ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2019, № 2, с. 3–19

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 551.583

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНДЕКС ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

© 2019 г. В. В. Виноградова

Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: vvvinog@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.06.2018 г.; после доработки 26.06.2018 г.; принята в печать 30.11.2018 г.

В работе использован универсальный индекс теплового комфорта (UTCI) для оценки биоклимата на территории России, инициированный Комиссией Международного общества биометеорологии. Индекс UTCI можно охарактеризовать как эквивалентную температуру окружающей среды (°C), которая оказывает такое же физиологическое воздействие на человека, как и фактическая окружающая среда. Оценка биоклиматических условий показана для территории России в период современного изменения климата (2001–2015 гг.). Условия холодного стресса (от низкого до экстремального) наблюдались почти на всей территории России примерно от 8 до 11 месяцев в году. В течение оставшейся части года условия нейтральные или комфортные. Период экстремального и очень высокого холодного напряжения сокращается во время современного потепления климата (по сравнению с периодом 1961–1990 гг.), особенно в Арктике, на европейской территории России, в Западной и Восточной Сибири. В то же время увеличивается период с нейтральными и комфортными тепловыми условиями.

Ключевые слова: универсальный индекс теплового комфорта (UTCI), холодовой стресс, тепловые нагрузки, изменение климата.

DOI: https://doi.org/10.31857/S2587-5566201923-19

ВВЕДЕНИЕ

Большинство оценок изменения климата за 1976–2012 гг. указывают на продолжающееся глобальное потепление, средняя скорость которого для суши Северного полушария составляет +0.328°C/10 лет [3]. На территории России скорость потепления составляла +0.43°C/10 лет. Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно уменьшилась [3]. Развитие многих регионов России лимитируется неблагоприятными факторами природной среды и, в частности, тепловым и холодовым стрессом. Такие регионы, согласно карте “Районирования территории Севера России по природно-климатическому фактору”, занимают 68% территории страны [2, 4].

В условиях меняющегося климата возрастает актуальность оценки на территории России биоклиматических условий, показывающих непосредственное и комплексное воздействие основных климатических показателей (скорости ветра, солнечной радиации, влажности и температуры воздуха) на человека. Для этого был использован универсальный индекс теплового комфорта (UTCI) [6–14]. Индекс UTCI выражен как эквивалентная температура окружающей среды (°C), которая оказывает такое же физиологическое воздействие на человека, как и фактическая окружающая среда. Индекс прошел широкую апробацию в различных климатических условиях от Шпицбергена до Мадагаскара и показал хорошую чувствительность к изменениям окружающей среды, а именно, температуры, солнечной радиации, влажности и особенно скорости ветра. Индекс показывает реакцию человеческого организма на изменение этих параметров [7]. Сравнение индекса UTCI с другими известными биоклиматическими индексами показывает, что он хорошо коррелирует с индексами, которые были получены из различных моделей теплового баланса человека и хуже с индексами, основанными на относительно простых двухпараметрических формулах. Одной из возможных причин несоответствия является отсутствие радиационного фактора в уравнениях [7]. В отличие от других биоклиматических индексов, тесно связанных с температурой, индекс UTCI использует более современную модель теплоизоляции одежды. Также необходимо сказать, что индекс UTCI представляет биоклиматические условия в терминах, которые применимы для человека в широком диапазоне изменения климатических условий [7].

UTCI может применяться в ключевых областях биометеорологии человека, ежедневном прогнозировании, региональном планировании, экологической эпидемиологии; он также применим во всех климатических поясах [14]. В работе [11] с помощью индекса UTCI анализируется тепловая биоклиматическая изменчивость Европы и показана связь этой изменчивости со здоровьем человека, а также потенциал использования связи между UTCI и смертностью при разработке систем раннего предупреждения, основанных на воздействии тепловых волн на здоровье человека [11].

