

УДК 551.583

ВОЛНЫ ТЕПЛА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ КАК ФАКТОР ДИСКОМФОРТНОСТИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

© 2017 г. Вера В. Виноградова

Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: vvvinog@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.06.2016 г.

Аннотация. Оценка изменения числа случаев, интенсивности и продолжительности волн тепла в летний период (июнь–август) на территории России для различных периодов с 1951 до 2010 гг. проводилась по данным метеорологической сети. Определение критериев экстремальных явлений зависят от выбора пороговых значений. В настоящей работе рассматриваются пороговые значения для определения волн тепла, как значения 95-й перцентили распределения максимальной суточной температуры. Выбор критерия связан с его универсальностью, поскольку значительная протяженность территории России с севера на юг не позволяет выбрать одно критическое значение температуры воздуха, определяющее наступление волны тепла, для всей территории. Анализ полученных результатов позволяет говорить об увеличении числа дней с аномально высокими температурами, начиная с 1990-х годов. Наиболее значительный рост отмечается на Европейской территории России и на Дальнем Востоке. Волны тепла классифицированы по уровню дискомфорта. Неблагоприятное воздействие этого фактора на человека в последние годы усиливается. Показано нарастание тепловой нагрузки в период современного потепления климата до абсолютно и экстремально неблагоприятных значений в основном за счет увеличения числа дней с экстремально высокими температурами. Эти изменения характерны для районов, расположенных на северо-востоке страны и в Европейской части России.

Ключевые слова: волны тепла, максимальная суточная температура, дискомфорт, пороговые значения, потепление климата.

DOI: 10.7868/S0373244417040065

HEAT WAVES IN RUSSIA AS THE UNCOMFORTABLE FACTOR OF THE ENVIRONMENT

Vera V. Vinogradova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

e-mail: vvvinog@yandex.ru

Received June 09, 2016

Abstract. Assessment of change of the number, intensity and duration of heat waves during summer (June–August) on the territory of Russia for various periods from 1951 to 2010 was carried out according to the meteorological network. Defining the criteria of extreme events depends on the choice of thresholds. In this paper the thresholds for determining the heat waves are considered as the values of 95th percentile of maximum daily temperature distribution. The choice of criterion is associated with its versatility, because a significant length of Russia from North to South does not permit to select the only critical value of temperature that determines the onset of the heat wave for the whole territory. Analysis of the results shows an increase in the number of days with abnormally high temperatures, since the 1990s. The most significant increase is seen in the European part of Russia and the Far East. Heat waves were classified by the level of discomfort. The adverse impact of this factor on human increased nowadays. The increase in heat load in the period of contemporary climate warming to the absolutely and extremely unfavorable values mainly due to the increase in the number of days with extremely high temperatures are shown. These changes are characteristic for areas located in the Northeast and in the European part of Russia.

Keywords: heat waves, the maximum daily temperature, discomfort, thresholds, climate warming.

Введение. Волны тепла (или волны жары) являются крупными и опасными аномалиями климата. Поэтому оценка динамики волн тепла очень актуальна как в нашей стране, так и в мире. Исследования, проводимые во всем мире, показывают, что в настоящее время наблюдается значительный рост экстремальности климата, одним из проявлений которого является увеличение повторяемости и интенсивности волн тепла и холода. Воздействие волн тепла на человека, его здоровье, различные отрасли хозяйства и природу трудно переоценить. Избыточные тепловые нагрузки вызывают психологический стресс, влияющий на производительность труда, и могут вызывать рост числа насильственных преступлений [14]. Высокие температуры связаны с увеличением конфликтов и на межличностном уровне, и на уровне общества. Кроме того, высокие температуры оказывают существенное влияние на экономику. Исследование в некоторых округах США показало, что экономическая продуктивность отдельных дней снижается на 1.7% на каждый градус Цельсия при температуре выше 15 °C (59° F) [13]. Аномально высокие температуры вызывают также пиковые нагрузки на электросети, повреждают железные дороги и автомагистрали.

Волны тепла исследуются с самых разных сторон – от причин и предпосылок возникновения до последствий и прогнозов. Особое внимание уделяется определению критериев волн тепла и установлению уровней опасности (тревоги), которые передаются соответствующим службам (управление, медицина, полиция, энергетика и т.д.).

Определение критериев экстремальных явлений зависят от выбора пороговых значений. Один из подходов к выбору пороговых значений связан с определением экстремальных явлений как редких, то есть принадлежащих крайним областям распределения метеорологической величины, вероятности попадания в которые малы. Обычно они выбираются, как процентиля функции распределения, например, 10, 5, или 1% для экстремальных отрицательных аномалий (и 90, 95, 99% – для положительных). Другой подход основан на критических значениях, определяемых исходя из порогов неблагоприятного воздействия на природные или технические системы [17] (например, температура выше 30 °C в течение 5 дней и более для волн тепла [3]).

В последнее время значительное внимание уделяется прогнозной оценке волн тепла в середине и в конце столетия при потеплении климата по модельным сценариям. Большинство зарубежных работ базируется на модельных оценках климата,

которые показывают значительный рост волн тепла в середине и в конце этого столетия [16].

Значительное число исследований в России и за рубежом посвящено изучению зависимости смертности от температуры воздуха, в частности от волн тепла [7–10]. Важность этой связи показали события августа 2003 г. в Западной Европе, когда волна жары повлекла за собой свыше 70 тыс. дополнительных случаев смерти [12]. Похожая ситуация возникла на Европейской части России летом 2010 г., когда волна тепла наблюдалась непрерывно в течение более 40 суток. Гипертермия стала мощным стрессом для здоровья населения. Анализ помесечных данных о смертности населения по регионам (по данным Росстата) показал, что дополнительная смертность в июле–августе 2010 г. составила 54000 случаев. Во время этой волны жары в Москве произошло резкое увеличение числа случаев смерти – на 11 тыс. дополнительно (по сравнению с июлем–августом 2009 г.) [7].

