

Ревич Б.А.<sup>1,2</sup>, Шапошников Д.А.<sup>1</sup>, Анисимов О.А.<sup>2</sup>, Белолицкая М.А.<sup>2,3</sup>**ВОЛНЫ ЖАРЫ И ХОЛОДА В ГОРОДАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В АРКТИЧЕСКОЙ И СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНАХ КАК ФАКТОРЫ РИСКА ПОВЫШЕНИЯ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКА, МУРМАНСКА И ЯКУТСКА**<sup>1</sup> Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 117418, Москва;<sup>2</sup> ФГБУ «Государственный гидрологический институт» Росгидромета, 199053, Санкт-Петербург;<sup>3</sup> ГБОУ ВПО Министерства здравоохранения РФ «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова», 197022, Санкт-Петербург

**Введение.** Климатические изменения приводят к увеличению частоты температурных волн. Для оценки их воздействия на показатели смертности населения от основных причин проведено исследование повторяемости и длительности волн жары и холода в городах Мурманск, Архангельск и Якутск за период с 1999 по 2016 г.

**Материал и методы.** Данные восьмисрочных наблюдений температуры, влажности и скорости ветра за этот период приняты с вебсайта ВНИИГМИ, наблюдения проводились в стандартные синоптические сроки с интервалом в 3 часа. Ежесуточные данные о смертности получены из базы данных Росстата. Для статистического анализа зависимостей между показателями температурных волн и смертностью использовалась обобщенная Пуассоновская линейная регрессия.

**Результаты.** За период исследования по температуре сухого термометра в трёх городах было идентифицировано 40 волн жары и 37 волн холода длительностью от пяти дней. Проведено сравнение прогностической способности двух индексов биоклиматической комфортности для холода (температуры сухого термометра и ветро-холодового индекса) и двух индексов для жары (температуры сухого термометра и эффективной температуры). Эти индексы являются предикторами смертности во время волн холода и жары в арктических и субарктических городах. Вычислены относительные приросты смертности во время этих погодных явлений (по сравнению с обычными днями) с дифференциацией по основным причинам смерти и по возрастным группам населения. Основной вклад в повышенную смертность во время длительных эпизодов экстремальных температур вносят болезни органов кровообращения.

**Обсуждение.** Для идентификации волн холода и жары целесообразно использовать вероятностные характеристики локальных многолетних распределений суточных значений метеофакторов. Риски прироста смертности в арктических/приарктических городах при воздействии волн жары менее выражены, чем в южных городах России. Волны холода, наоборот, более опасны для здоровья в арктических городах, чем в южных.

Ключевые слова: климат Арктики; изменение климата; арктические и субарктические города; смертность населения; волны жары; волны холода.

**Для цитирования:** Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Анисимов О.А., Белолицкая М.А. Волны жары и холода в городах, расположенных в арктической и субарктической зонах, как факторы риска повышения смертности населения на примере Архангельска, Мурманска и Якутска. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(9): 791-798. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-791-798>

**Для корреспонденции:** Ревич Борис Александрович, доктор мед. наук, проф. зав. лаб. прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения ФГБУ науки Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. E-mail: [brevich@yandex.ru](mailto:brevich@yandex.ru).

Revich B.A.<sup>1,2</sup>, Shaposhnikov D.A.<sup>1</sup>, Anisimov O.A.<sup>2,3</sup>, Belolutskaja M.A.<sup>2,3</sup>**HEAT WAVES AND COLD SPELLS IN THREE ARCTIC AND SUBARCTIC CITIES AS MORTALITY RISK FACTORS**<sup>1</sup>Institute for Economic Forecasting, Moscow, 117418, Russian Federation;<sup>2</sup>State Hydrological Institute, Moscow, 199053, Russian Federation;<sup>3</sup>The First Saint-Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, 197022

*Climate change leads to an increase in the frequency of temperature waves. To assess the impacts of temperature waves on cause-specific mortality rates, this study characterized the frequency and duration of heat waves and cold spells in the cities of Murmansk, Archangelsk, and Yakutsk in the period of 1999 – 2016. The relationships between mortality and temperature waves in these cities were estimated using three bioclimatic indices (dry bulb temperature, apparent temperature, wind-chill index). The relative predictive powers of these indices were compared. The main drivers of elevated mortality during such events were identified differentially by the cause and the age of death. Forty heat waves and thirty-seven cold spells were identified in these cities, using dry bulb temperature as an explanatory variable. Cardiovascular deaths mostly contribute to elevated total mortality rates during protracted exposures to extreme heat and cold. Heat-related health risks are more pronounced in the south of European Russia than in the Arctic cities. Cold-related risks are higher in the northern cities.*

Key words: Arctic climate; climate change; Arctic and subarctic cities; mortality; heat waves; cold spells/

**For citation:** Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Anisimov O.A., Belolutskaja M.A. Heat waves and cold spells in three arctic and subarctic cities as mortality risk factors. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(8): 791-798. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-791-798>

**For correspondence:** Boris A. Revich, MD, PhD, DSci., professor, head of the Laboratory for forecasting the quality of the environment and public health of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Science, Moscow, 117418, Russian Federation. E-mail: [brevich@yandex.ru](mailto:brevich@yandex.ru).

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgment.* The research is supported by the Russian Science Foundation, project 14-17-00037 of the State Hydrological Institute.

Received: 27 February 2018

Accepted: 15 September 2018

**Введение**

К неблагоприятным факторам окружающей среды населённых пунктов (и особенно городов) в последние годы добавились климатические риски, значение которых для здоровья населения возрастает по мере изменения метеорологических показателей, в т. ч. увеличения температуры воздуха. Для России с её разнообразными типами климата и высокими значениями урбанизации эта проблема особенно актуальна. Исследования, основанные на принципах доказательной медицины, доказывают воздействие температурных волн жары и холода на смертность населения различных городов мира [1–14 и другие публикации].

В России комплекс исследований в этом направлении выполнен в Лаборатории прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения Института народнохозяйственного прогнозирования РАН [15–23 и другие публикации].

