

# МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РИСКА

УДК 504.75

DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.10

Читать  
онлайн



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ ТЕМПЕРАТУРНО-ЗАВИСИМОЙ СМЕРТНОСТИ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНДЕКСА ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА – UTCI

Н.В. Шартова<sup>1</sup>, Д.А. Шапошников<sup>2</sup>, П.И. Константинов<sup>1</sup>, Б.А. Ревич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12

<sup>2</sup>Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, 47

Осуществлено исследование отклика смертности населения на воздействие высоких и низких температур воздуха в городе Архангельске. Определен наилучший предиктор смертности при выборе из температуры воздуха и биоклиматического индекса Universal Thermal Climate Index (UTCI), характеризующего теплоощущение человека. Установлены пороговые значения температур, при достижении которых наблюдается статистически достоверный прирост смертности, в зависимости от пола, возраста и причины смерти.

В работе были использованы данные о суточной смертности населения и метеорологических показателях с 1999 по 2016 г. Численным критерием для выбора наилучшего предиктора являлась относительная точность расчета атрибутивных фракций дополнительной смертности во время всех жарких и всех холодных дней. Расчеты проводились на основе пуассоновской регрессионной модели с учетом нелинейной зависимости смертности от температуры с распределенным лагом до 21 дня.

Несмотря на то что население Архангельска проживает в условиях холодного лета и умеренно-прохладной зимы, были определены атрибутивные фракции смертности как для холода, так и для жары. Летом высокие ночные температуры сильнее влияют на смертность, чем среднесуточные. Различия в смертности, связанной с температурным фактором, зависят не только от возраста (более уязвимо население старше 65 лет), но и от пола. Для мужчин выявлены более низкие пороговые значения жары, а также более высокие приросты смертности во время холодного воздействия. Для наиболее точной характеристики теплового и холодного стресса целесообразно использовать различные предикторы. Для определения температурных порогов и значений дополнительной смертности рекомендуется применять биоклиматический индекс UTCI.

**Ключевые слова:** волны жары, волны холода, смертность, население, болезни органов кровообращения, цереброваскулярные болезни, болезни органов дыхания, Universal Thermal Climate Index (UTCI), Архангельск.

В настоящее время накоплено достаточно сведений об увеличении смертности при воздействии экстремально высоких или низких температур воздуха, но вопросы влияния климатических и погодных условий на показатели общественного здоровья продолжают оставаться крайне актуальными, особенно учитывая аномальную жару летом 2019 г. Доказано, что экстремальная жара или холод являются факторами риска возникновения дополнительных случаев смерти, в первую очередь от болезней

системы кровообращения и органов дыхания [1–3]. Если вопрос влияния жары на смертность населения к настоящему времени хорошо изучен, особенно в связи с глобальным потеплением [4], то воздействию холода уделяется меньшее внимание [5].

Для разработки своевременных профилактических мероприятий необходимо более точное понимание всех особенностей зависимости смертности от температуры воздуха, в том числе выявление различий в восприимчивости населения к окружающей

© Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Константинов П.И., Ревич Б.А., 2019

**Шартова Наталья Витальевна** – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (e-mail: shartova@yandex.ru; тел.: 8 (495) 939-21-40; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2758-9612>).

**Шапошников Дмитрий Анатольевич** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (e-mail: dshap2014@gmail.com; тел.: 8 (499) 129-36-33; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-1974>).

**Константинов Павел Игоревич** – кандидат географических наук, старший преподаватель (e-mail: kostadini@mail.ru; тел.: 8 (495) 939-29-42; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5064-155X>).

**Ревич Борис Александрович** – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения (e-mail: brevich@yandex.ru; тел.: 8 (499) 129-36-33; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

температуре в зависимости от пола, возраста и совершенствование методов прогнозирования отклика смертности на изменение погодных условий. В качестве перспективных предикторов смертности в последнее время рассматриваются биоклиматические индексы, более точно передающие теплоощущения человека по сравнению с температурой воздуха [6].

Население арктических регионов России, где наблюдаются выраженные климатические изменения, можно отнести к одной из наиболее уязвимых в этом отношении групп населения. При этом жители могут обладать различными адаптационными возможностями к воздействию жары или холода.

В связи с этим **целью работы** стало исследование отклика смертности населения на теплое и холодное воздействие в городе Архангельске. На протяжении ряда лет город Архангельск является модельной территорией, на которой изучается воздействие температуры воздуха и температурных волн на смертность населения. В первом исследовании, выполненном в рамках проекта Европейского бюро ВОЗ по адаптации систем здравоохранения к климатическим изменениям, была использована пуассоновская модель для определения значений дополнительной температурно-обусловленной смертности [7]. Результатом последующего исследования был численный прогноз ожидаемой дополнительной смертности населения этого города и показано, что к 2040–2059 гг. снижение смертности в зимний период года компенсирует повышение смертности летом, и общий эффект потепления климата оказывается благоприятным – прогнозируется снижение среднегодовой смертности примерно на 2 % [8]. Оценка различных биоклиматических индексов при определении относительных приростов смертности в периоды волн жары и холода была проведена в Архангельске, Мурманске и Якутске [9]. Периоды волн жары и холода – это дискретные погодные явления, поэтому риски во время таких волн характеризуются не только температурной зависимостью смертности, как показано в данной работе, но и длительностью непрерывного воздействия экстремальных температур. Поэтому и модели смертности в такого рода работах применяются особенные, например, учитывающие номер дня с начала волны. В частности, было показано, что в Архангельске в периоды волн жары обычная температура воздуха теснее связана со смертностью, чем эффективная температура. В настоящем исследовании впервые в России изучается применимость биоклиматического индекса Universal Thermal Climate Index (UTCI) в качестве маркера температурного стресса. Также стандартными статистическими численными методами тестируется ранее высказанная во многих работах гипотеза о более сильном влиянии высоких ночных температур, нежели дневных, во время жарких дней, из-за невозможности привычного для человека ночного отдыха организма от жары.

В настоящем исследовании решались две задачи:

1) определение наилучшего предиктора из рассматриваемых (температуры воздуха и биоклиматического индекса UTCI) отдельно для холодных и теплых дней года;

2) определение для выбранного предиктора пороговых значений температур, при достижении которых наблюдается статистически достоверный прирост смертности, в зависимости от пола, возраста и причины смерти.

#### **Материалы и методы. Регион исследования.**

Архангельск расположен в зоне умеренного климата с некоторыми чертами морского, с поправкой на географическую широту (64° с.ш., примерно в 220 км южнее Северного полярного круга). Это город с коротким прохладным летом и продолжительной умеренно-холодной зимой. В связи с прибрежным расположением характерны резкие смены погодных условий (возможны ультраполярные холодные вторжения с Карского моря). Годовая амплитуда температур составляет 29,1 °C [10], складываясь из среднемесячной температуры самого холодного месяца – января (–12,8 °C) и самого теплого – июля (16,3 °C).