Целью работы является оценка изменений количества, интенсивности и продолжительности волн тепла на территории России и оценка этих волн как фактора дискомфорта природной среды.

Материалы и методика. Оценка изменения числа случаев, интенсивности и продолжительности волн тепла на территории России для различных периодов с 1951 до 2010 г. проводилась по данным метеорологической сети из архива ВНИИГМИ–МЦД (www.meteo.ru). Были использованы ежедневные данные 531 метеостанций для территории России за летний период (июнь–август).

В настоящей работе рассматриваются пороговые значения для определения волн тепла, как значения 95 процентиля распределения максимальной суточной температуры. Для выделенных по данному критерию случаев проведена оценка изменения количества, интенсивности и продолжительности волн тепла за летний период (июнь–август) на территории России для различных периодов с 1951 до 2010 г.

Выбор критерия связан с его универсальностью, поскольку в связи со значительной протяженностью территории России с севера на юг выбор критического значения температуры воздуха, определяющей наступление волны тепла, вызывает определенные затруднения. Так, для северных районов, как было показано в работах [2, 11, 15], под волной тепла понимают период длительностью, по крайней мере, пять последовательных дней, когда максимальная температура

превышает 25 °С, а для южных регионов критическое значение максимальной температуры превышает 32 °С.

Известно, что распределение метеорологических элементов, в частности, температуры воздуха, в любые месяцы года хорошо описывается функцией нормального распределения [4–6].

В качестве базовых были выбраны два периода 1951–1980 гг. и 1961–1990 гг., для которых были рассчитаны выборочное среднее \bar{x} и дисперсия σ^2 всех значений летних максимальных температур. Далее, из предположения нормальности распределения температур определялись x_α и $x_{1-\alpha}$ – квантили для распределения $N(x; \sigma^2)$ из формулы:

$$x_\alpha = \frac{x_\alpha^0 - \bar{x}}{\sigma}, \quad (1)$$

где x_α^0 – соответствующая α -квантиль стандартного нормального распределения. Волной тепла называется значение температуры, превышающее соответствующее значение $x_{1-\alpha}$. Значение α задавалось равным 0.05. Подсчет количества волн тепла для периода 1981–2010 гг. проводился с использованием значения квантилей, найденных по первому базовому периоду 1951–1980 гг. Таким образом сравнивались условия до начала современного потепления климата с условиями во время потепления. А для периодов 1991–2000 гг., 2001–2010 гг., 1991–2010 гг. сравнение шло по базовому периоду 1961–1990 гг. (т.е. для среднесезонного периода, рекомендованного ВМО).

Для каждого периода определялось среднее за период число дней с максимальной температурой, превышающей пороговое значение, соответствующее 95-й перцентили функции распределения, среднее количество волн тепла продолжительностью три дня и более, максимальное число дней в волне тепла и максимальная температура в волне тепла. Динамика характеристик волн тепла при современном потеплении климата оценивалась по изменению всех перечисленных

параметров по сравнению с базовым периодом. Значимость изменений определялась по критерию Стьюдента. Для всех рассчитанных параметров были построены карты различных характеристик волн тепла для условий современного потепления климата и условий до его потепления.

Очевидно, что волны тепла являются фактором, существенно влияющим на условия жизнедеятельности населения. Поэтому мы попытались установить универсальный для всей территории России критерий воздействия волн тепла на человека и определить неблагоприятные районы по этому фактору и районы, где рост температуры улучшает условия.

Для этого из всех характеристик волн тепла были выбраны три параметра, отражающие их количество, продолжительность и интенсивность (средняя максимальная температура). Значения каждого параметра были разделены на 6 градаций, используя среднее значение параметра и среднеквадратическое отклонение, рассчитанное по всем метеостанциям на территории России: $x \pm \sigma$, $x \pm 2\sigma$, $x \pm 3\sigma$ [4]. Значения градаций и уровень воздействия показателя приведены в табл. 1.

Критерии для балльной оценки волн тепла как фактора дискомфорта природной среды были установлены следующим образом: из трех параметров волн тепла выбирался максимальный балл, позволяющий учесть наибольший уровень неблагоприятного воздействия, при этом средняя максимальная температура в волне тепла должна быть не ниже 25 °С. Ведь даже для северных стран температура ниже 25 °С является хорошей погодой и не может считаться волной тепла [1, 2]. Для северных районов повышение температуры до 25 °С можно считать благоприятным фактором, улучшающим условия жизни людей. По результатам балльной оценки были построены карты волн тепла как фактора дискомфорта для среднесезонных условий и периода современного потепления на территории России.