Изменения климата в наибольшей степени затрагивают арктическую и приарктическую территорию России, поэтому именно в этом регионе необходимы наиболее детальные исследования социальных последствий изменений климата, в т. ч. и городского населения. Поэтому в рамках настоящего исследования была поставлена задача оценки влияния волн жары и холода на показатели смертности населения на Северо-Западе России (на примере городов Мурманск и Архангельск) и в Восточной Сибири (на примере Якутска). В обоих регионах изменения температуры в целом за год и в каждый из сезонов заметно превышали средние по всей России [24] (рис. 1).

В наших предыдущих исследованиях [16–18, 25] было показано, что волны жары/холода привели к дополнительной смертности населения ряда арктических и субарктических городов. В этих исследованиях использовался дисперсионный анализ независимых выборок ежедневной смертности. В последние годы были разработаны новые статистические методы оценки влияния температурных волн на показатели смертности населения на основе анализа временных рядов, уже ставшие общепринятыми в международных научных исследованиях [21]. Помимо этих новых методов при анализе данных северных городов целесообразно использовать ветро-холодовой индекс как показатель климатической комфортности среды обитания в зимний период [26]. В цитируемом исследовании изучена смертность населения от всех естественных причин в возрасте свыше 65 лет в Красноярске во время волн холода. Было показано, что волны ветро-холодового индекса (показателя суровости погоды в зимний период, то есть субъективного ощущения человека при одновременном воздействии на него мороза и ветра) теснее связаны с суточной смертностью, чем волны «обычного» холода, выявленные без учёта скорости ветра. Относительные приросты смертности во время волн ветро-холодового индекса больше, как и статистическая значимость полученных оценок риска.

Изучение частоты и длительности температурных волн необходимо для понимания особенностей микроклимата того или иного города и разработки планов действий по адаптации населения к климатическим изменениям.

**Материал и методы**

Идентификация температурных волн. Для проведения исследования выбраны три города с различными климатическими условиями: Мурманск и Архангельск в Северо-Западном регионе и Якутск в континентальной части Восточной Сибири. Данные восьмисрочных наблюдений температуры и влажности воздуха, а также скорости ветра за период 1999–2016 гг. (18 лет) были приняты с вебсайта

ВНИИГМИ <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> и прошли процедуры контроля качества: проверку на полноту массива и выпадающие значения. По этим данным вычислены средние суточные значения температуры, скорости ветра и относительной влажности, которые затем использовались для вычисления эффективной температуры воздуха и ветро-холодового индекса. Выбор наилучшего (с точки зрения статистической связи с суточными рядами случаев смерти в каждом городе) метеорологического показателя сводился к сравнению прогностической способности двух моделей с одинаковым числом степеней свободы. В этом и состоит отличие данного исследования от наших предыдущих работ по арктическим/субарктическим городам [16–18, 25], где была использована только температура воздуха.

Изучались показатели смертности во время дискретных погодных явлений – длительных эпизодов экстремальных температур, а не непрерывные зависимости рядов суточной смертности от метеорологических параметров, когда каждый день рассматривается независимо от соседних дней. Соответственно, были установлены ожидаемые приросты смертности во время волн по отношению к норме для аналогичных периодов без волн, а не увеличение смертности на каждый градус изменения температуры выше или ниже пороговой, что характеризует непрерывные зависимости.

Вторая особенность данного исследования – изучение именно ансамблей, а не индивидуальных волн. Анализ совокупности всех волн длительностью от 5 дней и более (отдельно для жары и для холода) за период исследования позволяет повысить статистическую мощность выборок суточной смертности. Полученное значение риска интерпретируется как отношение ожидаемой смертности в среднем для всех дней, входящих в изучаемый ансамбль волн, к ожидаемой смертности в эти же календарные даты, но при температуре, являющейся климатической нормой. Обе величины являются ожидаемыми, поскольку они вычислены из модели.

Эффективная температура  $AT$  вычислялась по формуле Стедмена [27]:

$$AT = T_a + 0,348e - 0,70ws + 0,70 \frac{Q}{ws+10} - 4,25, \quad (1)$$

где  $T_a$  – температура сухой колбы (°C);  $ws$  – скорость ветра (м/с);  $Q$  – поток солнечного излучения, поглощаемый единицей площади поверхности тела (Вт/м<sup>2</sup>);  $e$  – упругость водяного пара, вычисляемая по формуле:

$$e = 6,105 \frac{rh}{100} \exp\left(\frac{17,27T_a}{237,7+T_a}\right), \quad (2)$$

где  $rh$  – относительная влажность (%).

Ветро-холодовой индекс  $T_{wc}$  вычислялся по формуле [28]:

$$T_{wc} = 13,12 + 0,6215T_a - 13,96v^{0,16} + 0,4867T_av^{0,16} \quad (3)$$

Процедура идентификации волн холода сводится к выделению непрерывных последовательностей длиной не менее пяти дней, в которых все дни имели среднесуточные значения  $T$  ниже третьего перцентиля распределения данного индикатора за все дни периода исследования (соответственно для волн жары выше 97-го перцентиля многолетних распределений соответствующего параметра). Аналогично создаётся ансамбль волн холода, используя ветро-холодовой индекс, и ансамбль волн жары, используя эффективную температуру воздуха. Более подробно методика идентификации волн описана в нашей предыдущей публикации [26].