Целью работы является исследование биоклиматических условий на территории России в период современного изменения климата при помощи универсального индекса теплового комфорта (UTCI).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В настоящей работе для оценки биоклимата на территории России используется универсальный индекс теплового комфорта (UTCI). Инициированный Комиссией Международного общества биометеорологии и разработанный при поддержке Европейского союза, этот индекс направлен на оценку термических условий окружающей среды [6–14]. Он основан на многоузловой модели Fiala теплового баланса человека [10]. Индекс UTCI можно охарактеризовать как эквивалентную температуру окружающей среды (°C), которая оказывает такое же физиологическое воздействие на человека, как и фактическая окружающая среда [9]. Смещение или отклонение UTCI от температуры воздуха (T_a) зависит от фактических значений температуры воздуха, средней лучистой температуры (T_{mrt}), скорости ветра (v_a) и влажности, выраженной как давление водяного пара (e) или относительная влажность (R) [8]:

$$\mathrm{UTCI} = f\,(T_a;\ T_{mrt};\ v_a;\ e) = T_a + \Delta(T_a;\ T_{mrt};\ v_a;\ e).$$

При разработке индекса метеорологические и неметеорологические параметры (скорость обмена веществ и теплоизоляция одежды) для стандартных условий были определены следующим образом:

– скорость ветра (v) 0.5 м/с на высоте 10 м (примерно 0.3 м/с на 1.1 м),

– средняя температура излучения, равная температуре воздуха,

– давление водяного пара (e), соответствующее относительной влажности 50%, а при высокой температуре воздуха (> 29°C) постоянно и равно 20 гПа,

– активность человека, идущего со скоростью 4 км/ч (или приблизительно 1.1 м/с). Это обеспечивает скорость метаболизма 135 Вт/м^2.

Чувствительность UTCI к температуре, влажности, излучению и скорости ветра показывает, что он применим в условиях тепла и холода. UTCI классифицируется с точки зрения теплового воздействия на человека следующим образом [9]:

- выше +46°C – экстремальный тепловой стресс;
- от +38 до +46°C – очень сильный тепловой стресс;
- от +32 до +38°C – сильный тепловой стресс;
- от +26 до +32°C – умеренный тепловой стресс;
- от +18 до +26°C – комфорт;
- от +9 до +18°C – нет теплового стресса;
- от 0 до +9°C – слабый холодовой стресс;
- от –13 до 0°C – умеренный холодовой стресс;
- от –27 до –13°C – сильный холодовой стресс;
- от –40 до –27°C – очень сильный холодовой стресс;
- ниже –40°C – экстремальный холодовой стресс.

При помощи индекса UTCI проведена оценка биоклиматических условий на территории России в условиях меняющегося климата. Расчет суточных, среднемесячных и сезонных значений индекса UTCI для 512 метеорологических станций на территории России из архива ВНИИГМИ-МЦД [1] производился при помощи программного пакета BioKlima 2.6 [5]. Биоклиматические условия теплового комфорта исследовались для среднемноголетнего периода (1961–1990 гг.) и для периода современного потепления климата (2001–2015 гг.) и были построены соответствующие карты. Дополнительно оценивалась длительность воздействия термических условий различных градаций на человека в условиях меняющегося климата, в частности оценивалась длительность самых холодных (экстремальный холодовой стресс, очень сильный холодовой стресс, сильный холодовой стресс), холодных (умеренный и слабый холодовой стресс) условий и условий отсутствия холодового стресса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

UTCI был использован для оценки биоклиматических условий на территории России с точки зрения теплоощущения человека в различные сезоны. Карты, построенные для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.) и зимнего сезона (декабрь–февраль), показывают, что на всей территории России в этот период наблюдался холодовой стресс различных градаций (рис. 1а). Это хорошо согласуется с данными, приведенными в работе [14]. На очень значительной территории преобладал экстремальный холодовой стресс. Эта зона занимала север и северо-восток страны от севера Архангельской области до Чукотки, зна-

чительно расширяясь на юг (приблизительно до 60° с.ш.) в Якутии. Очень сильный холодовой стресс отмечался на Кольском полуострове, в Поволжье, на Урале и в Азиатской части страны, кроме юга Приморского края. На большей части европейской территории и на юге Приморского края зимние условия по индексу UTCI характеризовались как сильный холодовой стресс. Умеренный холодовой стресс наблюдался только на самом юге европейской территории, а именно на побережье Черного, Азовского, Каспийского морей и в Предкавказье (см. рис. 1а).