**Статистические данные по смертности населения.** В работе использованы данные о суточной смертности населения (абсолютное количество случаев) в г. Архангельске за каждый день с 1999 по 2016 г. Для анализа выбран показатель смертности от всех естественных причин, то есть учитывались все причины смерти за исключением внешних воздействий, а также были изучены показатели смертности от болезней системы кровообращения (БСК), в том числе ишемической (ИБС), цереброваскулярных заболеваний (ЦВБ), болезней органов дыхания (БОД). Статистические данные по перечисленным выше показателям были разработаны отдельно по полу и возрасту с выделением возрастных групп 30–64 года и старше 65 лет. Таким образом, в исследовании использованы 10 показателей смертности отдельно для мужчин и женщин.

**Проверка достаточности данных о смертности для моделирования.** Для проверки достаточности данных для регрессионного анализа вычислены среднесуточные значения смертности ( $\mu$ ) за период исследования. Учитывая полное число степеней свободы используемой нами статистической модели смертности, значение  $\mu \lesssim 0,24$  является нижним пределом для выполнения условий теоремы Гаусса – Маркова. При меньших значениях  $\mu$  статистическая мощность выборки будет недостаточна для получения надежных результатов регрессии. Среди выбранных для исследования показателей значения  $\mu$  варьировались от 0,03 случая в день (смертность от БОД у женщин в возрасте 30–64 лет) до 5,0 случая в день (смертность от всех естественных причин у женщин старше 65 лет).

Выявлено, что недостаточной статистической мощностью обладают показатели смертности от БОД

среди мужчин и женщин обеих возрастных групп; ИБС и ЦВБ среди женщин и ЦВБ среди мужчин в возрасте 30–64 года. Это было учтено при дальнейшем анализе и интерпретации результатов.

**Температурные предикторы смертности.** В качестве температурных предикторов для исследования влияния жарких и холодных погодных условий на смертность населения были использованы температура воздуха (Т) и биоклиматический индекс UTCI. Достоинство этого индекса заключается в его универсальности – он рассчитывается в диапазоне температур воздуха от –50 до +50 °С. Индекс учитывает физиологическую модель терморегуляции человека и представляет собой эквивалентную температуру для данной комбинации скорости ветра, солнечной радиации, влажности и температуры воздуха, которая дала бы такое же значение шкалы ощущений в эталонных условиях [11]. Соответствующая шкала оценки была разработана на основе смоделированных физиологических реакций и включала 10 категорий – от экстремального холодового стресса (ниже –40 °С) до экстремального теплового стресса (выше +46 °С).

Первой задачей исследования был выбор наиболее информативного предиктора смертности, который точнее предсказывал бы температурно-зависимую компоненту смертности отдельно для всех жарких и для всех холодных дней за анализируемый период. Температурная зависимость смертности имеет четко выраженный минимум (ММТ – minimum mortality temperature). Все дни с температурами выше ММТ считались «жаркими», а с температурами ниже ММТ – «холодными». Для жарких дней выбирался наилучший предиктор из шести: среднесуточного, максимального дневного, максимального ночного значений температуры и UTCI. Для холодных дней – из четырех: среднесуточного и минимального суточного значений температуры и UTCI (табл. 1). Ночные значения вычислялись за интервал между 22 ч предыдущего дня и 8 ч утра. Использованы данные восьмисрочных наблюдений метеопараметров по метеостанции Архангельска (индекс ВМО 22550). Расчет индекса UTCI произведен с помощью программного пакета Rayman [12].

Численным критерием для выбора наилучшего предиктора являлась точность расчета атрибутивных фракций дополнительной смертности во время всех жарких и всех холодных дней ( $AF_{\text{heat}}$  и  $AF_{\text{cold}}$ ). Точность характеризовалась относительной стандартной ошибкой ( $RSE$ ) оценочных значений этих величин, вычисленных из сопоставимых моделей смертности. Величина  $RSE \leq 0,5$  дает достоверную на 95%-ном уровне оценку  $AF$ , что соответствует критерию Стьюдента  $t = 1/RSE > 1,96$ . Расчет популяционной атрибутивной фракции  $AF_x$  и атрибутивного числа исходов  $AN_x$  для заданной экспозиции  $x$  проводился на основе пуассоновской модели согласно методике, приведенной в работе [13].

Таблица 1

Температурные предикторы в исследовании влияния жары и холода на смертность

Температурный предиктор	Влияние жары	Влияние холода
$T_{\text{day\_max}}$	✓	–
$T_{\text{night\_max}}$	✓	–
$T_{\text{mean}}$	✓	✓
$T_{\text{min}}$	–	✓
$UTCI_{\text{day\_max}}$	✓	–
$UTCI_{\text{night\_max}}$	✓	–
$UTCI_{\text{mean}}$	✓	✓
$UTCI_{\text{min}}$	–	✓

Примечание:  $\text{day\_max}$  – дневной максимум;  $\text{night\_max}$  – ночной максимум,  $\text{mean}$  – среднее за сутки;  $\text{min}$  – минимальное за сутки; символом «✓» отмечены выбранные для исследования индексы.

Атрибутивное число смертей вычислялось относительно гипотетической ситуации, когда температура в день  $i$  была равна ММТ. Можно определить кумулятивный относительный риск  $RR_{\text{overall}}$ , накопленный в популяции в течение периода времени  $L$  дней после воздействия температуры воздуха  $T_i$ , как прирост смертности в среднем на один день периода воздействия по отношению к указанной выше гипотетической ситуации. Такая возможность реализуется в моделях с распределенным лагом, которые предполагают, что воздействие длится в течение  $L$  дней, а по истечении этого периода дальнейшим воздействием можно пренебречь. Атрибутивное число смертей  $AN(T_i)$ , накопленное в популяции в течение  $L$  дней после экспозиции к температуре  $T_i$ , определяется как среднее превышение суточной смертностью  $M_i$  минимальной смертности  $MM$ :

$$AN(T_i) = \frac{\sum_{\text{lag}=0}^L (M_{i+\text{lag}} - MM)}{(L+1)} = (RR_{\text{overall}} - 1)MM.$$

Для вычисления оценочного значения атрибутивной смертности  $\widehat{AN}_i$  для всех дней периода исследования была использована нелинейная модель смертности с распределенным лагом, подробно описанная в [14]. В предыдущих исследованиях в крупнейших городах (Лондон, Нью-Йорк), где доступна очень хорошая статистика по ежедневной смертности, было показано, что в качестве максимального лага  $L$ , за которое эффект воздействия экстремальных температур достигает насыщения, достаточно взять три недели [15], что и было использовано в нашей работе. Просуммировав  $\widehat{AN}_i$  за все дни периода исследования, получаем общую атрибутивную смертность  $\widehat{AN}_{\text{tot}}$ , которую можно подразделить на два слагаемых, соответствующих

всем дням с температурами выше оптимальной ( $\widehat{AN}_{heat}$ ) и всем дням с температурами ниже оптимальной ( $\widehat{AN}_{cold}$ ). После этого определяются атрибутивные фракции для жары и холода:

$$\widehat{AF}_{cold} = \frac{\widehat{AN}_{cold}}{M_{tot}}; \quad \widehat{AF}_{heat} = \frac{\widehat{AN}_{heat}}{M_{tot}},$$

где  $M_{tot}$  означает суммарную смертность за все дни периода исследования. Пользовательская функция *attrdl.R* для вычисления этих параметров в программной среде *R* была написана для *R*-пакета *dlnm* 2.2.0 и доступна в онлайн-приложении к работе [13]. Эта функция также позволяет вычислить эмпирические доверительные интервалы (ДИ) вокруг атрибутивных фракций методом Монте-Карло, предполагая нормальные распределения модельных коэффициентов. Перебирая модели смертности с альтернативными температурными предикторами из табл. 1, был найден наилучший предиктор, минимизирующий относительную стандартную ошибку вычисления атрибутивных долей.

