti vozdeistviya voln kholoda i zhary na smertnost' v gorodakh s rezko-kontinental'nym klimatom // Sibirskoe meditsinskoe obozrenie. – 2017. – No. 2. – P. 84–90. (In Russian)]
8. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Волны холода в южных городах европейской части России и преждевременная смертность населения // Проблемы прогнозирования. – 2016. – № 2. – С. 125–131. [Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Volny kholoda v yuzhnykh gorodakh evropeiskoi chasti Rossii i prezhdevremennaya smertnost' naseleniya // Problemy prognozirovaniya. – 2016. – No. 2. – P. 125–131. (In Russian)]
9. Ревич Б.А., Харьков Т.Л., Подольная М.А. Динамика смертности и ожидаемой продолжительности жизни населения арктического/приарктического региона России в 199–2014 годах // Экология человека. – 2017. – № 9. – С. 48–58. [Revich, B.A., Khar'kova, T.L., Podol'naya, M.A. Mortality Dynamics and Life Expectancy of Population of Arctic/Subarctic Region of the Russian Federation in 1999–2014 // Ekologiya Cheloveka (Human Ecology). – 2017. – No. 9. – P. 48–58. (In Russian)]
10. Шапошников Д.А., Ревич Б.А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоровья // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 1. – С. 22–31. [Shaposhnikov, D.A., Revich, B.A. On Some Approaches to Calculation of Health Risks Caused by Temperature Waves // Health Risk Analysis. – 2018. – No. 1. – P. 22–31. (In Russian)]
11. Кваша Е.А., Ревич Б.А., Харьков Т.Л. Сходство и различия смертности населения в 4-х мегаполисах России // Бюллетень национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко. – 2017. – № 4. – С. 69–75. [Kvasha, E.A., Revich, B.A., Khar'kova, T.L. Skhodstvo i razlichiya smertnosti naseleniya v 4-kh megapolisakh Rossii // Byulleten' natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko. – 2017. – No. 4. – P. 69–75. (In Russian)]
12. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/110731/Холода.
13. Tadano, Y.S., Ugaya, C.M.L., and Franco, A.T., Methodology to Assess Air Pollution Impact on Human Health Using the Generalized Linear Model with Poisson Regression, in *Air Pollution - Monitoring, Modelling and Health*, Khare, M., Ed., Rijeka, Croatia: IntechOpen. – 2012. – P. 281–304. – DOI: 10.5772/33385.
14. Колесникова Л.И., Долгих В.В., Астахова Т.А. и др. Оценка нарушений здоровья и микроанамалий развития детей // Бюллетень СО РАМН. – 2008. – № 1(129). – С. 26–29. [Kolesnikova, L.I., Dolgikh, V.V., Astakhova, T.A., et al. Evaluation of Health Impairment and Malformations of Development of Children // Byulleten' SO RAMN. – 2008. – No. 1(129). – P. 26–29. (In Russian)]
15. Пинегин Б.В., Баймуканова Г.П., Печуркина Н.С. Экологический иммунодефицит: иммуногенетические аспекты его развития и коррекции // Вестник РАМН. – 1994. – № 4. – С. 20–28. [Pinegin, B.V., Baimukanova, G.P., Pechurkina, N.S. Ehkologicheskii immunodefitsit: immunogeneticheskie aspekty ego razvitiya i korrektsii // Vestnik RAMN. – 1994. – No 4. – P. 20–28. (In Russian)]
16. Савилов Е.Д., Ильина О.В. Инфекционная патология в условиях техногенного загрязнения окружающей среды. – Н.: Наука, 2010. – 248 с. [Savilov, E.D., Il'ina, O.V. Infektsionnaya patologiya v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya okruzhayushchei sredy. – N.: Nauka, 2010. – 248 p. (In Russian)]
17. Dezateux, C., Lum, S., Hoo, A., et al. Low Birth Weight for Gestation and Airway Function in Infancy: Exploring the Fetal Origins Hypothesis // *Thorax*. – 2004. – Vol. 59. – P. 60–66.
18. Hoo, A.F., Dezateux, C., Henschen, M., et al. Development of Airway Function in Infancy after Preterm Delivery // *Journal of Pediatrics*. – 2002. – Vol. 141. – P. 652–658.
19. Dezateux, C., Stocks, J., Dundas, I., Fletcher, M.E. Impaired Airway Function and Wheezing in Infancy: The Influence of Maternal Smoking and a Genetic Predisposition to Asthma // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. – 1999. – Vol. 159. – P. 403–410.
20. Fanucchi, M.V. Pulmonary Developmental Responses to Toxicants // *Comprehensive Toxicology: Toxicology of the Respiratory System*. Oxford, Pergamon Press. – 1997. – P. 203–220.
21. Smiley-Jewell, S.M., Liu, F.J., Weir, A.J., Plopper, C.G. Acute Injury to Differentiating Clara Cells in Neonatal Rabbits Results in Age-Related Failure of Bronchiolar Epithelial // *Toxicologic Pathology*. – 2000. – Vol. 28. – P. 267–276.
22. МР 2.1.10.0057-12.2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска. утв. 17.01.2012. – 36 с. [MR 2.1.10.0057-12.2.1.10. Sostoyanie zdorov'ya naseleniya v svyazi s sostoyaniem okruzhayushchei sredy i usloviyami prozhivaniya naseleniya. Otsenka riska i ushcherba ot klimaticheskikh izmenenii, vliyayushchikh na povyshenie urovnya zabolevaemosti i smertnosti v gruppakh naseleniya povyshennogo riska. utv. 17.01.2012. – 36 p. (In Russian)]