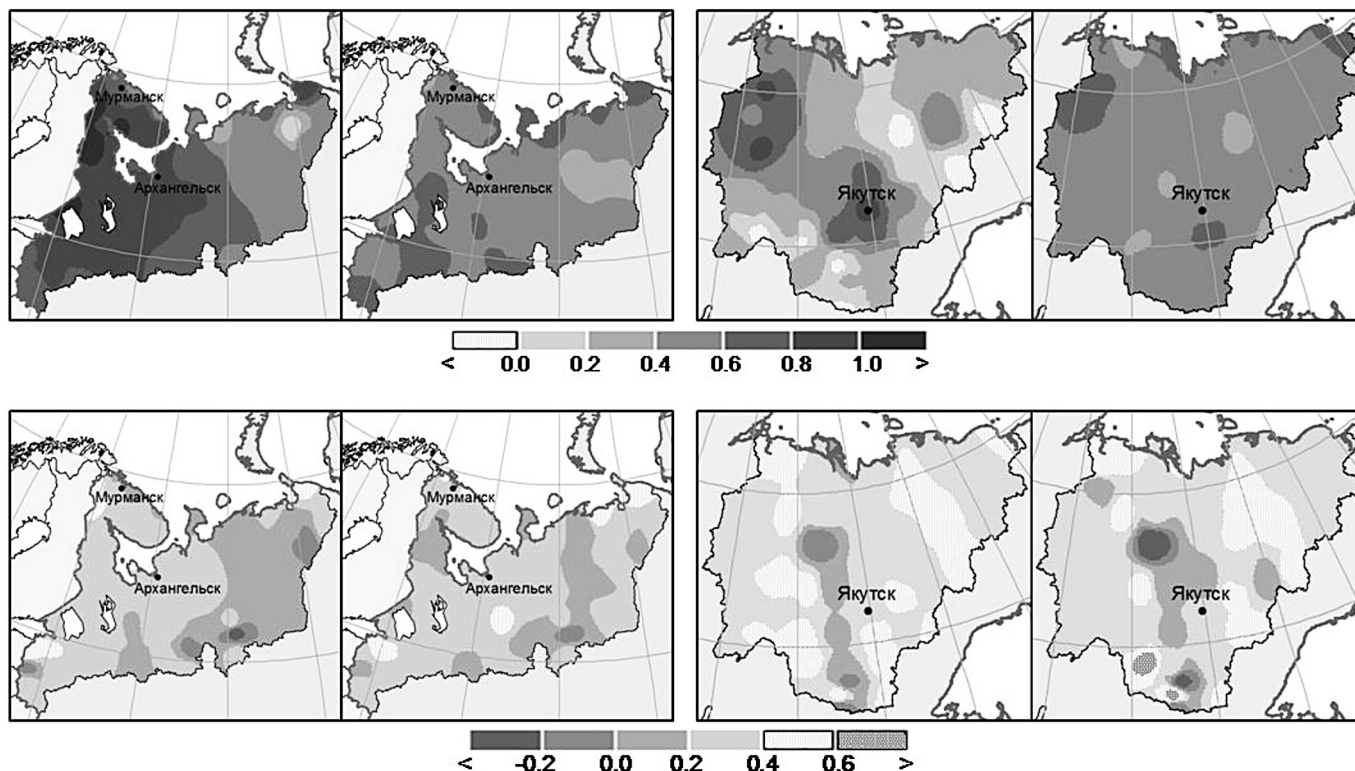


Рис. 1. Зимние и летние тренды температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет, верхний ряд) и скорости ветра ( $\text{м}/\text{с}/10$  лет, нижний ряд) за период с 1976 по 2016 г. на Северо-Западе (слева) и в Якутия (справа).

Расчёт относительных приростов смертности во время волн жары и холода проводился по шести климато-зависимым классам причин смерти: ишемической болезни сердца (ИБС), цереброваскулярным заболеваниям (ЦВЗ), другим болезням органов кровообращения (др. БСК), болезням органов дыхания (БОД), всем внешним причинам и всем естественным причинам смерти в двух возрастных группах: от 30 до 64 лет и  $\geq 65$  лет, т. е. изучалось всего 12 показателей смертности. Для статистического анализа зависимостей между показателями температурных волн и смертностью населения использовалась Пуассоновская обобщённая линейная регрессия суточной смертности. Например, для жары уравнение модели:

$$\ln M(t+L) = \beta \cdot \text{heat} + f(t+L) + \varepsilon, \quad (4)$$

где  $M$  – суточная смертность. Бинарная переменная  $\text{heat}$  равна единице для всех дней, входящих в ансамбль волн жары, и нулю для всех остальных дней периода исследования. Регрессионный коэффициент  $\beta$  есть логарифм относительного риска смертности в среднем для ансамбля волн жары. Временная задержка  $L$  указывает на то, что допускаются лаги между волной температуры и откликом смертности от нуля до четырёх дней для жары и от нуля до 18 дней для холода, поскольку многие исследователи отмечали именно такой отсроченный характер влияния экстремальных температур на смертность [29];  $\varepsilon$  – регрессионная ошибка.  $f(\text{time})$  описывает явную зависимость смертности от времени:

$$f(\text{time}) = \beta_{\text{int}} t + \beta_{\text{quad}} t^2 + S\left(\text{DOY}, \frac{4df}{\text{year}}\right) + \{\text{DOW}\}, \quad (5)$$

Уравнение (5) включает многолетний тренд, который моделируется квадратичной параболой (первые два члена в правой части (5)); сезонную компоненту  $S$ , которая мо-

делируется кубическим сплайном номера дня в году  $\text{DOY}$  с четырьмя степенями свободы в год; набор семи факторных переменных  $\{\text{DOW}\}$ , учитывающих зависимость от дня недели. Наиболее вероятным лагом считается такой, который даёт наибольшее оценочное значение коэффициента  $\beta$  в модели (1).

Выбор наилучшей модели осуществлялся в два шага. Для жары целью исследования было определить, какой температурный индекс лучше описывает смертность: температура сухой колбы  $T$  или эффективная температура воздуха  $AT$ . На первом шаге выбирался наиболее вероятный лаг для моделей с  $T$  и для моделей с  $AT$ , причём эти лаги могут быть различны для разных показателей смертности. На втором шаге сравнивались уже только две модели с наиболее вероятными лагами: одна модель с  $T$  и одна модель с  $AT$ . Аналогичным образом определялся наилучший предиктор смертности для волн холода ( $T$  или  $T_{\text{ве}}$ ). Критерием для межмодельных сравнений являлся информационный критерий Акаике (AIC) – мера относительного качества статистических моделей, имеющих сходную структуру и описывающих один и тот же набор данных. Модель с «лучшим» предиктором будет иметь меньшее значение AIC [30], поскольку обе модели описывают один и тот же набор данных и даже имеют одинаковое число степеней свободы. Как правило (за редким исключением), модель, минимизирующая AIC, имела также наиболее высокое и статистически достоверное значение (лог)риска  $\beta$ .