Второй задачей исследования стало вычисление порогов холода и жары для наиболее информативных предикторов. В силу конечности массива исходных данных для моделирования величина ММТ определяется приблизительно как модельная оценка. В связи с этим нами использован эмпирический метод оценки стандартного отклонения и 95%-ного доверительного интервала ММТ, предложенный в работе [16]. Правую (верхнюю) границу 95%-ного доверительного интервала ММТ будем считать искомым «порогом жары», выше которого прирост смертности становится статистически достоверным. Левую (нижнюю) границу этого интервала следует считать «порогом холода».

На заключительном этапе исследования проведена линейаризация полученных зависимостей кумулятивного относительного риска  $RR_{overall}(T)$  для предикторов, показавших наилучшую предсказательную способность. Относительный прирост смертности во время жары рассчитан на один градус прироста значения предиктора в среднем на интервале от ММТ до 97,5-го перцентиля исторического многолетнего распределения данного предиктора. Для холодных дней – на один градус снижения температуры в интервале от ММТ до 2,5-го перцентиля.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенная оценка и анализ среднемесячных значений UTCI за 1999–2016 гг. показали, что для Архангельска с июня по сентябрь характерны в среднем комфортные биоклиматические условия – отсутствие температурного стресса, значения индекса от +9...+26 °C (рис. 1). В течение января – февраля наблюдаются условия сильного холодового стресса (–13...–27 °C), а в остальные месяцы – умеренного или слабого (+9...–13 °C).

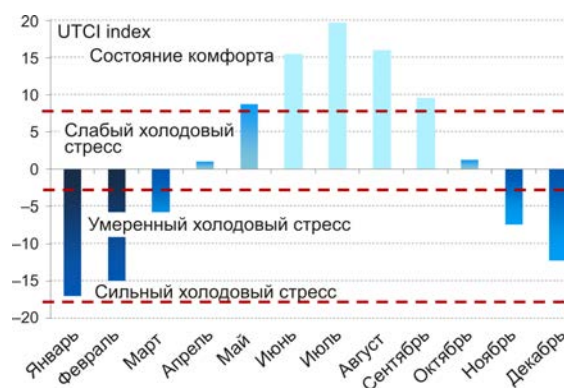


Рис. 1. Среднемесячные значения биоклиматического индекса UTCI (°C) в г. Архангельске в 1999–2016 гг.

Табл. 2 и 3 содержат информацию для выбора наилучшего предиктора путем минимизации относительной стандартной ошибки определения атрибутивной фракции смертности для жары и холода. Как для холода, так и для жары получены убедительные доказательства в пользу выбора одного из нескольких возможных предикторов в качестве «наилучшего», то есть наиболее тесно в статистическом смысле связанного со смертностью.

Наиболее убедительные результаты были получены для жары. Выбор наилучшего предиктора был возможен лишь для 14 показателей (для остальных шести показателей температурные зависимости в области высоких температур вообще не были получены). Из этих 14 в 11 случаях наилучшим предиктором оказался ночной максимум универсального индекса термического комфорта  $UTCI_{night\_max}$  (из шести альтернативных предикторов).

Для жары были получены достоверные оценки  $AF_{heat}$  только для двух показателей из 20 – ИБС и БСК у мужчин старше 65 лет, что подтверждает большую подверженность пожилых людей негативному воздействию жары. Ряд предыдущих исследований [3, 17, 18] подтвердил, что население старшей возрастной группы является более чувствительным к воздействию жаркой погоды.

Во время холодных дней предикторы показали различную предсказательную способность в зависимости от пола. Для женщин предпочтительным предиктором была признана среднесуточная температура  $T_{mean}$ , (для шести показателей смертности из 10). Для мужчин таким критерием является минимальное суточное значение биоклиматического индекса  $UTCI_{min}$ , (для восьми показателей из 10). В настоящее время мы не можем достоверно объяснить полученные различия в предикторах в зависимости от пола. В том числе они могут быть связаны с различной физической и социальной активностью мужчин и женщин в зимний период. Как возможный предиктор смертности в холодные дни, UTCI показал себя в исследованиях в Чехии [19] и Иране [20].

Таблица 2

Атрибутивные фракции для жары ( $AF_{heat}$ ) (минимальная относительная ошибка оценки ( $RSE$ ) выделена жирным)

Причина смерти	$T_{day\_max}$		$T_{night\_max}$		$T_{mean}$		$UTCI_{day\_max}$		$UTCI_{night\_max}$		$UTCI_{mean}$		Наилучший предиктор
	$AF_{heat}$	$RSE$	$AF_{heat}$	$RSE$	$AF_{heat}$	$RSE$	$AF_{heat}$	$RSE$	$AF_{heat}$	$RSE$	$AF_{heat}$	$RSE$	
Женщины в возрасте 30–64 лет													
ИБС	0,001	7,000	0,0000	NA	0,001	7,450	NA		0,004	<b>2,563</b>	0,0000	NA	$UTCI_{night\_max}$
ЦВБ	NA		NA		NA		NA		NA		NA		
БСК	NA		NA		NA		NA		NA		NA		
БОД	0,025	<b>0,600</b>	0,25	1,090	0,27	1,056	0,015	1,283	0,016	1,438	0,010	2,025	$T_{day\_max}$
Все естеств.	0,0025	<b>1,800</b>	NA		0,0003	6,333	0,0011	2,864	0,000	NA	0,000	NA	$T_{day\_max}$
Женщины старше 65 лет													
ИБС	0,0016	2,141	0,0012	2,146	0,0005	3,800	0,0000	NA	0,0019	<b>1,803</b>	NA		$UTCI_{night\_max}$
ЦВБ	0,0025	1,720	0,004	1,188	0,0007	4,536	0,001	3,000	0,0043	<b>1,052</b>	0,0010	3,350	$UTCI_{night\_max}$
БСК	0,0032	0,938	0,0034	0,787	0,0014	1,696	0,0010	1,850	0,0040	<b>0,681</b>	0,0010	1,925	$UTCI_{night\_max}$
БОД	0,019	<b>0,658</b>	0,013	1,000	0,013	0,846	0,016	0,750	0,016	0,672	0,014	0,857	$T_{day\_max}$
Все естеств.	0,0030	0,933	0,0036	0,681	0,0015	0,741	0,0010	1,850	0,0041	<b>0,622</b>	0,0013	1,500	$UTCI_{night\_max}$
Мужчины в возрасте 30–64 лет													
ИБС	NA		NA		NA		NA		NA		NA		
ЦВБ	0,002	3,625	0,20	0,913	0,20	0,838	0,25	<b>0,670</b>	0,13	1,404	0,22	0,716	$UTCI_{night\_max}$
БСК	NA		NA		NA		NA		NA		NA		
БОД	NA		NA		NA		NA		NA		NA		
Все естеств.	0,0033	1,053	0,0042	<b>0,750</b>	0,0035	0,893	0,0015	1,917	0,0042	0,851	0,0024	1,260	$T_{night\_max}$
Мужчины старше 65 лет													
ИБС	0,007	0,893	0,0083	0,711	0,008	0,719	0,006	0,921	0,013*	<b>0,442</b>	0,008	0,719	$UTCI_{night\_max}$
ЦВБ	0,000	NA	0,003	3,250	0,003	2,833	0,003	3,250	0,003	3,250	0,003	<b>2,833</b>	$UTCI_{high\_max}$
БСК	0,005	1,150	0,006	0,833	0,005	0,950	0,005	1,000	0,009*	<b>0,500</b>	0,0062	0,694	$UTCI_{night\_max}$
БОД	NA		NA		NA		NA		NA		NA		
Все естеств.	0,0010	4,100	0,002	2,250	0,002	2,000	0,0014	2,714	0,006	<b>0,667</b>	0,0033	1,144	$UTCI_{night\_max}$