Таблица 1. Градации волн тепла как фактора дискомфорта природной среды

Критерий дискомфорта	Балл	Число дней с $T_{\max} > 95\%$	Количество волн тепла, более 3 дней	Максимальная температура в волне
Абсолютно неблагоприятная	6	≥ 7.0	≥ 1	≥ 38.0
Экстремально неблагоприятная	5	6.1–6.9	0.8–0.99	33.9–37.9
Неблагоприятная	4	5.1–6.0	0.6–0.79	30.0–33.8
Условно неблагоприятная	3	4.1–5.0	0.4–0.59	25.0–29.9
Благоприятная	1	≤ 4.0	≤ 0.39	≤ 24.9

Результаты. Волны тепла в период современного потепления климата. В период 1951–1980 гг. летом (июнь–август) на территории России отмечалось в среднем 3–4 дня с максимальными температурами, превышающими пороговое значение. Максимальное количество таких дней (5–6 дней) наблюдалось севернее 60° с.ш. При этом на данной территории средняя температура в аномально теплые дни была около 20 °С. С увеличением интенсивности потепления (1981–2010 гг.) число дней с аномально высокими температурами возрастает практически на всей территории России, за исключением юга Западной Сибири и Красноярского края. На рис. 1а показано значимое изменение числа дней с высокими температурами воздуха для периода 1981–2010 гг., по сравнению с периодом 1951–1980 гг. Рост числа дней с высокими температурами отмечается на большей части территории России. На Европейской территории, на юге Читинской области, в Тыве, на Чукотке и Камчатке эти изменения максимальны и в среднем за 30 лет составляют 2–4 дня.

Сокращение числа дней с аномально высокими температурами наблюдалось на Кольском полуострове, на севере Архангельской области, на Таймыре и на юге Западной Сибири (см. рис. 1а).

Анализ полученных результатов позволяет говорить о том, что начиная с 1990-х годов началось интенсивное увеличение числа дней с аномально высокими температурами. Так, в 2001–2010 гг. существенно возрастает число жарких дней по сравнению с предыдущим десятилетием (1991–2000 гг.) (рис. 1б). При этом самые значительные изменения (более 5 дней) наблюдаются на Европейской территории России (ЕТР), в Забайкалье, на Чукотке и на Камчатке.

При этом на юге Западной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (за исключением побережья Приморского края) число дней с аномально высокой температурой сокращается на 2–4 дня (см. рис. 1б).

Надо отметить, что при потеплении увеличение числа дней с аномально жаркой погодой проходило неравномерно – как во времени, так и в пространстве. В конце XX в. рост положительных аномалий температуры отмечался в основном на юге Европейской территории, на юге Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. На севере ЕТР, Западной и Восточной Сибири число таких дней уменьшалось. В начале XXI в. существенный рост количества жарких дней на всей ЕТР во многом связан с летними температурными аномалиями (волнами тепла) 2001, 2002, 2007 и особенно 2010 г. [2]. Продолжился рост числа жарких дней

в Чукотском АО и в Забайкалье, а в южной половине Сибири число таких дней уменьшилось.

Рассматривая приведенные выше особенности, необходимо отметить, что при потеплении климата наблюдалось значимое увеличение количества длительных волн тепла продолжительностью более трех дней. Наиболее существенное увеличение продолжительности волн тепла отмечалось в тех же регионах, а именно на ЕТР, в Забайкалье и северной части Дальнего Востока, причем наиболее значительный рост наблюдался в начале XXI в.

Максимальная продолжительность волн тепла значимо увеличилась при потеплении (1981–2010 гг.) по сравнению с 1951–1980 гг. во многих регионах России, за исключением Кольского полуострова, северо-запада ЕТР, Таймыра и юга Западной и Восточной Сибири (рис. 2). На Европейской территории, южнее 60° с.ш. максимальная продолжительность волны тепла во второй период увеличилась на 10–15 дней, а в Центрально-Черноземных областях – на 20 дней. Основной вклад в эти изменения внесла жара 2010 г. На севере ЕТР рост продолжительности волн тепла не значителен – 1–2 дня, а на Кольском полуострове максимальные волны тепла стали короче на 5–10 дней (см. рис. 2).

На остальной территории России рост продолжительности волн тепла не столь велик. Наибольшие значения отмечаются на севере Якутии, в Чукотском АО и Приморском крае и составляют 4–6 дней.

Важной характеристикой волны тепла является средняя температура этой волны, так как только сочетание высокой температуры и большой продолжительности делает волну тепла опасной. До начала потепления (1951–1980 гг.) средняя максимальная температура в волне тепла в южной и центральной части Сибири и в Приморском крае составляла 26–29 °С, на юге ЕТР – до 32 °С, а на остальной территории 22–24 °С.

При потеплении климата (1981–2010 гг.) значимый рост средней максимальной температуры в волне тепла наблюдался на большей части территории. Наиболее значительные изменения (более 5 °С) происходили в центре ЕТР, на Урале и на юге Западной Сибири, в Чукотском АО, на юге Амурской области и Хабаровского края, где рост температуры составил около 5 °С (рис. 3а). На севере и в южной части ЕТР (Нижнее Поволжье, Ростовская область, Ставропольский край) и на юге Восточной Сибири средняя температура волны тепла понизилась на 5 °С (см. рис. 3а).

В начале XXI в. (2001–2010 гг.) – на пике потепления рост средней максимальной температуры