## Результаты

Современные изменения температуры и ветра. Согласно данным наблюдений, в период с 1976 по 2016 г. в Северо-Западном регионе происходило равномерное по всем широтным зонам увеличение температуры воздуха



## Некоторые характеристики ансамблей волн жары и холода за 1999–2016 гг.

Показатель	Мурманск*				Архангельск				Якутск			
	жара		холод		жара		холод		жара		холод	
Биоклиматический индекс	<i>T</i>	<i>AT</i>	<i>T</i>	<i>T<sub>wc</sub></i>	<i>T</i>	<i>AT</i>	<i>T</i>	<i>T<sub>wc</sub></i>	<i>T</i>	<i>AT</i>	<i>T</i>	<i>T<sub>wc</sub></i>
Пороговые <i>T</i> , °C	17,2	15,7	-17,8	-25,7	20,8	21,4	-21,9	-26,3	22,9	22,9	-42,7	-43,9
Число дней в ансамбле	40	39	87	84	112	128	97	86	156	163	137	120
Число волн	6	6	12	11	16	16	12	11	18	18	13	12
Волновая доля	0,25	0,25	0,48	0,45	0,57	0,65	0,49	0,44	0,79	0,83	0,70	0,61
Средняя длина волны, число дней	6,7	6,5	7,3	7,6	7,0	8,0	8,1	7,8	8,7	9,1	10,5	10,0

Примечание. \* – при сравнении чисел дней и волн в ансамблях надо иметь в виду, что в Мурманске из периода исследования были исключены 2013 и 2016 годы из-за проблем с качеством данных о смертности за эти годы.

со скоростью  $0,2 \div 0,8$  °C/10 лет зимой и  $0,2 \div 0,3$  °C/10 лет летом. За исключением весеннего сезона скорость роста температуры имела секторальный характер и возрастала в направлении с востока на запад. В Восточной Сибири, напротив, изменения температуры имели широтно-зональный вид. Наибольшее увеличение сезонных температур происходило весной, тогда тренд составил  $0,8 \div 1,0$  °C/10 лет, на севере региона – до  $1,2$  °C/10 лет. Осенью тренд составил  $0,6 \div 0,8$  °C/10 лет. Скорости роста летней и зимней температуры не превышали, соответственно,  $0,6$  и  $0,4$  °C/10 лет. Скорость ветра, от которой зависит физиологическое восприятие температуры, уменьшается повсеместно и во все сезоны в Северо-Западном регионе и на большей части Восточной Сибири в среднем на  $0,2$  м/с за 10 лет, в Мурманске в зимний период – до  $0,4$  м/с за 10 лет.

Характеристики ансамблей волн жары и холода. В табл. 1 приведены основные характеристики изученных ансамблей волн, в том числе пороговые температуры, вычисленные в соответствии с принятыми определениями волн жары и холода. Интересно отметить различия в порогах *T* и *AT* для жары, а также *T* и *T<sub>wc</sub>* для холода, обусловленные влажностью летом и ветреностью зимой. Например, в Мурманске  $AT_{\text{порог}} < T_{\text{порог}}$ , что весьма необычно, так как с учетом физиологической обусловленности эффективная температура выше обычной, т.к. в жаркую и влажную погоду затруднена терморегуляция и за счёт этого человек себя хуже чувствует. Такой результат связан с тем, что в Мурманске лето сравнительно прохладное с низкой влажностью.

Рис. 2 иллюстрирует сходство и различия ансамблей волн, идентифицированных по температуре воздуха.

Идентификация волн жары и холода была выполнена с помощью «симметричных» порогов (нижние и верхние три процента значений соответствующих метеопараметров), чтобы полученные результаты в отношении ансамблей волн жары и холода было удобно сравнивать графически.

Влияние волн жары и холода на смертность населения. Расчёты рисков смертности при воздействии волн жары и холода были выполнены по 12 показателям смерти. В табл. 2 в качестве примера приведены два показателя смертности – от ишемической болезни сердца и от цереброваскулярных заболеваний в возрастной группе от 65 лет. Как показал опыт наших и зарубежных исследований, именно эти два показателя вносят наибольший вклад в повышение смертности, обусловленное неблагоприятными факторами окружающей среды. Для этих показателей, как правило, риски наиболее достоверны.

## Обсуждение

Новой, ранее не изученной характеристикой местного климата является так называемая «волновая доля» – отношение числа дней, входящих в ансамбли волн длительностью от 5 дней, к общему числу дней с температурами выше (для жары) или ниже (для холода) пороговых. Поскольку пороги температуры установлены на основе процентилей, то за 18 лет 197 дней (3% от всех дней) имеют температуры выше пороговой (для жары) и ниже пороговой (для холода). Однако не все из них войдут в ансамбли волн температуры, так как учитываются только непрерывные волны продолжительностью от 5 дней. Длительность периодов жары и холода зависит от типа климата. Так, в Мурманске с морским типом климата, при котором жара не продолжается длительное время, в волны жары вошла только четверть дней с температурами выше пороговой. В Якутске с континентальным климатом и плавным изменением температуры из-за длительных антициклонов 83% дней с эффективными температурами были выше порогового значения и вошли в волны жары. Аналогичные различия проявляются по волнам холода.

Как показывает рис. 2 а, волны жары и холода распределены по годам неравномерно в силу их вероятностного характера. Сравнивая гистограммы распределения числа волн в год в трёх различных городах за одинаковый период исследования, можно получить достаточно полную картину климатических различий между городами как в отношении общего числа волн жары и холода, так и их «кучности»: сколько волн можно ожидать за один год. Для облегчения сравнения между городами гистограммы выполнены в едином масштабе по вертикальной оси.