Примечание: \* – достоверное на 95%-ном уровне значение AF.

Таблица 3

Атрибутивные фракции для холода ( $AF_{cold}$ ) (минимальная относительная ошибка оценки ( $RSE$ ) выделена жирным)

Причина смерти	$T_{mean}$		$T_{min}$		$UTCI_{mean}$		$UTCI_{min}$		Наилучший предиктор
	$AF_{cold}$	$RSE$	$AF_{cold}$	$RSE$	$AF_{cold}$	$RSE$	$AF_{cold}$	$RSE$	
Женщины в возрасте 30–64 лет									
ИБС	0,27	<b>0,741</b>	0,38	1,974	0,22	1,511	0,29	2,897	$T_{mean}$
ЦВБ	0,75	0,360	NA	NA	0,79	<b>0,320</b>	NA	NA	$UTCI_{mean}$
БСК	0,50	0,460	NA	NA	0,50	0,505	0,72*	<b>0,229</b>	$UTCI_{min}$
БОД	0,031	0,452	0,038	<b>0,434</b>	0,23	2,554	0,031	0,863	$T_{min}$
Все естеств.	0,22	0,443	0,49	<b>0,383</b>	0,23	0,467	0,39	0,571	$T_{min}$
Женщины старше 65 лет									
ИБС	0,29*	<b>0,276</b>	0,45	0,394	0,28*	0,393	0,56*	0,290	$T_{mean}$
ЦВБ	0,19*	<b>0,447</b>	0,22	1,273	0,21	0,464	0,22	1,364	$T_{mean}$
БСК	0,22*	<b>0,250</b>	0,27	0,602	0,21*	0,310	0,32	0,477	$T_{mean}$
БОД	0,43	<b>0,576</b>	NA	NA	0,38	0,770	0,20	1,025	$T_{mean}$
Все естеств.	0,15*	<b>0,367</b>	0,18	0,861	0,14*	0,411	0,23	0,630	$T_{mean}$
Мужчины в возрасте 30–64 лет									
ИБС	0,37	0,534	0,32	0,867	0,42	0,458	0,24*	<b>0,448</b>	$UTCI_{min}$
ЦВБ	0,001	6,750	0,000	NA	0,001	6,500	0,003	<b>3,667</b>	$UTCI_{min}$
БСК	0,21	0,940	0,16	0,750	0,22	0,977	0,15	<b>0,550</b>	$UTCI_{min}$
БОД	0,42	1,214	0,56	<b>0,929</b>	0,48	1,130	0,50	1,280	$T_{min}$
Все естеств.	0,14*	0,446	0,17*	0,368	0,14*	0,464	0,17*	<b>0,353</b>	$UTCI_{min}$
Мужчины старше 65 лет									
ИБС	0,26*	0,385	0,26*	0,356	0,31*	<b>0,315</b>	0,27*	0,352	$UTCI_{mean}$
ЦВБ	0,16	0,891	0,19	0,697	0,20	0,738	0,22	<b>0,580</b>	$UTCI_{min}$
БСК	0,20*	0,413	0,21*	0,369	0,25*	0,340	0,25*	<b>0,300</b>	$UTCI_{min}$
БОД	0,49	1,250	0,55	1,445	0,62	1,113	0,70	<b>0,868</b>	$UTCI_{min}$
Все естеств.	0,10	0,725	0,12	0,563	0,15	0,483	0,15*	<b>0,417</b>	$UTCI_{min}$

Примечание: \* – достоверное на 95%-ном уровне значение AF.

Таблица 4

Температура, соответствующая минимальной смертности (ММТ), пороги жары и холода, соответствующие приросты смертности на единицу увеличения экспозиции

Причина смерти	Жара				Холод			
	ММТ, %	ММТ, °C	порог жары, °C	отн. прирост смертности, % на 1°C	ММТ, %	ММТ, °C	порог холода, °C	отн. прирост смертности, % на 1°C
<b>Женщины в возрасте 30–64 лет</b>								
Предиктор	UTCI <sub>night_max</sub>				T <sub>mean</sub>			
ИБС	93	22,1	NA	2,0	95	19,2	–12,6	2,9
ЦВБ	NA	NA	NA	NA	NA	NA	–8,4	NA
БСК	NA	NA	NA	NA	NA	NA	–8,1	NA
БОД	90	20,3	NA	8,6	NA	–12	–17	NA
Все естест.	98**	27	NA	NA	97	20,7	–12,5	1,3*
<b>Женщины старше 65 лет</b>								
ИБС	94	23,1	NA	1	97	20,4	17,1	1,8*
ЦВБ	93	21,8	NA	1,6	95	19,3	–10,5	1,4*
БСК	93	21,9	30,6	1,7	95	18,8	16,8	1,4*
БОД	90	20,1	NA	10,2	90	16,2	NA	3,8
Все естест.	92	21,5	26,7	1,5	95	18,4	–11,8	1,0*
<b>Мужчины в возрасте 30–64 лет</b>								
Предиктор	UTCI <sub>night_max</sub>				UTCI <sub>min</sub>			
ИБС	NA	NA	NA	NA	98	16,1	10,3	2,0*
ЦВБ	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
БСК	99**	28,6	NA	NA	95	13,5	–20,2	1,1*
БОД	NA	NA	NA	NA	NA	NA	–21,1	NA
Все естест.	92	21,4	NA	1,5	93	12	–20,7	1,0*
<b>Мужчины старше 65 лет</b>								
ИБС	90	20,2	23	4,7*	93	11,7	8,9	2,2*
ЦВБ	91	21	NA	0,8	89	10,1	–6,3	3,4*
БСК	90	20,3	24,7	3,1	91	11,1	8,9	2,6*
БОД	NA	NA	NA		NA	NA	9,6	NA
Все естест.	90	20,4	NA	1,8	91	11	0,5	1,4*

Примечание: \* – достоверное на 95%-ном уровне значение единичного прироста; \*\* – подозрительные (слишком высокие) значения ММТ, превышающие 97,5-ый перцентиль распределения UTCI<sub>night\_max</sub>.