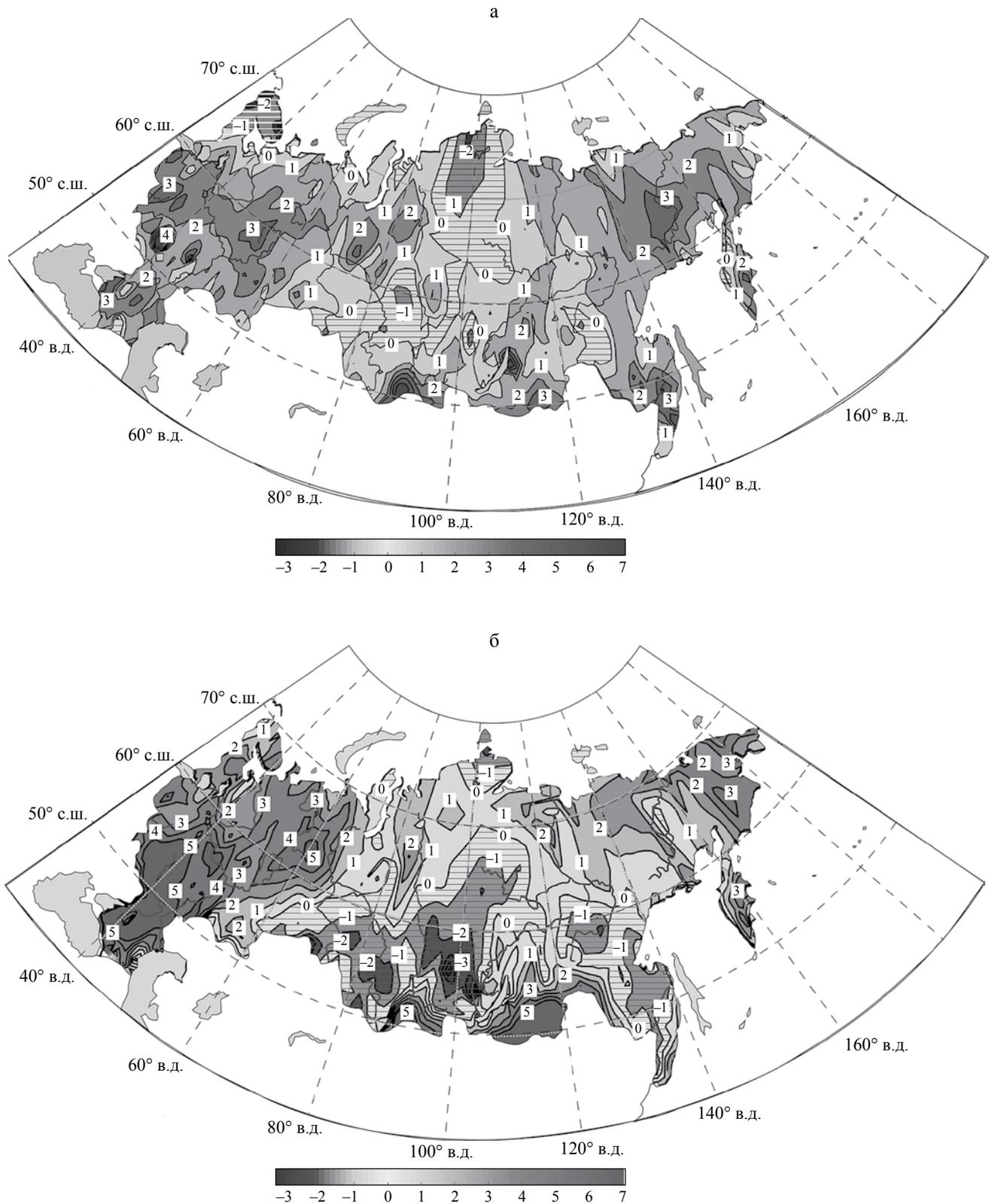


Рис. 1. Изменение числа дней с максимальной температурой, превышающей 95-ю процентиль функции распределения в 1981–2010 гг. по сравнению с 1951–1980 гг. (а); в 2001–2010 гг. по сравнению с 1991–2000 гг. (б). Отрицательные значения показаны штриховкой.