23. Tang, G., Zhao, P., Wang, Y., Gao, W. Mortality and Air Pollution in Beijing: The Long-Term Relationship // *Atmospheric Environment*. – 2017. – No. 150. – P. 238–243.
24. Leone, M., D'Ippoliti, D., De Sario, M., Analitis, A., et al. A Time Series Study on the Effects of Heat on Mortality and Evaluation of Heterogeneity into European and Eastern-Southern Mediterranean Cities: Results of EU CIRCE Project // *Environmental Health*. – 2013. – No. 12:55. – P. 1–12.
25. D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de' Donato, F., et al. The Impact of Heat Waves on Mortality in 9 European Cities: Results from the EuroHEAT Project // *Environmental Health*. – 2010. – No. 9:37. – P. 1–9.
26. Almeida, S.P., Casimiro, E., Calheiros, J.M. Effects of Apparent Temperature on Daily Mortality in Lisbon and Oporto, Portugal // *Environmental Health*. – 2010. – No. 9:12. – P. 1–7.
27. Heo, S., Lee, E., Kwon, B.Y., et al. Long-Term Changes in the Heat-Mortality Relationship According to Heterogeneous Regional Climate: A Time-Series Study in South Korea // *BMJ Open*. – 2016. – No. 6. – P. 1–10.
28. Eitan, O., Yuval, Barchana, M., et al. Spatial Analysis of Air Pollution and Cancer Incidence Rates in Haifa Bay, Israel // *Science of the Total Environment*. – 2010. – No. 408. – P. 4429–4439.
29. Frome, E.L. The Analysis of Rates Using Poisson Regression Models // *Biometrics*. – 1983. – No. 39. – P. 665–674.
30. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Семутникова Е.Г. Климатические условия и качество атмосферного воздуха как факторы риска смертности населения Москвы // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2008. – № 7. – С. 29–35. [Revich, B.A., Shaposhnikov, D.A., Semutnikova, E.G. Klimaticheskie usloviya i kachestvo atmosfernogo vozdukha kak faktory riska smertnosti naseleniya Moskvу // *Meditsina truda i promyshlennaya ehkologiya*. – 2008. – No. 7. – P. 29–35. (In Russian)]
31. URL: <http://meteo.ru/>
32. URL: https://rp5.ru/Погода_в_мире
33. Басовский Л.Е. История и методология экономической науки: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 38.04.01 «Экономика» (магистратура) и экономическим специальностям. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 212 с. [Basovskii, L.E. Istoriya i metodologiya ehkonomicheskoi nauki : uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii, obuchayushchikhsya po napravleniyu 38.04.01 «Ehkonomika» (magistratura) i ehkonomicheskim spetsial'nostyam. – М.: INFRA-M, 2017. – 212 p. (In Russian)]
34. Guangyong, Z. A Modified Poisson Regression Approach to Prospective Studies with Binary Data // *American Journal of Epidemiology*. – 2004. – Vol. 159, no. 7. – P. 702–706. – DOI: 10.1093/aje/kwh090.
35. Миляев В.А., Котельников С.Н. Ядовитый озон. Новая экологическая угроза для России // *Экология и жизнь*. – 2008. – № 2(75). – С. 52–56. [Milyaev, V.A., Kotel'nikov, S.N. Yadovityi Poisonous Ozone: Another Environmental Threat To Russia // *Ehkologiya i zhizn'*. – 2008. – No. 2(75). – P. 52–56. (In Russian)]
36. Zhang, J.(J.), Wei, Y., Fang, Zh. Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide // *Frontiers in Immunology*. – 2019. – 10:2518.
37. Balajee, K.L., Babu, S., Suliankatchi, R.A., Meena, S. Characteristics of the Ozone Pollution and Its Health Effects in India // *International Journal of Medicine and Public Health*. – 2017. – Vol. 7(1). – P. 56–60.
38. URL: <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm?keyword=ozone>.
39. Наищенко Н.И. Лекции по эконометрике: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Прикладная информатика (в экономике)». – У.: УлГТУ, 2008. – 139 с. [Nashchenko, N.I. Lektsii po ehkometrike : uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti «Prikladnaya informatika (v ehkonomike)». – U.: ULGTU, 2008. – 139 p. (In Russian)]