Для холодого воздействия (как для мужчин, так и для женщин) было получено гораздо больше статистически достоверных оценок *AF*, относящиеся ко всем рассматриваемым патологиям за исключением БОД. Чувствительным к воздействию является не только старшая возрастная группа, но и более молодое население – 30–64 лет.

Большой практический интерес представляют пороги жары и холода, при достижении которых будет наблюдаться статистически значимый прирост смертности. Эти результаты приводятся для наилучших предикторов, выбранных на предыдущем шаге исследования – UTCI<sub>night\_max</sub>, T<sub>mean</sub>, UTCI<sub>min</sub>.

Величины ММТ и пороги жары приводятся для UTCI<sub>night\_max</sub>. Всего параметр ММТ был определен для 15 показателей смертности (табл. 4). Исключая подозрительные значения, приходим к выводу, что величину ММТ чаще всего можно ожидать между 90 и 94-м перцентилем. Это соответствует достижению индексом UTCI<sub>night\_max</sub> значений 20–21 °C. Большей точности расчета здесь нельзя ожидать. У мужчин отмечаются более низкие ММТ для показателя UTCI<sub>night\_max</sub>, чем у женщин, особенно в старшей воз-

растной группе, так что мужчины более чувствительны к воздействию высоких температур. Это подтверждает полученный нами ранее в Ростове-на-Дону результат, что мужчины более чувствительны к температурному фактору, чем женщины, особенно в старшей возрастной группе [14].

Статистически достоверные пороговые значения для жары были определены лишь для четырех показателей смертности (это БСК и все естественные причины у женщин старше 65 лет, а также ИБС и БСК у мужчин старше 65 лет), которые варьировались от 23,0 ° до 30,6 °C для UTCI<sub>night\_max</sub>. Естественно, что наибольший интерес из них представляет минимальная оценка, +23,0 °C, поскольку уже при достижении таких ночных максимумов биоклиматического индекса UTCI в Архангельске можно ожидать достоверного прироста смертности от ИБС у мужчин старшей возрастной группы. Ни одного достоверного порога жары не было установлено в средней возрастной группе 30–64 лет.

Вычисления относительного прироста смертности в % на один градус Цельсия показали, что для жарких дней они варьируются от 0,8 до 10,2 %

в зависимости от конкретной патологии и половозрастной группы, при этом практически все результаты не являются значимыми, кроме смертности от ИБС среди мужчин старше 65 лет (4,7 % на 1 °C).

Для интерпретации порогов холода у женщин необходимо учесть, что «порог экстремального холода», нужный для установления отрезка температур для линеаризации температурной зависимости, для  $T_{mean}$  равен  $T_{2.5\%} = -22,8$  °C. У мужчин, поскольку использован другой предиктор, соответствующее значение 2,5-го процентиля  $UTCI_{2.5\%} = -31,5$  °C. Наибольшую сложность представляет объяснение неоднородности установленных порогов холода, изменяющимися в зависимости от показателя: от  $-12,6$  до  $+17,1$  °C (это 92-й процентиль) среди женщин и от  $-21,1$  до  $10,3$  °C (это 89-й процентиль) среди мужчин.

Возможны два объяснения такого разброса. Первое – существование протяженного «плато» ниже точки ММТ в области переходных температур года. Это подтверждает типичный вид температурной зависимости смертности для Архангельска (рис. 2). В этом случае различия в оценках длины плато следует признать артефактом моделирования (он может быть устранен увеличением числа степеней свободы при моделировании температурной смертности, однако достоверность результатов при этом критически снижается из-за малого числа исходов в Архангельске).

Второе объяснение: «истинная» зависимость должна быть U-образной без плато, тогда «настоящие» пороги холода должны находиться вблизи ММТ, то есть эти пороги близки к максимальным установленным:  $+17,1$  °C для  $T_{mean}$  и  $+10,3$  °C для  $UTCI_{min}$  (процентили этих значений близки: 92 % и 89 %). Выбор в пользу того или иного объяснения можно будет сделать лишь после проверки устойчивости результатов моделирования ДИ ММТ на большом массиве данных о смертности (например, в многомиллионной Москве или Санкт-Петербурге).

Самым существенным отличием результатов моделирования для холода и для жары состоит в гораздо большем бремени доказательств достоверного влияния холодных температур. Так, в табл. 4 пять результатов линеаризации для женщин (из десяти) и семь (из десяти) для мужчин статистически значимы. Незначимые результаты, как правило, связаны с недостаточной статистической мощностью выборки смертности (см. выше). При этом средние приросты смертности на единицу снижения значения предиктора в области холодных температур для женщин (из достоверных оценок) составили от 1,0 до 1,8 %, а для мужчин от 1,0 до 3,4 %. Величина эффекта холода сильнее для мужчин, чем для женщин, это показывает сравнение всех достоверно установленных приростов смертности в старшей возрастной группе.

Полученные в данной работе результаты позволяют сравнить ущерб для здоровья от воздействия высоких и низких температур на население г. Архангельска, с учетом специфики местного климата, что хорошо согласуется с описанными выше биоклиматическими условиями города. Жители довольно редко испытывают тепловой стресс в летний период, поэтому было получено мало достоверных результатов об отклике смертности на жаркие дни. Вероятно, наиболее важным фактором, вносящим вклад в прирост смертности при наступлении жаркой погоды, являются высокие ночные температуры.