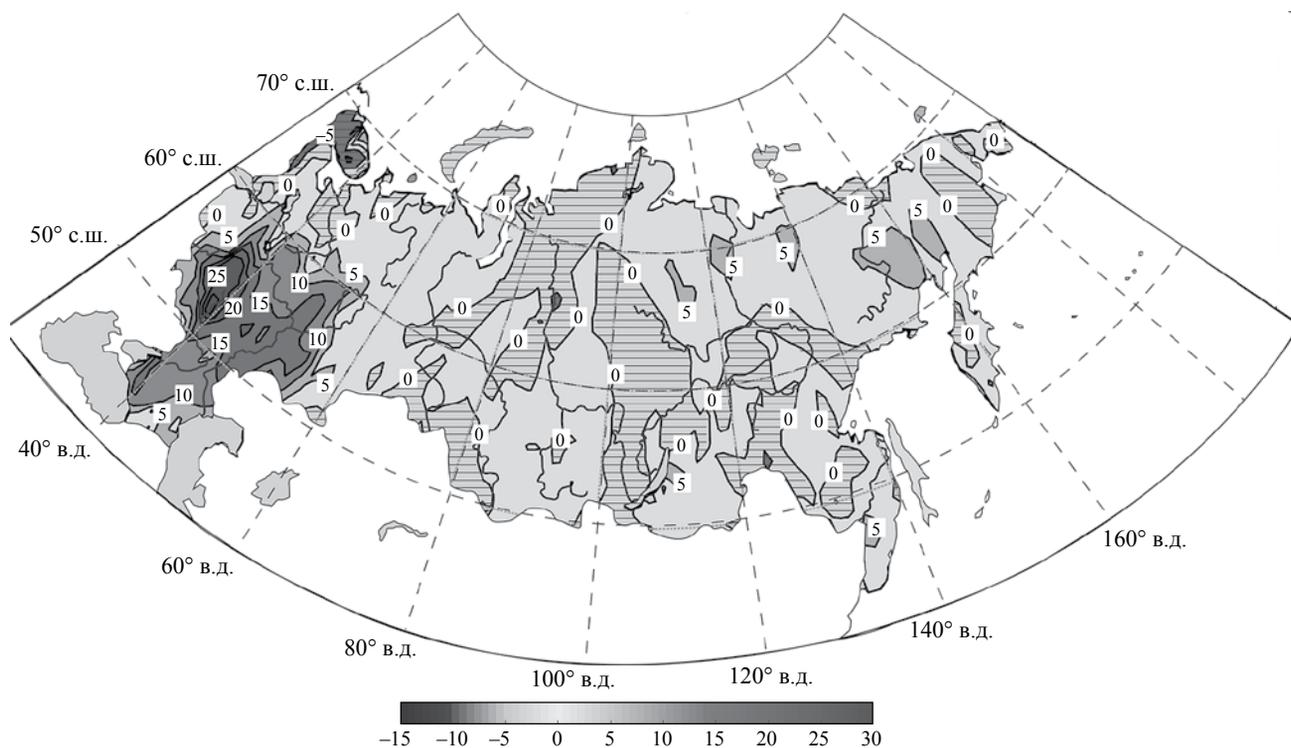


Рис. 2. Изменение максимального числа дней с волнами тепла в период 1981–2010 гг. по сравнению с периодом 1951–1980 гг.

Отрицательные значения показаны штриховкой.

в волне тепла еще усилился, особенно на ЕТР, где по сравнению с предыдущим десятилетием, в восточных и южных районах он достигал 10–15 °С (рис. 3б). На северо-востоке и юге Сибири температура в волне тепла увеличилась на 5 °С, а на остальной территории за Уралом примерно на столько же понизилась (см. рис. 3б).

Волны тепла как фактор дискомфорта современного климата. На основании полученного критерия дискомфорта волн тепла было исследовано количество станций, на которых наблюдались волны тепла различной степени неблагоприятности (табл. 2).

Анализ полученных результатов показывает, что с началом потепления возрастает количество

станций, на которых отмечаются волны тепла. Причем в 1951–1980 гг. волны тепла наблюдались менее чем на половине станций и в основном они относились к условно неблагоприятной и неблагоприятной градациям 36 и 11%, соответственно, а экстремально неблагоприятные были всего на 1% станций. А при потеплении климата (1981–2010 гг.) количество станций, для которых в летний период характерны волны тепла, возрастает на 11% (в среднем за период) (см. табл. 2). Также возрастает количество волн тепла неблагоприятных градаций (абсолютно неблагоприятные – 11% станций, экстремально неблагоприятные – 16% станций), в основном за счет увеличения числа

Таблица 2. Число метеостанций на территории России, где наблюдались волны тепла различной дискомфорта¹

Критерий дискомфорта	Балл	Период, годы			
		1951–1980	1981–2010	1991–2010	2001–2010
Абсолютно неблагоприятная (%)	6	0 (0%)	56 (11%)	140 (26%)	206 (39%)
Экстремально неблагоприятная (%)	5	7 (1%)	84 (16%)	64 (12%)	53 (10%)
Неблагоприятная (%)	4	57 (11%)	92 (17%)	96 (18%)	69 (13%)
Условно неблагоприятная (%)	3	190 (36%)	81 (15%)	48 (9%)	40 (8%)
Сумма (%)	18	254 (48%)	313 (59%)	348 (66%)	368 (69%)

Примечание: ¹Общее число станций 531.

