

УДК 312.2:613.1(470.11)

## ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЖИДАЕМОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СМЕРТНОСТИ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА

© 2013 г. Д. А. Шапошников, Б. А. Ревич, \*В. П. Мелешко, \*В. А. Говоркова, \*Т. В. Павлова, \*\*Ж. Л. Варакина

Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, г. Москва

\*Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова,

г. Санкт-Петербург

\*\*Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

Настоящая работа — первый опыт прогнозирования прямого воздействия потепления климата на смертность в Российской Федерации, полученный в ходе осуществления проекта «Воздействие изменений климата на здоровье населения и оценка возможностей адаптации на севере Российской Федерации» 2010–2011 годов. Этот проект выполнялся в рамках инициативы семи стран Европейского региона ВОЗ и был направлен на защиту здоровья от изменений климата посредством адаптации, укрепления систем здравоохранения и институционального потенциала.

Идея данной работы — «наложить» ожидаемое изменение климата на температурно-обусловленную смертность, с тем чтобы оценить в перспективе воздействие этого фактора на показатели смертности и разработать соответствующие механизмы адаптации. Такая работа должна опираться на сведения, полученные в данном регионе и для данной популяции, которая считается исторически адаптированной к локальному температурному режиму. Более того, при прогнозировании будущих изменений мы предположили, что меняется только климат, но не адаптационные свойства населения. Регионализация ансамбля климатических моделей глобальной циркуляции (МОЦАО) проведена специалистами Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова таким образом, чтобы оценить изменение температурного режима и, следовательно, воздействие на показатели смертности населения между базовым (1980–1999), как принято в 4-м оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата, и прогнозным (2040–2059) двадцатилетними периодами. Историческая адаптация населения к определенному температурному режиму выражается в существовании специфичной для каждого региона «температурной кривой смертности», а также функции отклика на температурные волны (жары и холода). Обе функции можно установить статистически, не делая никаких предположений о физиологических механизмах, исследовав корреляции между ежедневной смертностью и температурой за несколько прошлых лет.

Рис. 1 иллюстрирует механизм такого расчета, при этом независимо оцениваются два «механизма» воздействия температуры на смертность: эволюция ежедневной смертности из-за постепенного «сдвига» со временем всей функции распределения среднесуточных температур; изменения дополнительной смертности, обусловленной изменением частоты и длительности дискретных погодных явлений — температурных волн. При получении численных оценок особое внимание было уделено анализу неопределенностей как климатических прогнозов, так и статистических методов моделирования ежедневной смертности. Отметим, что в данной работе эти механизмы считались независимыми

Разработан численный прогноз ожидаемой дополнительной смертности населения города Архангельска при дальнейшем потеплении климата к 2040–2059 годам. С этой целью проведена регионализация ансамбля климатических моделей общей циркуляции атмосферы и океана; рассчитаны ожидаемые изменения среднесуточных температур воздуха для каждой календарной даты, а также изменения частоты и продолжительности волн тепла и холода между базовым периодом 1980–1999 годов и прогнозным периодом 2040–2059 годов. Показано, что снижение смертности в зимний период года компенсирует повышение смертности летом, общий эффект потепления климата оказывается благоприятным — прогнозируется снижение среднегодовой смертности примерно на 2 %.