Большую часть года население города Архангельска проживает в условиях холодового стресса, что приводит к дополнительной обусловленной холодом смертности, численно оцененной в данном исследовании. Это соответствует полученным ранее результатам [8, 9]. Например, был установлен рост смертности от ИБС и естественных причин смерти в Архангельске во время холодовых волн 1999–2008 гг. [7]. Подобные результаты были выявлены и для другого северного города – Стокгольма, где было показано, что если количество

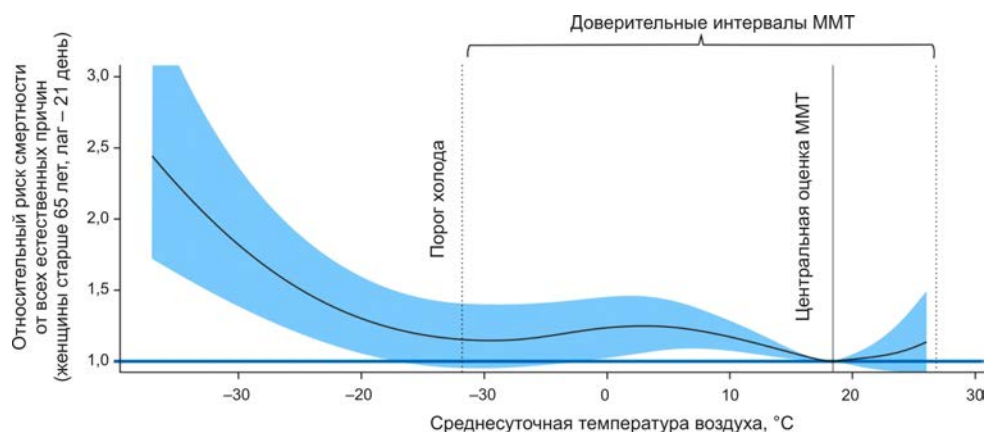


Рис. 2. Температурная зависимость смертности от всех естественных причин у женщин старше 65 лет в Архангельске: видно плато в области транзитных весенне-осенних температур. Сплошной вертикальной линией показана центральная оценка ММТ, а пунктирными линиями – ее доверительные интервалы. Левый вертикальный пунктир показывает порог холода



связанных с жарой дополнительных случаев смерти в течение последних 100 лет сокращается, то число дополнительных случаев смерти, связанных с холодом, остается стабильно высоким [21]. Большинство дополнительных случаев смерти от БСК и БОД связано с холодными днями в отдельных городах США [22], Китая [23, 24] и многих других регионах [1]. Таким образом, влияние холодной погоды на смертность населения до сих пор остается актуальным вопросом общественного здравоохранения.

**Выводы.** Несмотря на то что население Архангельска проживает в условиях холодного лета и умеренно-холодной зимы, нельзя исключить и влияния жаркой погоды на возникновение дополнительных случаев смерти. Наиболее ярко оно проявляется при наступлении высоких ночных температур. Необходимо разрабатывать и внедрять планы действий в случае наступления как экстремально жарких, так и холодных погодных условий, в том числе уделять внимание индивидуальным мерам предосторожности, включая медикаментозные средства [25, 26].

Различия в смертности, связанной с температурным фактором, проявляются не только в зависимости

от возраста (более уязвимо население в возрасте старше 65 лет), но и в зависимости от пола. Выявленные для мужчин более низкие пороговые значения жары, а также более высокие приросты смертности во время холодного воздействия свидетельствуют о большей уязвимости здоровья мужчин.

По отношению к тепловому и холодному стрессу целесообразно использовать различные предикторы. При анализе теплового воздействия – ночной максимум биоклиматического индекса UTCI, для холодного воздействия – среднесуточную температуру воздуха (как предиктор смертности среди женщин) и минимальное суточное значение UTCI (как предиктор смертности среди мужчин). Биоклиматический индекс UTCI рекомендуется использовать для определения температурных порогов и значений дополнительной смертности.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-60146).

**Конфликт интересов.** Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study / A. Gasparrini, Y. Guo, M. Hashizume, E. Lavigne, A. Zanobetti, J. Schwartz, A. Tobias, S. Tong [et al.] // *Lancet*. – 2015. – Vol. 386. – P. 369–375. DOI: 10.1016/S0140-6736 (14) 62114-0
2. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: A systematic evaluation / Y. Guo, A. Gasparrini, B.G. Armstrong, S. Li, B. Tawatsupa, A. Tobias, E. Lavigne, M. De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho [et al.] // *Epidemiology*. – 2014. – Vol. 25, № 6. – P. 781–789. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000165
3. Опасность для здоровья населения Москвы высокой температуры и загрязнения атмосферного воздуха во время аномальных погодных явлений / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, С.Л. Авалиани, К.Г. Рубинштейн, С.В. Емелина, М.В. Ширяев, Е.Г. Семутникова, П.В. Захарова, О.В. Кислова // *Гигиена и санитария*. – 2015. – Т. 94, № 1. – С. 36–40.
4. Sheridan S.C., Dixon P.G. Spatiotemporal trends in human vulnerability and adaptation to heat across the United States // *Anthropocene*. – Vol. 20. – P. 61–73. DOI: 10.1016/j.ancene.2016.10.001
5. Paschalidou A.K., Kassomenos P.A., McGregor G.R. Analysis of the synoptic winter mortality climatology in five regions of England: Searching for evidence of weather signals // *Science of the Total Environment*. – 2017. – Vol. 598. – P. 432–444. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.276
6. Di Napoli C., Pappenberger F., Cloke H.L. Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI) // *International Journal of Biometeorology*. – 2018. – Vol. 62, № 7. – P. 1155–1165. DOI: 10.1007/s00484-018-1518-2
7. Влияние температуры воздуха на смертность населения Архангельска в 1999–2008 годах / Ж.Л. Варакина, Е.Д. Юрасова, Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, А.М. Вязьмин // *Экология человека*. – 2011. – № 6. – С. 28–36.
8. Опыт прогнозирования ожидаемой дополнительной смертности при потеплении климата на примере города Архангельска / Д.А. Шапошников, Б.А. Ревич, В.П. Мелешко, В.А. Говоркова, Т.В. Павлова, Ж.Л. Варакина // *Экология человека*. – 2013. – № 8. – С. 17–22.
9. Волны жары и холода в городах, расположенных в Арктической и Субарктической зонах как факторы риска повышения смертности населения на примере Архангельска, Мурманска и Якутска / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, О.А. Анисимов, М.А. Белолуцкая // *Гигиена и санитария*. – 2018. – Т. 97, № 9. – С. 791–798.
10. Константинов П.И., Куканова Е.А. Городские острова тепла Российской Федерации: основные характеристики и проблемы изучения // *ENVIROMIS-2014: материалы международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды*. – Томск, 2014. – Т. 29. – С. 162–164.
11. Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for Assessing the Thermal Environment of the Human Being / G. Jendritzky, G. Havenith, P. Weihs, E. Batchvarova // *Final Report COST Action 730*. – 2009. – 22 p.
12. Matzarakis A., Endler C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany // *International Journal of Biometeorology*. – 2010. – Vol. 54, № 4. – P. 479–483. DOI: 10.1007/s00484-009-0296-2