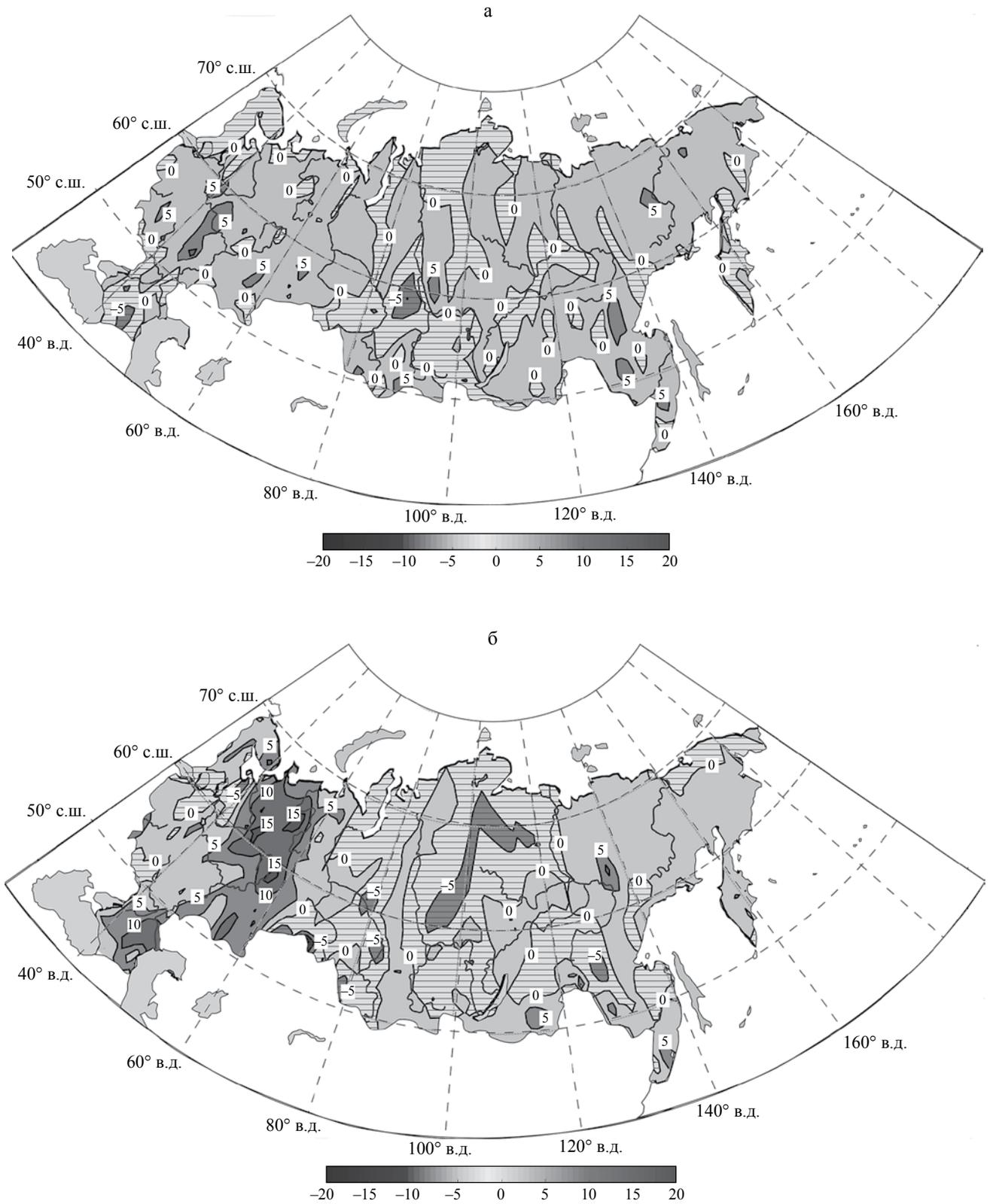


Рис. 3. Изменение средней за период максимальной температуры в волне тепла в период 1981–2010 гг. по сравнению с периодом 1951–1980 гг. (а); 2001–2010 гг. и 1991–2000 гг. (б). Отрицательные значения показаны штриховкой.

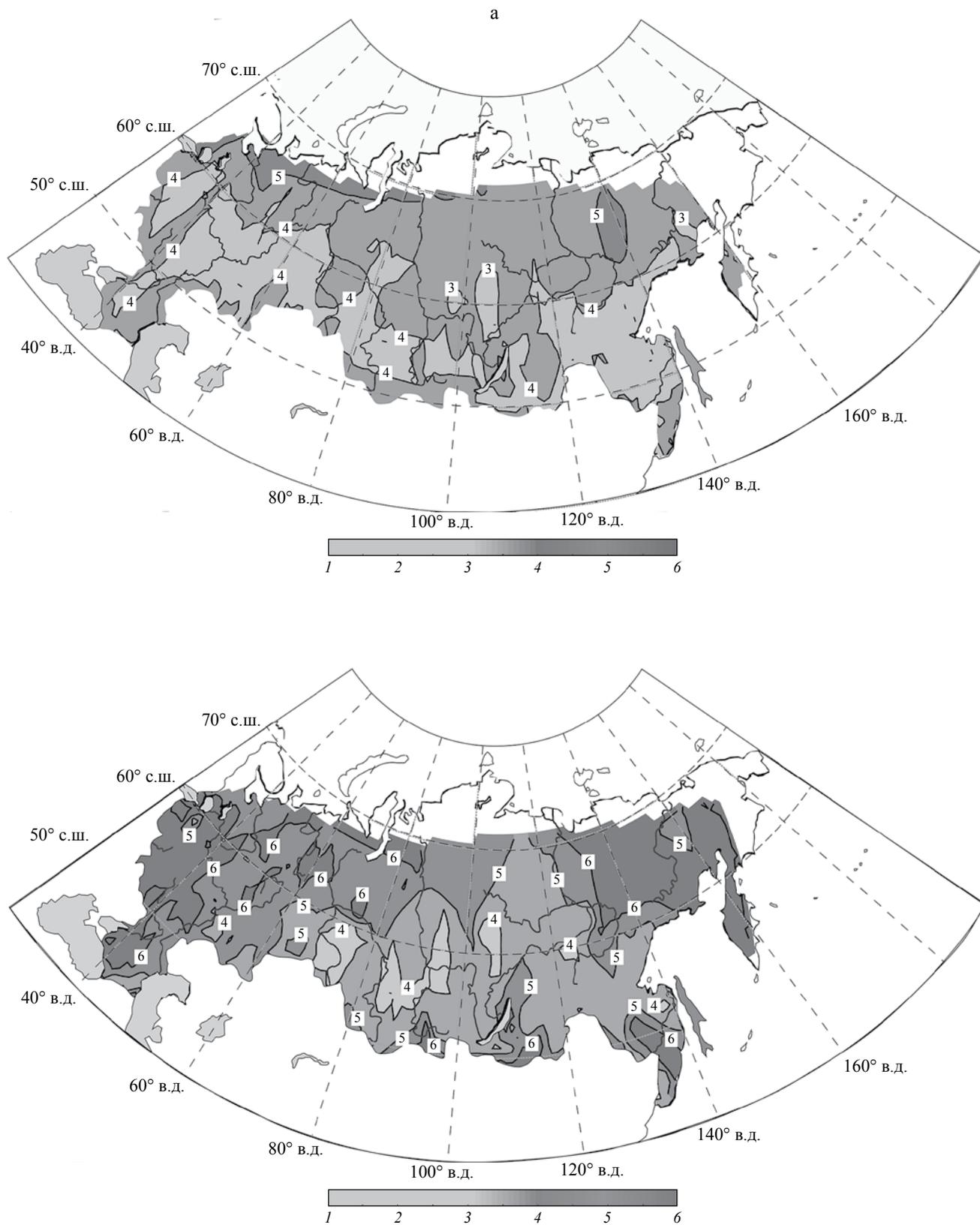


Рис. 4. Волны тепла (баллы) за период: (а) 1951–1980 гг.; (б) 1981–2010 гг.