**Ключевые слова:** прогнозирование, температурно-обусловленная смертность, климат, Архангельск

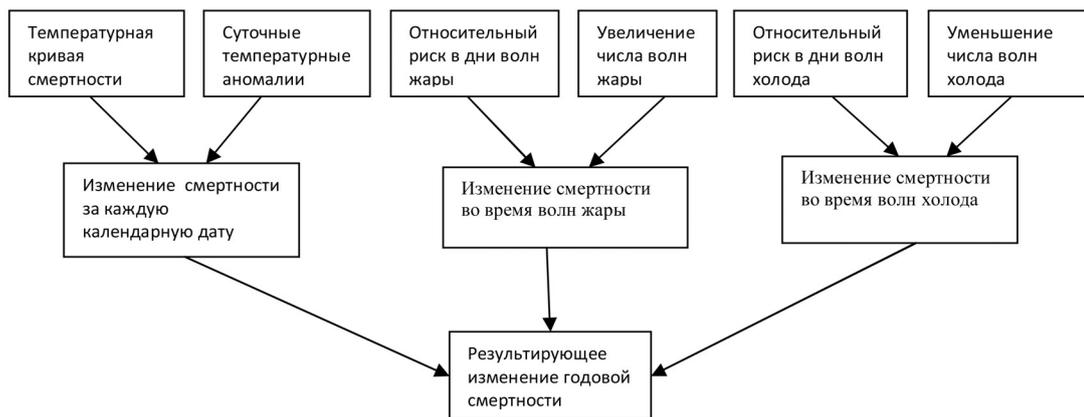


Рис. 1. Схема вычисления изменений смертности, обусловленных потеплением климата

(аддитивными), однако их можно изучать в рамках единой статистической модели смертности [8].

**Методы**

Данные по смертности и среднесуточным температурам. Данные о ежедневной смертности в формате МКБ-10 по городу Архангельску за 1999–2008 годы использованы для установления корреляционных зависимостей между среднесуточными температурами и смертностью населения. Исходя из указанной в свидетельстве о смерти основной причины смерти и возраста умершего, были сформированы временные ряды ежедневной смертности по двум возрастным группам (30–64 и свыше 64 лет) и пяти диагнозам: все внешние причины; все естественные причины; ишемическая болезнь сердца (ИБС); цереброваскулярные болезни; болезни органов дыхания. Такая группировка отражает современные эпидемиологические представления о «климатозависимых» причинах смертности и позволяет изучать возрастные различия. Данные о среднесуточных температурах за указанный период были получены усреднением трех часовых измерений по метеостанции Архангельск сети Росгидромета.

Регрессионная зависимость смертности от температуры. В общем виде зависимость вариаций ежедневной смертности от вариаций температуры воздуха может быть описана обобщенной линейной регрессионной моделью

$$\log E(M) = DOW + S(time) + W, \quad (1)$$

где  $\log E(M)$  – натуральный логарифм ожидаемой величины ежедневной смертности;

$$DOW = \sum_{i=1}^6 \alpha_i DOW_i,$$

где  $DOW_i$  – набор из шести бинарных переменных, указывающих на день недели;  $\alpha_i$  – соответствующие регрессионные коэффициенты;  $S(time)$  – медленная функция времени, описывающая многолетний тренд и сезонную периодичность смертности [11];  $W(T_o; T_p; \dots T_{max})$  – функция, зависящая только от среднесуточных температур воздуха, взятых с лагами от нулевого (в день смерти) до некоторого максимального, после

которого смертность уже «не чувствует» вариаций температуры. Выбор вида функции  $W$  зависит как от целей исследования, так и от практических соображений (простота моделирования и интерпретации).

В данном исследовании использовалась сегментированная (отдельно для жары и холода) линейная модель с распределенными лагами до 50 дней включительно [1]. Достоинство этой модели в том, что она позволила численно оценить «кумулятивный» (то есть накопленный к максимальному лагу) относительный прирост смертности, обусловленный изменением температуры на 1 °С, во всем диапазоне температур воздуха, кроме экстремальных.

Влияние экстремальных температур на смертность. Дни с экстремальными температурами изучались отдельно по двум причинам: 1) поскольку таких дней довольно мало (даже за 10 лет периода исследования), регрессионная зависимость (1), иначе называемая «температурная кривая смертности», теряет статистическую значимость на «хвостах», соответствующих очень высоким и очень низким температурам; 2) поскольку такие дни, как правило, встречаются не «поодиночке», а несколько подряд (волны жары/холода), избыточная смертность в периоды экстремальных температур может быть больше, чем предсказывает регрессионная модель [5]. Вследствие изменения климата изменяется как частота, так и продолжительность температурных волн. Эффект для здоровья (при той же амплитуде волны) сильно зависит от продолжительности волны [4]. Чтобы упростить прогнозирование изменений смертности, в данной работе все волны условно разделены на два «ансамбля»: короткие (от 5 до 7 дней) и длинные (более 7 дней). После этого вопрос об изменении продолжительности волн отпадает, поскольку прогнозирование делается отдельно для ансамблей коротких и длинных волн, а из-за потепления меняется только число волн в ансамбле между базовым и прогнозным двадцатилетиями (ожидаемая частота или периодичность). Влияние на смертность волн короче 5 дней оказывается статистически незначимым для популяции порядка 300 тысяч жителей [8], поэтому такие волны не изучались в данной работе. В качестве пороговых