13. Gasparrini A., Leone M. Attributable risk from distributed lag models [Электронный ресурс] // BMC Medical Research Methodology. – 2014. – URL: <https://bmcmmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-14-55> (дата обращения: 12.03.2018). DOI: 10.1186/1471-2288-14-55
14. Температура воздуха и смертность: исследование пороговых значений жары и чувствительности населения на примере г. Ростов-на-Дону / Н.В. Шартова, Д.А. Шапошников, П.И. Константинов, Б.А. Ревич // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2019. – Т. 2. – С. 66–94. DOI: 10.21513/2410-8758-2019-2-66-94
15. Gasparrini A., Armstrong B., Kenward M.G. Distributed lag non-linear models // *Statistics in Medicine*. – 2010. – Vol. 29. – P. 2224–2234. DOI: 10.1002/sim.3940
16. Tobias A., Armstrong B.G., Gasparrini A. Brief Report: Investigating Uncertainty in the Minimum Mortality Temperature. Methods and Application to 52 Spanish Cities // *Epidemiology*. – 2017. – Vol. 28. – P. 72–76. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000567
17. Linares C., Diaz J. Impact of heat waves on daily mortality in distinct age groups // *Gaceta Sanitaria*. – 2008. – Vol. 22, № 2. – P. 115–119.
18. Robine J.M., Michel J.P., Herrmann F.R. Excess male mortality and age-specific mortality trajectories under different mortality conditions: A lesson from the heat wave of summer 2003 // *Mechanisms of Ageing and Development*. – 2012. – Vol. 133, № 6. – P. 378–386. DOI: 10.1016/j.mad.2012.04.004
19. Urban A., Kysely J. Comparison of UTCI with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2014. – Vol. 11, № 1. – P. 952–967. DOI: 10.3390/ijerph110100952
20. Fallah Ghalhari G., Mayvaneh F. Effect of air temperature and universal thermal climate index on respiratory diseases mortality in Mashhad, Iran // *Archives of Iranian Medicine*. – 2016. – Vol. 19, № 9. – P. 618–624. DOI: 10.161909/AIM.004
21. Investigating changes in mortality attributable to heat and cold in Stockholm, Sweden / D. Oudin Åström, K.L. Ebi, A.M. Vicedo-Cabrera, A. Gasparrini // *International Journal of Biometeorology*. – 2018. – Vol. 62, № 9. – P. 1777–1780. DOI: 10.1007/s00484-018-1556-9
22. Socio-geographic disparity in cardiorespiratory mortality burden attributable to ambient temperature in the United States / Y. Zhang, Q. Xiang, Y. Yu, Z. Zhan, K. Hu, Z. Ding // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26, № 1. – P. 694–705. DOI: 10.1007/s11356-018-3653-z
23. The burden of stroke mortality attributable to cold and hot ambient temperatures: epidemiological evidence from China / J. Yang, P. Yin, M. Zhou, C.Q. Ou, M. Li, J. Li, X. Liu, J. Gao [et al.] // *Environ Int*. – 2016. – Vol. 92–93. – P. 232–238. DOI: 10.1016/S0140-6736 (14) 62114-0
24. Seasonal variations of temperature-related mortality burden from cardiovascular disease and myocardial infarction in China / J. Yang, M. Zhou, C.Q. Ou, P. Yin, M. Li, S. Tong, A. Gasparrini, X. Liu [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2017. – Vol. 224. – P. 400–406. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.02.020
25. Сравнительная оценка эффективности и безопасности фиксированных комбинаций лозартана с амлодипином или гидрохлортиазидом у больных артериальной гипертонией во время волн жары / М.Д. Смирнова, Т.В. Фофанова, Ф.Т. Агеев, З.Н. Бланкова, М.В. Вицень, Т.В. Цыбульская, Э.Ф. Неверова, Н.С. Самсонова // *Кардиологический вестник*. – 2017. – Т. 12, № 2. – С. 30–39.
26. Влияние повышения температуры воздуха на электролитный баланс, гемодинамику и качество жизни больных артериальной гипертонией и возможность профилактического использования препарата панангин / М.Д. Смирнова, Ф.Т. Агеев, О.Н. Свирида, А.Е. Кузьмина, П.В. Галанинский, Л.С. Шаталина // *Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение*. – 2013. – Т. 21, № 3. – С. 159–164.

*Определение порогов температурно-зависимой смертности на основе универсального индекса теплового комфорта – UTCI / Н.В. Шартова, Д.А. Шапошников, П.И. Константинов, Б.А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 83–93. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.10*



## UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX (UTCI) APPLIED TO DETERMINE THRESHOLDS FOR TEMPERATURE-RELATED MORTALITY

N.V. Shartova<sup>1</sup>, D.A. Shaposhnikov<sup>2</sup>, P.I. Konstantinov<sup>1</sup>, B.A. Revich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University, 12 Bldg., 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

<sup>2</sup>The Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, 47 Nakhimovskii Ave., Moscow, 117418, Russian Federation

*Our research goal was to examine a response in mortality among population in Arkhangelsk caused by exposure to high and low temperatures. We determined the best available mortality predictor out of air temperature and Universal Thermal Climate Index that characterizes how people feel temperature and detected threshold temperatures depending on sex, age, and cause of death; under exposure to such temperatures there was a statistically authentic increase in mortality.*

*We analyzed data on daily mortality among population and meteorological data collected in 1999–2016. Relative preciseness in calculating attributive fractions of additional mortality during all hot and cold days was taken as a numeric criterion for selecting the best predictor. All the calculations were accomplished basing on Poisson's regression model taking into account a non-linear dependence between mortality and weather with a distributed lag up to 21 days long.*

*Although people in Arkhangelsk live in a climate with cold summer and moderately cold winter, we determined attributive fractions of mortality both for cold and heat. In summer high temperatures at night have greater effects on mortality than average daily ones. Differences in temperature-related mortality depend not only on age (people who are older than 65 are more vulnerable in this respect) but also on sex. We detected lower threshold heat temperatures for males as well as greater increase in mortality among them caused by exposure to cold. It is advisable to use different predictors to obtain the maximum precise characteristics for heat and cold stress. We recommend applying UTCI to determine threshold temperatures and additional mortality.*

**Key words:** heat waves, cold waves, mortality, population, circulatory organs diseases, cerebrovascular diseases, respiratory organs diseases, Universal Thermal Climate Index (UTCI), Arkhangelsk.

### References

1. Gasparrini A., Guo Y., Hashizume M., Lavigne E., Zanobetti A., Schwartz J., Tobias A., Tong S. [et al.]. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*, 2015, no. 386, pp. 369–375. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0
2. Guo Y., Gasparrini A., Armstrong B.G., Li S., Tawatsupa B., Tobias A., Lavigne E., De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M. [et al.]. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: A systematic evaluation. *Epidemiology*, 2014, vol. 25, no. 6, pp. 781–789. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000165
3. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Avaliani S.L., Rubinshtein K.G., Emelina S.V., Shiryayev M.V., Semutnikova E.G., Zakharova P.V., Kislova O.V. Hazard assessment of the impact of high temperature and air pollution on public health in Moscow. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 1, pp. 36–40 (in Russian).
4. Sheridan S.C., Dixon P. Spatiotemporal trends in human vulnerability and adaptation to heat across the United States. *Anthropocene*, 2017, no. 20, pp. 61–73. DOI: 10.1016/j.ancene.2016.10.001
5. Paschalidou A., Kassomenos P., McGregor G. Analysis of the synoptic winter mortality climatology in five regions of England: Searching for evidence of weather signals. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 598, pp. 432–444. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.276
6. Di Napoli C., Pappenberger F., Cloke H.L. Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 2018, vol. 62, no. 7, pp. 1155–1165. DOI: 10.1007/s00484-018-1518-2
7. Varakina Zh.L., Yurasova E.D., Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Vyaz'min A.M. Air temperature impact on mortality in Arkhangelsk in 1999–2008. *Ekologiya cheloveka*, 2011, no. 6, pp. 28–36 (in Russian).