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.И. Михальским.

Поступила в редакцию 17.06.2021,
после доработки 19.07.2021.
Принята к публикации 24.08.2021.

Тасейко Ольга Викторовна – канд. физ.-мат. наук, СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева; Красноярский филиал ФИЦ ИВТ, г. Красноярск, ✉ taseiko@gmail.com,

Черных Дарья Александровна – мл. науч. сотрудник, Красноярский филиал ФИЦ ИВТ; СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева, ✉ dachernykh93@gmail.com.



ESTIMATING THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON MORTALITY IN ELDER AGE GROUPS: AN EXAMPLE OF KRASNOYARSK

O.V. Taseiko^{1,2} and D.A. Chernykh^{1,2}

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia,

²Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

✉ taseiko@gmail.com, ✉ dachernykh93@gmail.com

Abstract. This paper analyzes and forecasts the influence of climatic parameters and air quality on the mortality of the Krasnoyarsk industrial agglomeration. The long-term climatic data for the city of Krasnoyarsk are studied. The diseases sensitive to climate change are considered for the period from 2011 to 2014. The relationship between climatic parameters, air pollution, and the number of deaths is established using multivariate statistical analysis. The factors with the greatest contribution to mortality for climate-dependent diseases are identified. The mortality causes associated with negative environmental factors are examined. The age groups most affected by climatic parameters and air pollution are determined. As shown below, the nonlinear Poisson regression model predicts population mortality quite close to the factual data.

Keywords: air quality, climatic parameters, generalized linear model with Poisson regression, population mortality, social-natural-technogenic (S-N-T) system.

Funding. The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research, Government of Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk Regional Fund of Science, project number 19-413-240013 “Risk assessment methodology caused by environmental factors on population health and mortality in industrial agglomerations”.