**Относительное изменение годовой смертности (%) в среднем между прогнозным периодом 2040–2059 годов и базовым периодом 1980–1999**

Причина смерти и возрастная группа, лет	Механизм I		Механизм II		Сумма
	Низкие температуры	Высокие температуры	Волны холода	Волны жары	
ИБС, 30–64	-2,9* (-4,7; -1,2)	1,8 (-0,3; 3,9)	-0,5* (-0,9; -0,2)	0	-1,7 (-4,4; 1,1)
ИБС, ≥65	-4,8* (-7,5; -2,0)	3,3 (-0,5; 7,1)	-0,4* (-0,7; -0,2)	0	-1,8 (-6,6; 2,9)
Цереброваскулярные болезни, 30–64	-3,9* (-6,1; -1,6)	0,8 (-0,3; 1,8)	0	0	-3,1* (-5,6; -0,6)
Цереброваскулярные болезни, ≥65	-4,7* (-7,5; -2,0)	1,0 (-0,2; 2,2)	-0,4* (-0,8; -0,2)	0,5* (0,0; 1,0)	-3,6* (-6,7; -0,6)
Болезни органов дыхания, 30–64	-3,5* (-5,5; -1,5)	-0,9 (-1,9; 0,1)	-0,5* (-1,1; -0,3)	0	-4,8* (-7,2; -2,6)
Болезни органов дыхания, ≥65	-2,6* (-4,1; -1,1)	-0,04 (-0,10; 0,01)	0	0	-2,6* (-4,1; -1,1)
Все естественные причины, 30–64	-0,7* (-1,3; -0,2)	0,4 (-0,1; 0,9)	-0,3* (-0,5; -0,1)	0	-0,6 (-1,4; 0,2)
Все естественные причины, ≥65	-1,6* (-2,5; -0,7)	0,3 (-0,1; 0,6)	-0,4* (-0,6; -0,2)	0,2* (0,0; 0,4)	-1,5* (-2,5; -0,5)
Все внешние причины, 30–64	-3,6* (-5,7; -1,5)	1,3 (-0,2; 2,9)	-0,5* (-0,9; -0,3)	0	-2,8* (-5,5; -0,2)
Все внешние причины, ≥65	-2,6* (-4,1; -1,1)	1,0 (-0,2; 2,1)	0	0	-1,6 (-3,5; 0,3)

*Примечания:* в скобках указан 95 % ДИ. Нули означают, что не было установлено статистически значимого возрастания смертности во время температурных волн. \* – статистически значимый прирост на 95 % уровне значимости.

температур для идентификации холодных и тепловых волн взяты 3 % и 97 % процентилю многолетнего распределения среднесуточных температур в базовом периоде. При вычислении относительных приростов смертности на одну «среднестатистическую» короткую и длинную волну использован анализ дисперсии независимых выборок из распределения ежедневной смертности в период 1999–2008 годов [9, 10].

*Климатический прогноз.* После предварительного тестирования более чем 20 сопоставимых МОЦАО были отобраны 16 моделей, показавших наиболее качественный расчет современного климата, которые и составили мультимодельный ансамбль, где каждая МОЦАО представлена единственным расчетом. Результат усреднения по мультимодельному ансамблю при одинаковом внешнем воздействии (использовался наиболее пессимистичный сценарий IPCC A2) дал прогноз климатических изменений [2]. При региональном прогнозе для Архангельской области использовались расчетные климатические поля из архива данных о температуре приземного воздуха суточного разрешения в узлах регулярной сетки 2,5° на 2,5° за периоды 1980–1999 и 2040–2059 годов.