© Shartova N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I., B.A. Revich, 2019

**Natalia V. Shartova** – Candidate of Geographical Sciences, senior researcher (e-mail: shartova@yandex.ru; tel.: +7 (495) 939-21-40; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2758-9612>).

**Dmitrii A. Shaposhnikov** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher (e-mail: dshap2014@gmail.com; tel.: +7(499) 129-36-33; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9191-1974>).

**Pavel I. Konstantinov** – Candidate of Geographical Sciences, senior lecturer (e-mail: kostadini@mail.ru; tel.: +7 (495) 939-29-42; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5064-155X>).

**Boris A. Revich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Laboratory for Environment Quality Prediction and Population Health (e-mail: brevich@yandex.ru; tel.: +7 (499) 129-36-33; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

8. Shaposhnikov D.V., Revich B.A., Meleshko V.P., Govorkova V.A., Pavlova T.V., Varakina Zh.L. Experience of predicting of expected excess mortality due to climate change: a case study in Arkhangelsk. *Ekologiya cheloveka*, 2013, no. 8, pp. 17–22 (in Russian).
9. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Anisimov O.A., Belolutskaia M.A. Heat waves and cold spells in three arctic and subarctic cities as mortality risk factors. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 9, pp. 791–798 (in Russian).
10. Konstantinov P.I., Kukanova E.A. Gorodskie ostrova tepla Rossiiskoi Federatsii: osnovnye kharakteristiki i problem izucheniya [Urban heat islands in the Russian Federation: basic features and issues related to examining them]. *ENVIROMIS-2014: materialy Mezhdunarodnoi konferentsii i shkoly molodykh uchenykh po izmereniyam, modelirovaniyu i informatsionnym sistemam dlya izucheniya okruzhayushchei sredy*. Tomsk, 2014, vol. 29, pp. 162–164 (in Russian).
11. Jendritzky G., Havenith G., Weihs P., Batchvarova E. Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. *Final Report COST Action 730*, 2009, 6 p.
12. Matzarakis A., Endler C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 2010, vol. 54, no. 4, pp. 479–483. DOI: 10.1007/s00484-009-0296-2
13. Gasparrini A., Leone M. Attributable risk from distributed lag models. *BMC Medical Research Methodology*, 2014. Available at: <https://bmcmmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-14-55> (12.03.2018). DOI: 10.1186/1471-2288-14-55
14. Shartova N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I., Revich B.A. Air temperature and mortality: heat thresholds and population vulnerability study in Rostov-on-don. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2019, vol. 2, pp. 66–94. DOI: 10.21513/2410-8758-2019-2-66-94 (in Russian).
15. Gasparrini A., Armstrong B., Kenward M.G. Distributed lag non-linear models. *Statistics in Medicine*, 2010, vol. 29, pp. 2224–2234. DOI: 10.1002/sim.3940
16. Tobias A., Armstrong B.G., Gasparrini A. Brief Report: Investigating Uncertainty in the Minimum Mortality Temperature. Methods and Application to 52 Spanish Cities. *Epidemiology*, 2017, vol. 28, pp. 72–76. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000567
17. Linares C., Diaz J. Impact of heat waves on daily mortality in distinct age groups. *Gaceta Sanitaria*, 2008, vol. 22, no. 2, pp. 115–119.
18. Robine J.M., Michel J.P., Herrmann F.R. Excess male mortality and age-specific mortality trajectories under different mortality conditions: A lesson from the heat wave of summer 2003. *Mechanisms of Ageing and Development*, 2012, vol. 133, no. 6, pp. 378–386. DOI: 10.1016/j.mad.2012.04.004
19. Urban A., Kyselý J. Comparison of UTCI with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2014, vol. 11, no. 1, pp. 952–967. DOI: 10.3390/ijerph110100952
20. FallahGhalhari G., Mayvaneh F. Effect of air temperature and universal thermal climate index on respiratory diseases mortality in Mashhad, Iran. *Archives of Iranian Medicine*, 2016, vol. 19, no. 9, pp. 618–624. DOI: 10.161909/AIM.004
21. Oudin Åström D., Ebi K.L., Vicedo-Cabrera A.M., Gasparrini A. Investigating changes in mortality attributable to heat and cold in Stockholm, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 2018, vol. 62, no. 9, pp. 1777–1780. DOI: 10.1007/s00484-018-1556-9
22. Zhang Y., Xiang Q., Yu Y., Zhan Z., Hu K., Ding Z. Socio-geographic disparity in cardiorespiratory mortality burden attributable to ambient temperature in the United States. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 694–705. DOI: 10.1007/s11356-018-3653-z
23. Yang J., Yin P., Zhou M., Ou C.Q., Li M., Li J., Liu X., Gao J. [et al.]. The burden of stroke mortality attributable to cold and hot ambient temperatures: epidemiological evidence from China. *Environ. Int.*, 2016, vol. 92–93, pp. 232–238. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0
24. Yang J., Zhou M., Ou C.Q., Yin P., Li M., Tong S., Gasparrini A., Liu X. [et al.]. Seasonal variations of temperature-related mortality burden from cardiovascular disease and myocardial infarction in China. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 224, pp. 400–406. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.02.020
25. Smirnova M.D., Fofanova T.V., Ageev F.T., Blankova Z.N., Vitsenya M.V., Tsybul'skaya T.V., Neverova E.F., Samsonova N.S. Comparison of efficacy and safety of losartan fixed combination with amlodipine or hydrochlorothiazide in hypertensive patients during heatwaves. *Kardiologicheskii vestnik*, 2017, vol. 12, no.2, pp. 30–39 (in Russian).
26. Smirnova M.D., Ageev F.T., Svirida O.N., Kuz'mina A.E., Galaninskii P.V., Shatalina L.S. Vliyanie povysheniya temperatury vozdukh na elektrolitnyi balans, gemodinamiku i kachestvo zhizni bol'nykh arterial'noi gipertoniei i vozmozhnost' profilakticheskogo ispol'zovaniya preparata Panangin [Influence exerted by temperature rise on electrolyte balance, hemodynamics, and life quality of people who suffer from primary hypertension; possible preventive effects produced by Panangin]. *Russkii meditsinskii zhurnal. Meditsinskoe obozrenie*, 2013, vol. 21, no. 3, pp. 159–164 (in Russian).

Shartova N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I., Revich B.A. Universal thermal climate index (utci) applied to determine thresholds for temperature-related mortality. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 3, pp. 83–93. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.10.eng

Получена: 13.08.2019

Принята: 10.09.2019

Опубликована: 30.09.2019