Важный вывод из рис. 2 а состоит в том, что в отношении волн жары наблюдаются большие различия между городами, а в отношении волн холода различий почти нет. Так, в Мурманске меньше число волн жары по сравнению с другими городами. В этом городе на протяжении 12 лет вообще не наблюдались волны жары, а в течение еще четырёх лет была отмечена всего одна волна. Рекордное число волн жары зафиксировано в Якутске, где всего четыре лета прошли без волн жары, а в течение 11 лет было по одной волне жары в год. Архангельск в этом отношении занимает промежуточное положение.

Рис. 2 б даёт представление о распределении волн по месяцам, если считать по дате начала волны. Картины распределений волн жары для разных городов в целом одинаковы: наибольшее число волн приходится на июль как самый жаркий месяц года, далее следует июнь, а в августе волн почти нет. Сравнивая распределения волн хо-

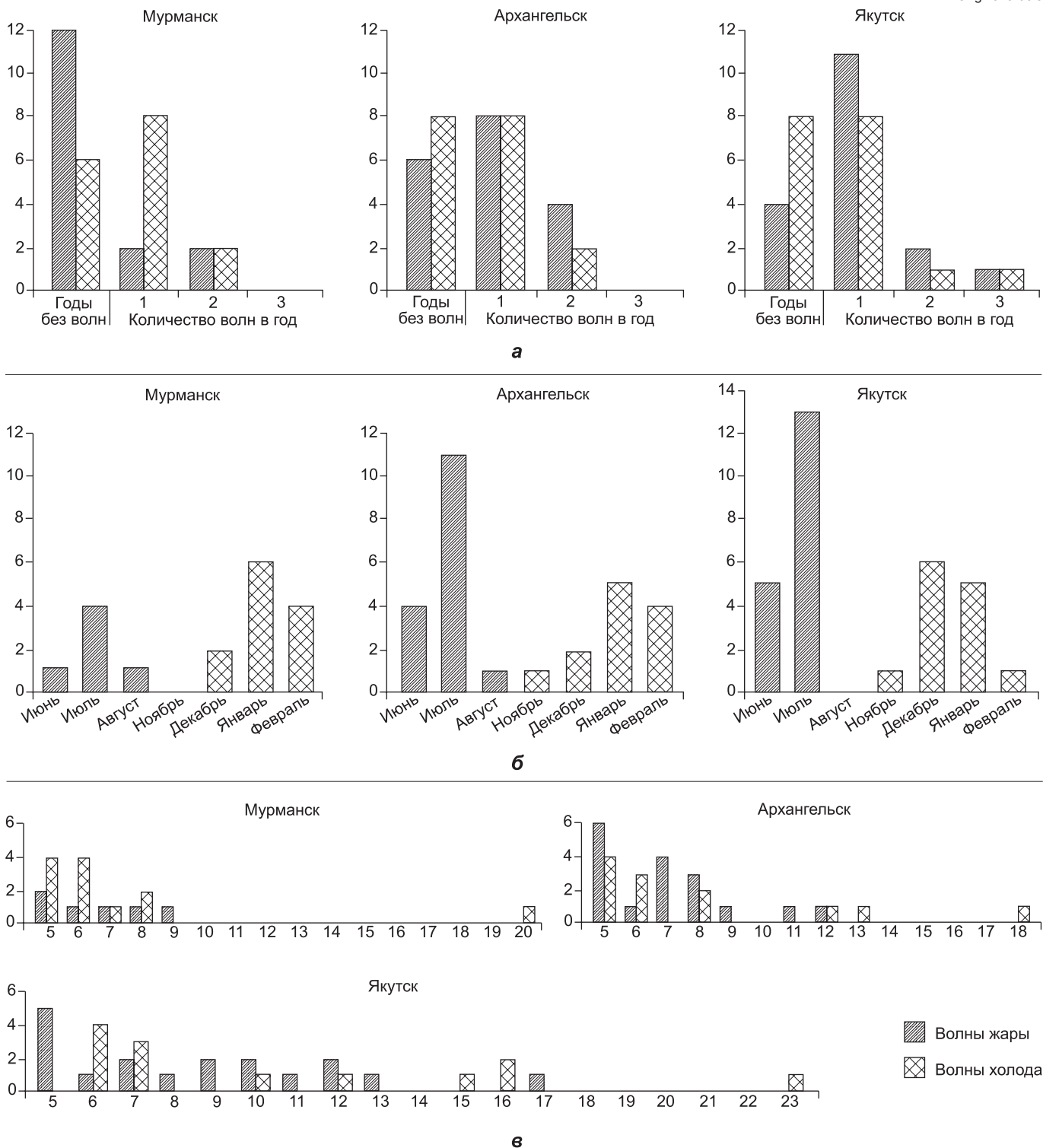


Рис. 2. Гистограммы распределений волн жары и холода: а – по годам; б – по месяцам; в – по длительности в днях.

года, можно заметить, что в Якутске по сравнению с другими городами распределение сдвинуто на начало сезона. В результате в Якутске больше половины всех волн холода пришлось на ноябрь – декабрь. В Мурманске и Архангельске максимум приходится на январь. В Мурманске на ноябрь – декабрь приходится лишь 1/5 всех волн холода, а в Архангельске – 1/3.