*Прогноз смертности.* Изменение смертности со временем оценивалось независимо по двум «механизмам», показанным в табл. 1. Механизм I обусловлен регрессионной зависимостью между температурой воздуха и смертностью и может быть в общем виде выражен уравнением (2), связывающим относительное изменение смертности ΔE по модели (1) с эволюцией температурного режима от базового периода  $W_h$  к прогнозному  $W_f$  при допущении постоянства установленных функций «доза – ответ» на протяжении всего периода прогнозирования:

$$\Delta E(M) = \frac{e^{W_f} - e^{W_h}}{e^{W_h}} \quad (2),$$

Для каждой календарной даты правая часть этого уравнения является функцией температуры в базовый период  $T_h$  и ожидаемого в прогнозный период изменения суточной температуры, соответствующей заданной  $T_h$  (эта величина в климатологии называется суточной температурной аномалией). Однако для расчета относительного изменения годовой смертности удобнее суммировать не по календарным датам, а по процентилям распределения среднесуточных температур в базовом периоде  $T_i, i = 0, 1, \dots, 99$ :

$$\Delta E_{\text{годовое}} = \frac{\sum_{i=0}^{99} E(M_i) \Delta E(M_i)}{\sum_{i=0}^{99} E(M_i)} \quad (3),$$

где  $M_i = M(T_i)$ . Относительное изменение смертности между базовым и прогнозным периодами из-за меняющихся параметров распределения температурных волн (Механизм II в табл. 1) состоит из четырех слагаемых, соответствующих четырем ансамблям волн: короткие и длинные волны жары; короткие и длинные волны холода. Каждое слагаемое имеет вид:

$$\Delta E_{\text{ансамбля}} = \frac{(\overline{RR} - 1)N(n_f - n_h)}{365 \times 20} \quad (4),$$

где  $\overline{RR}$  – усредненный по ансамблю относительный прирост смертности,  $N$  – средняя длина волны в данном ансамбле (в днях),  $n_f$  и  $n_h$  – ожидаемые числа волн в данном ансамбле в течение прогнозного и базового двадцатилетних периодов. Результирующее изменение смертности получается суммированием по двум описанным выше механизмам.

### Результаты

Все вычисления были проделаны независимо для десяти показателей смертности (5 укрупненных диагнозов по двум возрастным группам). U-образные температурные кривые смертности были установлены для всех 10 показателей, кроме респираторных заболеваний, для которых смертность монотонно снижалась во всем диапазоне температур, что нами было показано в работе [1]. Важная особенность полученных U-образных кривых заключается в их асимметричности относительно медианы распределения среднесуточных температур: их минимум

наблюдался при температурах 16,6–17,8 °С для естественных причин и 20,1–21,2 °С для внешних, что соответствует примерно 92 и 97 % процентилям этого распределения. Это означает, что смертность от естественных причин растет с повышением температуры лишь во время 30 самых жарких дней в «среднестатистическом» году, когда люди испытывают тепловой стресс (для внешних причин еще меньше – лишь около 10 самых жарких дней в году). Во все остальные дни года смертность, наоборот, растет при понижении температуры.

Вычисленные в работе относительные риски смертности во время холодных волн были почти все статистически значимы (для 7 из 10 показателей смертности), в то же время лишь для 2 из 10 показателей были установлены статистически значимые приросты смертности во время волн жары [1]. Вероятно, население Архангельска больше страдает от волн холода, чем от волн жары. Это также повлияло на прогнозы изменения смертности в связи с потеплением климата.

Важным результатом является полученная аппроксимация суточной температурной аномалии  $T(\text{future})-T(\text{baseline})$  как функции температуры в базовом периоде  $T_h$ . На рис. 2 эта зависимость аппроксимируется двумя линейными функциями с точкой излома 13,5 °С, это средняя летняя температура в Архангельске. Видно, что потепление зимой выражено сильнее, чем летом. Используемый для климатического прогноза мультимодельный ансамбль также позволяет вычислить ожидаемые в будущем числа температурных волн  $n_f$ . Как показали вычисления, по сравнению с базовым периодом ожидаемое в 2040–2059 годах число коротких холодных волн уменьшится с 8 до 1,8 (0; 4), а число длинных холодных волн уменьшится с 7 до 0,5 (0; 4). В то же время число коротких тепловых волн возрастет с 12 до 18 (12; 18); а длинных с 6 до 15 (6; 30). Здесь и далее в скобках указаны границы 95 % доверительных интервалов (ДИ) оценочных значений. Столь значительный рост числа длинных волн связан с тем, что многие «короткие» волны перейдут в разряд «длинных».