дней с высокими температурами, а условно неблагоприятных – сокращается до 15%.

В 2001–2010 гг. потепление усиливается, и волны тепла наблюдаются уже на 69% станций, причем особенно сильно возрастает количество станций (до 39%), где отмечаются абсолютно неблагоприятные условия.

Построенные с использованием критерия дискомфорта карты волн тепла для среднемесячных условий и современного потепления позволяют выделить на территории России регионы, наиболее подверженные влиянию волн тепла (рис. 4).

Сравнение карт показывает существенное увеличение волн тепла на большей части территории России и особенно на северо-востоке страны и в европейской части, где до начала потепления волны тепла практически не наблюдались, за исключением южных районов (см. рис. 4а). Для северных районов волны тепла нельзя однозначно считать неблагоприятным фактором. Для этих территорий умеренное повышение температуры до 25 °С можно считать благоприятным фактором, улучшающим условия жизни. Но даже в этих районах волны тепла абсолютно и экстремально неблагоприятных градаций, с температурой выше 34 °С (см. табл. 1) являются неблагоприятным фактором для жизни людей. На юге Сибири волны тепла ослабевают и относятся к условно неблагоприятным (см. рис. 4б).

Выводы.

1. Исследование волн тепла на территории России проводилось для периода современного потепления климата (1981–2010 гг.) и периода до начала потепления (1951–1980 гг.). В качестве порогового значения для определения волн тепла рассматривались значения максимальной суточной температуры, превышающие 95-ю перцентиль распределения максимальной температуры за базовый период (1951–1980 гг.). Увеличение числа дней с аномально жаркой погодой проходило неравномерно как во времени, так и в пространстве. В конце XX в. рост положительных аномалий температуры отмечался в основном на юге ЕТР, на юге Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. На севере ЕТР, Западной и Восточной Сибири число таких дней уменьшалось. В начале XXI в. существенный рост количества жарких дней на всей ЕТР во многом связан с летними температурными аномалиями 2001, 2002, 2007 и, особенно, 2010 года.

2. Увеличилось количество волн тепла продолжительностью более трех дней, а рост температуры в волне тепла составил 4–8 °С. Наиболее существенное увеличение продолжительности волн тепла отмечалось на ЕТР, в Забайкалье и на

северо-востоке России. Значительные изменения максимальной температуры происходили в центре ЕТР, на Урале, на юге Западной Сибири и в Чукотском АО. В начале XXI в. – на пике потепления рост средней максимальной температуры в волне тепла усилился, особенно на ЕТР, где в восточных и южных районах он достигал 10–12 °С.

3. В работе сделана попытка получения универсального для всей территории России критерия уровня неблагоприятного воздействия волн тепла, который бы учитывал их интенсивность, продолжительность и максимальную температуру. При этом учитывалось, что для северных районов повышение температуры до 25 °С и умеренные волны тепла не могут оцениваться как неблагоприятные. Показано нарастание тепловой нагрузки в период современного потепления климата до абсолютно неблагоприятных значений в основном за счет увеличения числа дней с температурами, превышающими 95-ю перцентиль функции распределения максимальной температуры. Эти изменения характерны для районов, расположенных на северо-востоке страны и в Европейской части России.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16–17–10236).