Рис. 2 в показывает и распределение волн по длительности. В отношении волн жары хорошо видно, как по

мере движения на восток (это соответствует изменению климата от морского к континентальному) увеличивается максимальная длина волн жары и число длинных волн. Такая тенденция приводит к тому, что средняя длина волн жары в Якутске равна 9 дням против 7 дней в Мурманске и Архангельске. Такая же тенденция характерна и для волн холода. Здесь хорошо видны экстремумы, – очень длинные волны холода. В Мурманске таким экстремумом является одна волна холода длительностью 20 дней. В Ар-

## Результаты оценки риска смертности от ишемической болезни сердца и цереброваскулярных заболеваний в возрастной группе от 65 лет во время волн жары и холода

Заболевания	Биоклиматический индекс										
	ВОЛНЫ ЖАРЫ										
	Температура воздуха ( <i>T</i> )					Эффективная температура ( <i>AT</i> )					<i>AT</i> лучше?
	<i>RR</i>	95% <i>CI</i>	<i>z</i>	<i>AIC</i>	<i>L</i>	<i>RR</i>	95% <i>CI</i>	<i>z</i>	<i>AIC</i>	<i>L</i>	
Мурманск:											
Ишемическая болезнь сердца	1,01	0,79–1,28	0,08	3,2758	4	<1**	–	–	–		нет
Цереброваскулярные заболевания	1,14	0,90–1,44	1,12	3,1892	3	1,31*	1,05–1,64	2,42	3,1885	3	да
Архангельск:											
Ишемическая болезнь сердца	1,14*	1,01–1,29	2,09	3,5969	0	1,11	,99–1,25	1,75	3,5971	0	нет
Цереброваскулярные заболевания	1,27*	1,11–1,43	3,72	3,2176	1	1,21*	1,06–1,36	3,05	3,2183	1	нет
Якутск:											
Ишемическая болезнь сердца	1,03	0,83–1,26	0,27	2,1371	1	1,12	0,92–1,36	1,16	2,1370	1	да
Цереброваскулярные заболевания	1,61*	1,27–2,03	4,03	1,5253	1	1,42*	1,12–1,81	2,93	1,5262	0	нет
Заболевания	ВОЛНЫ ХОЛОДА										
	Температура воздуха ( <i>T</i> )					Ветро-холодовой индекс ( <i>T<sub>wc</sub></i> )					<i>T<sub>wc</sub></i> лучше?
	<i>RR</i>	95% <i>CI</i>	<i>z</i>	<i>AIC</i>	<i>L</i>	<i>RR</i>	95% <i>CI</i>	<i>z</i>	<i>AIC</i>	<i>L</i>	
	Мурманск:										
Ишемическая болезнь сердца	1,24*	1,07–1,42	3,03	3,2744	5	1,20*	1,04–1,39	2,59	3,2746	6	нет
Цереброваскулярные заболевания	1,10	0,94–1,29	1,28	3,1887	13	1,11	0,95–1,30	1,38	3,1885	15	да
Архангельск:											
Ишемическая болезнь сердца	1,16*	1,03–1,31	2,44	3,5969	4	1,27*	1,12–1,44	3,83	3,5958	5	да
Цереброваскулярные заболевания	1,30*	1,15–1,46	4,25	3,2165	8	1,27*	1,11–1,44	3,62	3,2172	8	нет
Якутск:											
Ишемическая болезнь сердца	1,26*	1,03–1,53	2,29	2,1365	0	1,23	0,99–1,52	1,85	2,1371	6	нет
Цереброваскулярные заболевания	1,36*	1,05–1,76	2,33	1,5271	4	1,31	0,99–1,73	1,88	1,5273	4	нет

Примечание. *RR* – относительный риск; *CI* – доверительный интервал; *z* – величина двухстороннего z-теста для коэффициента  $\beta$  в модели (1); *AIC* – информационный критерий Акаике; *L* – величина наиболее вероятного лага между температурой и смертностью в днях; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $RR < 1$  при всех лагах. В этом случае следует принять нулевую гипотезу об отсутствии статистической связи между волнами жары и смертностью.

хангельске это уже три волны длительностью 12, 13 и 18 дней. В Якутске правый «хвост» распределения размыт и заканчивается рекордной по длительности волной холода (23 дня), что сильно увеличило и среднюю длину волны – она равна 10½ дней.

Выявленные особенности и характеристики температурных волн важны для служб здравоохранения, социальной защиты и других органов исполнительной власти для своевременной подготовки планов действий по защите здоровья населения.

На рис. 3 явно видны различия в значениях дополнительной смертности при воздействии температурных волн в трёх различных городах арктической и субарктической зон.

### Заключение

Защита здоровья населения при воздействии температурных волн основывается на значениях температурных порогов, при превышении которых необходимы определённые профилактические мероприятия. В рамках доказательной медицины такой температурный порог может быть вычислен с помощью некоторого численного критерия, который основан на результатах эпидемиологических исследований. Обоснование пороговых значений температуры

с позиций риска здоровью представляет собой определённый шаг вперед по сравнению с чисто «синоптическим» подходом. Для практических целей защиты населения оправдан выбор порога волн жары на уровне 97-го или 98-го процентиля и холода на уровне 3-го процентиля многолетних распределений соответствующих неблагоприятных метеофакторов: эффективной температуры для волн жары и ветро-холодового индекса для волн холода. При таком подходе пороги жары и холода в северных городах, естественно, будут значительно ниже, чем в южных городах, изученных нами ранее. Сравнение средневзвешенных рисков от воздействия температурных волн в южных городах, представленных в наших предыдущих работах [22, 23], и в арктических (субарктических) городах показало, что риски от воздействия волн жары в субарктических городах менее выражены, чем в южных городах, а волны холода, наоборот, наносят больший вред здоровью в арктических городах, чем в южных, если сравнивать относительные приросты смертности. Поэтому для арктических и субарктических городов необходимо разработать и внедрить системы раннего оповещения населения о наступлении температурных волн и комплекса профилактических мер (индивидуального и популяционного характера) по защите населения во время экстремальной жары и волн холода.