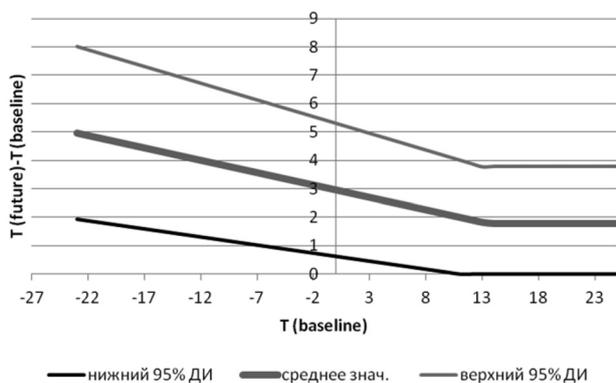


Рис. 2. Принятая в работе аппроксимация зависимости суточной температурной аномалии  $T(\text{future})-T(\text{baseline})$  от температуры в базовом периоде  $T(\text{baseline})$

На основании регионального климатического прогноза были вычислены ожидаемые относительные изменения смертности. В табл. 1 все оценки приведены отдельно для холодного и теплового стресса, что соответствует нисходящему и восходящему участкам температурных кривых смертности для Механизма I либо волнам холода и тепла для Механизма II. Результирующие приросты смертности (сумма по обоим механизмам) изображены на рис. 3. Смертность по всем показателям снижается по мере потепления, причем для 6 из 10 показателей снижение смертности оказалось статистически значимым с учетом как неопределенности климатического прогноза, так и неопределенностей установленных регрессионных зависимостей смертности от температуры. Например, зная вклады двух возрастных групп в общую смертность, можно вычислить, что для всех возрастов смертность от всех естественных причин в Архангельске должна снизиться на 1,9 % (главным образом за счет снижения смертности от ИБС у пожилых людей старше 64 лет), а смертность от всех внешних причин – снизиться на 2,6 % (здесь, наоборот, основной вклад вносит первая возрастная группа).

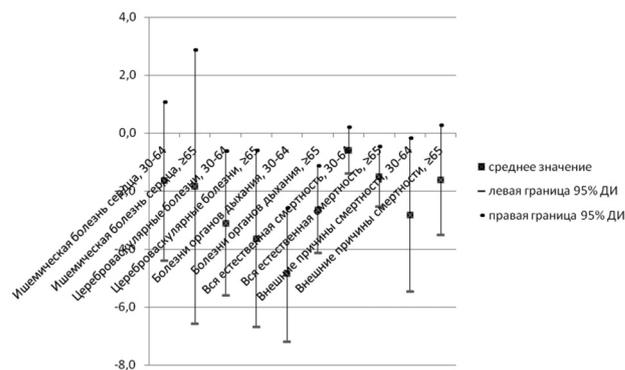


Рис. 3. Относительные изменения среднегодовой смертности (в процентах) в прогнозируемом периоде 2040–2059 годов по сравнению с базовым периодом 1980–1999 для двух возрастных групп и пяти групп причин смерти

### Обсуждение результатов

Важнейшим результатом настоящей работы можно считать вывод о том, что относительный вклад Механизма II в результирующее изменение смертности гораздо меньше, чем вклад Механизма I. В первом приближении влиянием температурных волн на ожидаемое изменение смертности вообще можно пренебречь. Данное исследование является единственным, где сделана попытка сравнить влияние этих двух механизмов, хотя нам известны работы, исследующие либо первый, либо второй механизм связи потепления климата со смертностью. Прогноз изменения смертности по Механизму I был сделан в [3, 6, 7]. В последней работе исследовались лишь три летних месяца, так что ее результаты нельзя непосредственно сравнить с нашими. В первых двух исследовались температурные кривые во всем диапазоне годовых температур. Например, J. C. Ciscar с соавт. [8] показали, что к 2080 году по сценарию A2 в Европе

ождается повышение летней смертности на 1–3 % при одновременном снижении зимней на 1,5–5 %, так что результирующее изменение прогнозируется *отрицательным*, что вполне согласуется с нашими результатами по Механизму I. Что же касается Механизма II, лишь в одном опубликованном исследовании предпринята попытка оценить изменение смертности из-за изменяющихся характеристик температурных волн. К сожалению, это было сделано только для волн жары, так что, естественно, прогнозируется рост климатически обусловленной смертности [11]. Интересно, что авторы этой работы подчеркивают огромные различия климатических прогнозов по различным моделям, что было подтверждено и в нашем исследовании, так как основным источником неопределенности эпидемиологического прогноза является межмодельный разброс температурных полей, особенно для летних месяцев (см. рис. 2).