Acknowledgments. This study was supported by the Russian Science Foundation, project no. 16–17–10236.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградова В. В.* Воздействие климатических условий на человека в засушливых землях Европейской России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 2. С. 68–81.
2. *Виноградова В. В.* Волны тепла на Европейской территории России в начале XXI в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 47–55.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
4. *Исаев А. А.* Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Издательство Моск. ун-та, 1988. 247 с.
5. *Кобышева Н. В.* Косвенные расчеты климатических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 190 с.
6. *Кобышева Н. В.* Косвенные методы расчета климатических характеристик. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1976. 30 с.
7. *Ревич Б. А.* Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения Европейской части России летом 2010 года: результаты предварительной оценки // Экология человека. 2011. № 7. С. 3–9.
8. *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. Т. 18. № 5. С. 15–19.
9. Ревич Б. А., Шапошников Д. А., Токаревич Н. А. Изменения климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых городах России // Тр. Междунар. Конф. Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле. М.: Институт космических исследований РАН. 2013. Т. 1. С. 295–315.
 10. Шапошников Д. А., Ревич Б. А., Мелешко В. П., Говоркова В. А., Павлова Т. В., Варакина Ж. Л. Опыт прогнозирования ожидаемой дополнительной смертности при потеплении климата на примере города Архангельска // Экология человека. 2013. № 8. С. 17–23.
 11. Danmark får varme- og hedebølge”. dmi.dk. Danish Meteorological Institute. 22 July 2008. Retrieved 18 July 2013.
 12. Fouillet A., Rey G., Wagner M., Laaidi K., Empereur-Bissonnet K., Tertre L., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., De Crouy-Chanel P., Jouglu E., and Haymon 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 // Intern. J. of Epidemiology. 2008. V. 37. № 2. P. 309–317.
 13. Hsiang S. and Deryugina T. Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States // National Bureau of Economic Research working paper series: 1. 2014.
 14. John S. and Cooper C. Thermal stress in the U.S.A.: effects on violence and on employee behavior // Stress and Health. 2004. № 21 (1). P. 3–15.
 15. Jump up “Värmebölja Klimat Kunskapsbanken SMHI”. Smhi.se. Retrieved 17 July 2013.
 16. Meehl G. A. and Tebaldi C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century // Science. 2004. № 305. P. 994–997.
 17. Robinson P. J. On the Definition of a Heat Wave. // Journal of Applied Meteorology (American Meteorological Society). 2001. № 40 (4). P. 762–775.
 5. Kobysheva N. V. *Kosvennyye raschety klimaticheskikh kharakteristik* [Indirect Estimates of Climatic Characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1971. 190 p.
 6. Kobysheva N. V. *Kosvennyye metody rascheta klimaticheskikh kharakteristik* [Indirect Methods for Calculating the Climatic Characteristics]. Obninsk, 1976. 30 p.
 7. Revich B. A. Heat waves, air quality and mortality of population of European part of Russia in the summer of 2010: results of preliminary assessment. *Ekologiya Cheloveka*, 2011, no. 7, pp. 3–9. (In Russ.).
 8. 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 (case of the Moscow heat wave of 2010). *Profilakticheskaya Meditsina*, 2015, vol. 18, no. 5, pp. 15–19. (In Russ.).
 9. Revich B. A., Shaposhnikov D. A., Tokarevich N. A. Climate change, heat waves and cold as the risk factors for increased mortality in some Russian cities. In *Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii “Vliyanie kosmicheskoi pogody na cheloveka v kosmose i na zemle”* [Proceedings of the International Conference “The Impact of Space Weather on the Person in Space and on Earth”]. Moscow: 2013, vol. 1, pp. 295–315. (In Russ.).
 10. Shaposhnikov D. A., Revich B. A., Meleshko V. P., Govorkova V. A., Pavlova T. V., Varakina Zh. L. Experience in forecasting the expected extra mortality of climate warming on the example of the city of Arkhangelsk. *Ekologiya Cheloveka*, 2013, no. 8, pp. 17–23. (In Russ.).
 11. Danmark får varme- og hedebølge. Danish Meteorological Institute. 22 July 2008. URL: www.dmi.dk. Retrieved 18 July 2013.
 12. Fouillet A., Rey G., Wagner M., Laaidi K., Empereur-Bissonnet K., Tertre L., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., De Crouy-Chanel P., Jouglu E., Haymon 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. Epidemiology*, 2008, vol. 37, no. 2, pp. 309–317.

REFERENCES

1. Vinogradova V. V. Influence of climate conditions on the man in arid lands of European Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2012, no. 2, pp. 68–81. (In Russ.).
2. Vinogradova V. V. Heat waves in the European Russia at the beginning of the 21st century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 1, pp. 47–55. (In Russ.).
3. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [The Second Estimated Report of Roshydromet about Climate Changes and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet Publ., 2014. 1009 p.
4. Isaev A. A. *Statistika v meteorologii i klimatologii* [Statistics in Meteorology and Climatology]. Moscow: MSU Publ., 1988. 247 p.
5. Kobysheva N. V. *Kosvennyye raschety klimaticheskikh kharakteristik* [Indirect Estimates of Climatic Characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1971. 190 p.
6. Kobysheva N. V. *Kosvennyye metody rascheta klimaticheskikh kharakteristik* [Indirect Methods for Calculating the Climatic Characteristics]. Obninsk, 1976. 30 p.
7. Revich B. A. Heat waves, air quality and mortality of population of European part of Russia in the summer of 2010: results of preliminary assessment. *Ekologiya Cheloveka*, 2011, no. 7, pp. 3–9. (In Russ.).
8. 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 (case of the Moscow heat wave of 2010). *Profilakticheskaya Meditsina*, 2015, vol. 18, no. 5, pp. 15–19. (In Russ.).
9. Revich B. A., Shaposhnikov D. A., Tokarevich N. A. Climate change, heat waves and cold as the risk factors for increased mortality in some Russian cities. In *Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii “Vliyanie kosmicheskoi pogody na cheloveka v kosmose i na zemle”* [Proceedings of the International Conference “The Impact of Space Weather on the Person in Space and on Earth”]. Moscow: 2013, vol. 1, pp. 295–315. (In Russ.).
10. Shaposhnikov D. A., Revich B. A., Meleshko V. P., Govorkova V. A., Pavlova T. V., Varakina Zh. L. Experience in forecasting the expected extra mortality of climate warming on the example of the city of Arkhangelsk. *Ekologiya Cheloveka*, 2013, no. 8, pp. 17–23. (In Russ.).
11. Danmark får varme- og hedebølge. Danish Meteorological Institute. 22 July 2008. URL: www.dmi.dk. Retrieved 18 July 2013.
12. Fouillet A., Rey G., Wagner M., Laaidi K., Empereur-Bissonnet K., Tertre L., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., De Crouy-Chanel P., Jouglu E., Haymon 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. Epidemiology*, 2008, vol. 37, no. 2, pp. 309–317.
13. Hsiang S., Deryugina T. Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*: 1. 2014.
14. John S., Cooper C. Thermal stress in the USA: Effects on violence and on employee behavior. *Stress and Health*, 2004, no. 21 (1), pp. 3–15.
15. Jump up “Värmebölja Klimat Kunskapsbanken SMHI”. URL: smhi.se. Retrieved 17 July 2013.
16. Meehl G. A., Tebaldi C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, 2004, no. 305, pp. 994–997.
17. Robinson P. J. On the Definition of a Heat Wave. *J. Appl. Meteorol. (Am. Meteorol. Society)*, 2001, no. 40 (4), pp. 762–775.