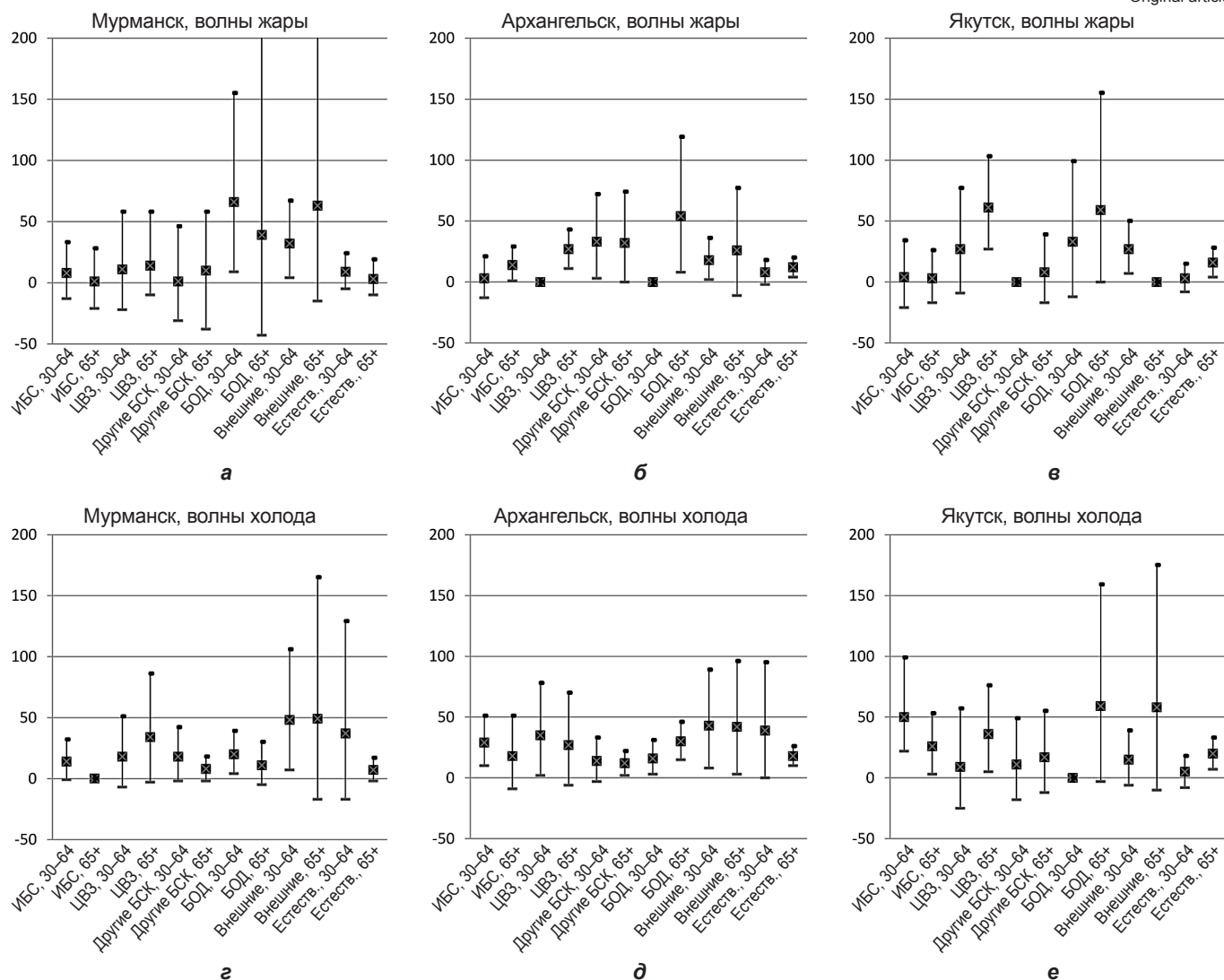


Рис. 3. Относительные приросты смертности (%) во время волн жары и холода, среднее значение и 95% ДИ. Нулевые ДИ означают, что риск не был установлен.

ИБС – ишемическая болезнь сердца; ЦВЗ – цереброваскулярные заболевания; другие БСК – другие болезни системы кровообращения; БОД – болезни органов дыхания; 30–64 и 65+ обозначают смертность в соответствующих возрастных группах.

## Выводы

1. Влияние волн жары на смертность во всех трёх изученных городах согласуются между собой: обычная температура воздуха теснее связана со смертностью, чем эффективная температура. По волнам холода получены противоречивые результаты: в Мурманске сильнее статистическая связь между дополнительной смертностью и значениями ветро-холодового индекса; в Якутске – связь между дополнительной смертностью и со значениями температуры.

2. Количество полученных статистически-значимых оценок дополнительной смертности при волнах холода и волнах жары в каждом городе различно. Статистически значимы риски как для волн холода, так и для волн жары по семи показателям смертности в Архангельске и по трём в Якутске. Сравнение абсолютных значений рисков для тех показателей, для которых обе оценки (для холода и для жары) статистически значимы, показало, что в Архангельске и Якутске волны холода сильнее влияют на смертность населения, чем волны жары.

3. Влияние температурных волн на показатели смертности более выражено в старшей возрастной группе по сравнению со средней возрастной группой. Основной вклад в повышение общей смертности вносят болезни системы кровообращения, а для среднего возраста влияют еще и внешние причины.

**Благодарность.** Авторы благодарны сотрудникам Института демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) канд. экон. наук Т.Л. Харьковской и Е.А. Кваша за подготовку данных о смертности населения.

**Финансирование.** Исследование поддерживается Российским научным фондом, проект 14-17-00037 Государственного гидрологического института.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература (пп. 1–20, 27–30 см. References)

21. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Першаген Г. Новая эпидемиологическая модель по оценке воздействия аномальной жары и загрязненного атмосферного воздуха на смертность населения (на примере Москвы 2010 г.). *Профилактическая медицина*. 2015, №5, 15-19.



22. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Подольная М.А., Харькова Т.Л., Кваша Е.А. Волны жары в южных городах европейской части России как фактор риска преждевременной смертности населения. *Проблемы прогнозирования*. 2015. № 2. С. 56-67.
23. 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
24. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Под. ред. В. М. Катцова. Санкт-Петербург. 2017. 106 с.
25. 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
26. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Особенности воздействия волн жары и холода на смертность населения Красноярск – города с резко-континентальным климатом». *Сибирское медицинское обозрение*. 2017. 2. с. 90-96.