Несмотря на значительные неопределенности, можно обозначить две основные причины прогнозируемого снижения среднегодовой смертности при потеплении климата: зимой потепление гораздо сильнее, чем летом; дней с «холодовым» стрессом в году во много раз больше, чем с «тепловым», о чем свидетельствует сильно выраженная асимметрия температурных кривых смертности.

Тем не менее во время волн жары смертность резко возрастает, и поэтому Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в ряде документов указывает на необходимость внедрения в странах планов действий по защите здоровья населения от климатических изменений. В России письмом от 18 апреля 2012 года N 14-3/10/2-3936 Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации и Методическими рекомендациями Роспотребнадзора МР 2.1.10.0057-12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска» предусмотрены разработка и утверждение региональных планов действий по защите здоровья населения от воздействия жары с учетом особенностей субъектов Российской Федерации. Первый такой план действий в России в рамках указанного выше проекта ВОЗ разработан для Архангельской области. Этот план включает такие элементы, как системы достоверного и своевременного оповещения (системы оперативного оповещения о необходимости защиты здоровья от жары, включая экстренные оповещения, определение критериев для принятия мер и оповещения о рисках); планы информирования населения о воздействии жары на здоровье (какая информация распространяется, для кого и когда) и другие межсекторальные профилактические мероприятия.

Публикация подготовлена в ходе совместного проекта Европейского бюро ВОЗ и Министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Федеративной Республики Германия «Защита населения от последствий изменения кли-

мата в Европе». Координаторы проекта д-р Б. Менне (B. Menne) и д-р Дж. Нурс (J. Nurse). Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку, полученную от ФРГ, от Российского фонда фундаментальных исследований и Программы Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине». Авторы признательны международному сообществу разработчиков климатических моделей за предоставление данных для анализа; участникам Программы диагноза и сравнения климатических моделей (PCMDI) за сбор и хранение модельных данных CMIP3; Рабочей группе по объединенным моделям (WGCM) Всемирной программы исследований климата (WCRP) — за организацию деятельности по анализу модельных расчетов. Архив данных WCRP CMIP3 поддерживается Управлением по науке Министерства энергетики США.

#### Список литературы

1. Варакина Ж. Л., Юрасова Е. Д., Ревич Б. А., Шапошников Д. А., Вязьмин А. М. Влияние температуры воздуха на смертность населения Архангельска в 1999–2008 годах // Экология человека. 2011. № 6. С. 28–36.
2. Катцов В. М., Мелешко В. П. Сравнительный анализ моделей общей циркуляции атмосферы и океана, предназначенных для оценки будущих изменений климата // Известия РАН: Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40, № 6. С. 647–658.
3. Doyon B., Belanger D., Gosselin P. The potential impact of climate change on annual and seasonal mortality for three cities in Quebec, Canada // Int. J. Health Geogr. 2008. Vol. 7. P. 23. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-7-23> (дата обращения: 04.03.2013)
4. Gasparrini A., Armstrong B. The impact of heat waves on mortality // Epidemiology. 2011. Vol. 22. P. 68–73. <http://dx.doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181fdcd99> (дата обращения: 26.02.2013)
5. Hajat S. et al. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach // J. Epidemiol. Comm. Health. 2002. Vol. 56. P. 367–372. <http://dx.doi.org/10.1136/jech.56.5.367> (дата обращения: 26.02.2013)
6. IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
7. Knowlton K., Lynn B., Goldberg R. A., Rosenzweig C., Hogue J. C., Rosenthal J. K. and Kinney P. L. Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York city region // Am. J. Public. Health. 2007. Vol. 97(11). P. 2028–2034. <http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.2006.102947> (дата обращения: 25.02.2013)
8. Ciscar J. C. et al. Physical and economic consequences of climate change in Europe // Proc. Natl. Acad. Sci USA. 2011. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1011612108> (дата обращения: 06.03.2013)
9. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Climate change, heat waves, and cold spells as risk factors for increased mortality in some regions of Russia // Studies on Russian Economic Development. 2012. Vol. 23. P. 195–207.
10. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Climate warming and health effects of extreme temperatures in Yakutsk, East Siberia // Remote and Rural Health. 2010. online publication in special issue “Circumpolar Special Issue: Human health at the

ends of the Earth". [http://www.rrh.org.au/publishedarticles/article\\_print\\_1338.pdf](http://www.rrh.org.au/publishedarticles/article_print_1338.pdf) (дата обращения: 20.02.2013)

11. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. The effects of particulate and ozone pollution on mortality in Moscow, Russia // *Air Quality Atm. Health*. 2010. Vol. 3. P. 117–123. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-009-0058-7> (дата обращения: 20.02.2013)

#### References

1. Varakina Zh. L., Yurasova E. D., Revich B. A., Shaposhnikov D. A., Vyaz'min A. M. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, no. 6, pp. 28-36. [in Russian]

2. Kattsov V. M., Meleshko V. P. *Izvestiya RAN: Fizika atmosfery i okeana* [News of the RAS: Physics of atmosphere and ocean]. 2004, vol. 40, no. 6, pp. 647-658. [in Russian]

3. Doyon B., Belanger D., Gosselin P. The potential impact of climate change on annual and seasonal mortality for three cities in Quebec, Canada. *Int. J. Health Geogr.* 2008, vol. 7, p. 23. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-7-23> (accessed 04.03.2013)

4. Gasparrini A., Armstrong B. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*. 2011, vol. 22, pp. 68-73. <http://dx.doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181fdcd99> (accessed 26.02.2013)

5. Hajat S. et al. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J. Epidemiol. Comm. Health*. 2002, vol. 56, pp. 367-372. <http://dx.doi.org/10.1136/jech.56.5.367> (accessed 26.02.2013)

6. IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge *University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

7. Knowlton K., Lynn B., Goldberg R. A., Rosenzweig C., Hogrefe C., Rosenthal J. K. and Kinney P. L. Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York city region. *Am. J. Public. Health*. 2007, vol. 97(11), pp. 2028-2034. <http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.2006.102947> (accessed 25.02.2013)

8. Ciscar J. C et al. Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci USA*. 2011. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1011612108> (accessed 06.03.2013)

9. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Climate change, heat waves, and cold spells as risk factors for increased mortality in some regions of Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2012, vol. 23, pp. 195-207.

10. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Climate warming and health effects of extreme temperatures in Yakutsk, East Siberia. *Remote and Rural Health*. 2010. online publication in special issue "Circumpolar Special Issue: Human health at the ends of the Earth". [http://www.rrh.org.au/publishedarticles/article\\_print\\_1338.pdf](http://www.rrh.org.au/publishedarticles/article_print_1338.pdf) (accessed: 20.02.2013)

11. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. The effects of particulate and ozone pollution on mortality in Moscow, Russia. *Air Quality Atm. Health*. 2010, vol. 3, pp. 117-123. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-009-0058-7> (accessed 20.02.2013).

#### EXPERIENCE OF PREDICTING OF EXPECTED EXCESS MORTALITY DUE TO CLIMATE CHANGE: A CASE STUDY IN ARKHANGELSK

D. A. Shaposhnikov, B. A. Revich, \*V. P. Meleshko, \*V. A. Govorkova, \*T. V. Pavlova, \*\*Zh. L. Varakina

*Institute for National Economic Forecasts of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*\*Voeikov Main Geophysical Observatory, Saint Petersburg*

*\*\*Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia*

A quantitative forecast of expected changes in mortality due to global warming by year 2050 has been developed for the city of Arkhangelsk. The expected changes in the temperature regime for each calendar date were estimated by regionalization of an ensemble of atmosphere-ocean coupled general circulation models. The expected changes in frequency and duration of heat waves and cold spells between the periods 1980-1999 and 2040-2059 were also estimated. Modeling of the temperature-dependent mortality has shown that reduction in the winter mortality overweighed the summer increase. The overall effect will likely be beneficial for public health: total annual mortality will decrease by about 2 %.

**Keywords:** predicting, temperature-dependent mortality, climate, Arkhangelsk

#### Контактная информация:

*Варакина Жанна Леонидовна* — кандидат медицинских наук, доцент Института общественного здоровья, здравоохранения и социальной работы ГБОУ ВПО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51

E-mail: ravenzh@land.ru