## References

1. Dematte J.E., O'Mara K., Buescher J., Whitney C.G., Forsythe S., McNamee T. et al. Near-Fatal Heat Stroke during the 1995 Heat Wave in Chicago. *Ann Intern Med*, 1998. 129: 173–181. doi: 10.7326/0003-4819-129-3-199808010-00001
2. Kovats R.S., Hajat S. Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annu Rev Public Health*, 2008. 29 (1): 41-55. doi:10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843.
3. Fouillet A., Rey G., Wagner V., Laaidi K., Empereur-Bissonnet P., Le Tertre A., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., De Crouy-Chanel P., Jouglu E., Hémon D. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int. J. Epidemiol.* 2008. 37:309-317.
4. Analitis A., Katsouyanni K., Biggeri A. et al. Effect of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE Project. *Am. J Epidemiology*, 2008; 168: 1397
5. Vaccini M., Biggeri A., Acceta G. et al. Heat effect on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 2008.19: 711-719
6. Schifano P., Cappai G., De Sario M., Michelozzi P., Marino C., Bargagli A.M., Perucci C.A. Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. *Environ. Health*, 2009 (8): 50.
7. Gosling S.N., Lowe J.A., McGregor G.R. Pelling, M.; Malamud, B.D. Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature *Climatic Change*, 2009. 92 (3-4): 299-341. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9441-x>
8. Muthers S., Matzarakis A., Koch E. Climate Change and Mortality in Vienna—A Human Biometeorological Analysis Based on Regional Climate Modeling. *Int J Environ Res Public Health*, 2010. 7 (7): 2965-2977. doi:10.3390/ijerph7072965.
9. Lim J.-S. et al., Almeida S.P., Casimiro E., Calheiros J. Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environ Health*, 2010. 9 (12) DOI:10.1186/1476-069X-9-12;
10. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramón M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iniguez C, Perucci C. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health*, 2010; 9:37. DOI:10.1186/1476-069X-9-37.
11. Laaidi K., Zeghnoun A., Dousset B. et al. The Impact of Heat Islands on Mortality in Paris during the August 2003 Heat Wave. *Environmental Health Perspectives*, 2012. 120 (2): 254-259. doi:10.1289/ehp.1103532.
12. de'Donato F.K., Leone M., Scortichini M., De Sario M., Katsouyanni K., Lanki T., Basagaña X., Ballester F., Åström C., Paldy A. Changes in the effect of heat on mortality in the last 20 years in nine European cities. results from the phase project. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015. 12: 15567-15583.
13. Basarin B., Lukić T., Matzarakis A. Quantification and assessment of heat and cold waves in Novi Sad, Northern Serbia. *Int J Biometeorol*, 2016. 60 (1): 139-150. doi:10.1007/s00484-015-1012-zChandran et al., 2017;
14. Ruuhela R., Jylhä K., Lanki T., Tiittanen P., Matzarakis A., Biometeorological assessment of mortality related to extreme temperatures in Helsinki region, Finland, 1972–2014. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017. 14 (8): E944. doi:10.3390/ijerph14080944
15. Revich B., Shaposhnikov D. Temperature-induced excess mortality in Moscow, Russia. *Int J Biometeorol*, 2008. 52:367–374.
16. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Extreme temperature episodes and mortality in Yakutsk, Eastern Siberia. *Rural and Remote Health*, 2010, 10:1338 (online)
17. Shaposhnikov D., Revich B., Meleshko V., Govorkova V., Pavlova T., Climate Change may Reduce Annual Temperature-Dependent Mortality in Subarctic: A Case Study of Archangelsk, Russian Federation. *Environment and Natural Resources Research*, 2011. 1 (1): 75-91.
18. Shaposhnikov D., Revich B., Meleshko V., Govorkova V., Pavlova T., Climate Change may Reduce Annual Temperature-Dependent Mortality in Subarctic: A Case Study of Archangelsk, Russian Federation. *Environment and Natural Resources Research*, 2011. 1 (1): 75-91.
19. Shaposhnikov D., Revich B., Bellander T. et al. Mortality Related to Air Pollution with the Moscow Heat Wave and Wildfire of 2010. *Epidemiology*, 2014a. 25 (3): 359–364. <http://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000090>.
20. Shaposhnikov D., Revich B., Gurfinkel Y., Naumova E. The influence of meteorological and geomagnetic factors on acute myocardial infarction and brain stroke in Moscow, Russia. *Int J Biometeorol*, 2014b.58: 799–808.
21. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Pershagen G, New epidemiological model for assessment of the impact of extremely hot weather and air pollution on mortality (in case of the Moscow heat wave of 2010). *Profilakticheskaya Meditsina* 2015 (5): 15-19.
22. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Podol'naya M.A., Khor'kova T.L., Kvascha E.A. Heat waves in southern cities of European Russia as a risk factor for premature mortality. *Studies on Russian Economic Development* 2015 (2): 56–67.
23. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Cold waves in southern cities of European Russia and premature mortality. *Studies on Russian Economic Development*. 2016 (2): 125–131.
24. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Ed. VF Katzov. S. Peterburg. 2017. 106 P.
25. Varakina Zh. L., Yurasova E.D., Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Vyazmin A.M. Air temperature impact on mortality in Arkhangelsk in 1999-2008. *Human Ecology*. 2011. 6: 28-36
26. Revich BA, Shaposhnikov DA. Influence features of cold and heat waves to the population mortality – the city with sharply continental climate. *Siberian Medical Review*. 2017(2):84-90.
27. Steadman RG. A universal scale of apparent temperature. *J Clim Appl Meteorol*, 1984. 23:1674–1687.
28. Allsop, D., Morris, R., Calculation of the 1971 to 2000 Climate Normals for Canada, Meteorological Service of Canada, [http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/prods\\_servs/normals\\_documentation\\_e.html](http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/prods_servs/normals_documentation_e.html)
29. Deschene's O, Moretti E. Extreme Weather Events, Mortality, and Migration. *Rev Econ Stat*. 2009;91:659-81. doi:10.3386/w13227
30. Akaike, H., 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. International symposium on information theory 267–281. doi:10.1007/978-1-4612-1694-0