В начале XXI в. (2001–2010 гг.) при потеплении климата холодовой стресс немного ослабевает, особенно на европейской территории (рис. 1б). Практически на всей территории, за исключением севера Кольского полуострова и побережья Белого и Баренцева морей зимой наблюдается сильный холодовой стресс, а зона умеренного холодового стресса продвигается севернее 45° с.ш. На азиатской территории в северной половине преобладает экстремальный холодовой стресс, а на остальной территории – очень сильный холодовой стресс. Причем области, где отмечается экстремальный холодовой стресс, немного сокращаются, а области с очень сильным холодовым стрессом, соответственно, расширяются (см. рис. 1б).

В переходные сезоны (весной и осенью) для среднемноголетних условий в Арктической зоне остаются условия очень сильного холодового стресса, на остальной территории – сильного и умеренного холодового стресса, а южнее 50° с.ш. – слабого холодового стресса. При современном потеплении климата расширяются и продвигаются к северу более благоприятные условия.

Летом (июнь–август) индекс UTCI представлен тремя градациями теплоощущения: от умеренного холодового стресса на Арктических островах и на побережье Северного Ледовитого океана до градации “нет теплового стресса”, которая включает в себя и зону комфорта (от +18 до +26°C) (рис. 2а). На большей части территории России в середине XX в. преобладали условия отсутствия теплового стресса. На юге европейской территории (южнее 50° с.ш.) наблюдались комфортные условия, а севернее 65° с.ш. и на Камчатке, Чукотке и на побережье Охотского моря – условия слабого холодового стресса. При современном потеплении климата индекс теплового комфорта увеличивается, и условия становятся более благоприятными. Районы, где преобладали условия умеренного и слабого холодового стресса сокращаются, а зона комфорта на европейской территории продвигается на 2°–3° на север. Эта зона также появляется на юге Амурской области и юго-западе Приморского края (рис. 2б).

На рис. 3 показана средняя за период продолжительность различных градаций индекса теплового комфорта для широтных и долготных секторов на территории России. Заметно поступательное уменьшение продолжительности неблагоприятных условий для каждого сектора при современном потеплении климата, по сравнению со среднемноголетними условиями.

Для среднемноголетних условий продолжительность условий экстремального холодового стресса в широтной зоне 70°–80° с.ш. составляла от 4.7 месяца не европейской территории (30°–60° в.д.) до 6 месяцев – в Западной Сибири (60°–90° в.д.). В широтной зоне 60°–70° с.ш. такие условия наблюдались в Западной Сибири – 1.4 месяца, а на Дальнем Востоке (120°–150° в.д.) и Чукотке (150° в.д.–170° з.д.) – 2.3 месяца. В начале XXI в. длительность условий экстремального холодового стресса уменьшилась на всей территории на 1.5–2 месяца, а на европейской территории – на 3.4 месяца. Причем в Сибири и на Дальнем Востоке основное сокращение наблюдалось в 2001–2010 гг., а в 2011–2015 гг. оно замедлилось. На европейской территории и в Западной Сибири уменьшение длительности экстремального холодового стресса продолжилось с той же скоростью и в 2011–2015 гг. (см. рис. 3).

Очень сильный холодовой стресс наблюдался на широтах 70°–80° с.ш. 2–3 месяца, а на широтах 60°–70° с.ш. – 2.3–4 месяца для среднемноголетних условий. Для более южных широт 50°–60° с.ш. от 1 месяца на европейской территории до 3 месяцев в азиатской части страны. Еще южнее (40°–50° с.ш.) такие условия отмечались восточнее 90° в.д. от 1.5 до 2.5 месяцев. При потеплении климата севернее 70° с.ш. на европейской территории продолжительность сильного холодового стресса увеличивается до 5.3 месяца, а на остальной территории – до 3 месяцев для периода 2011–2015 гг. В этот же период в широтных зонах 60°–70° с.ш. и 50°–60° с.ш. длительность таких условий уменьшается на 1–1.5 месяца. На юге России (50°–40° с.ш.) на европейской территории такие условия уже не наблюдаются, а на юге азиатской части (90°–150° в.д.) продолжительность условий очень сильного холодового стресса в период 2001–2010 гг. уменьшается приблизительно на 1 месяц, а в 2011–2015 гг. снова начинает расти из-за похолодания зимних сезонов (см. рис. 3).

Сильный холодовой стресс наблюдался на всей территории России, и его продолжительность составляла от 2 до 4 месяцев, причем для северных и северо-восточных районов такие условия характерны для переходных сезонов (весна, осень), а для западных и южных областей – в основном для зимы (см. рис. 3). Например, на юге европейской территории

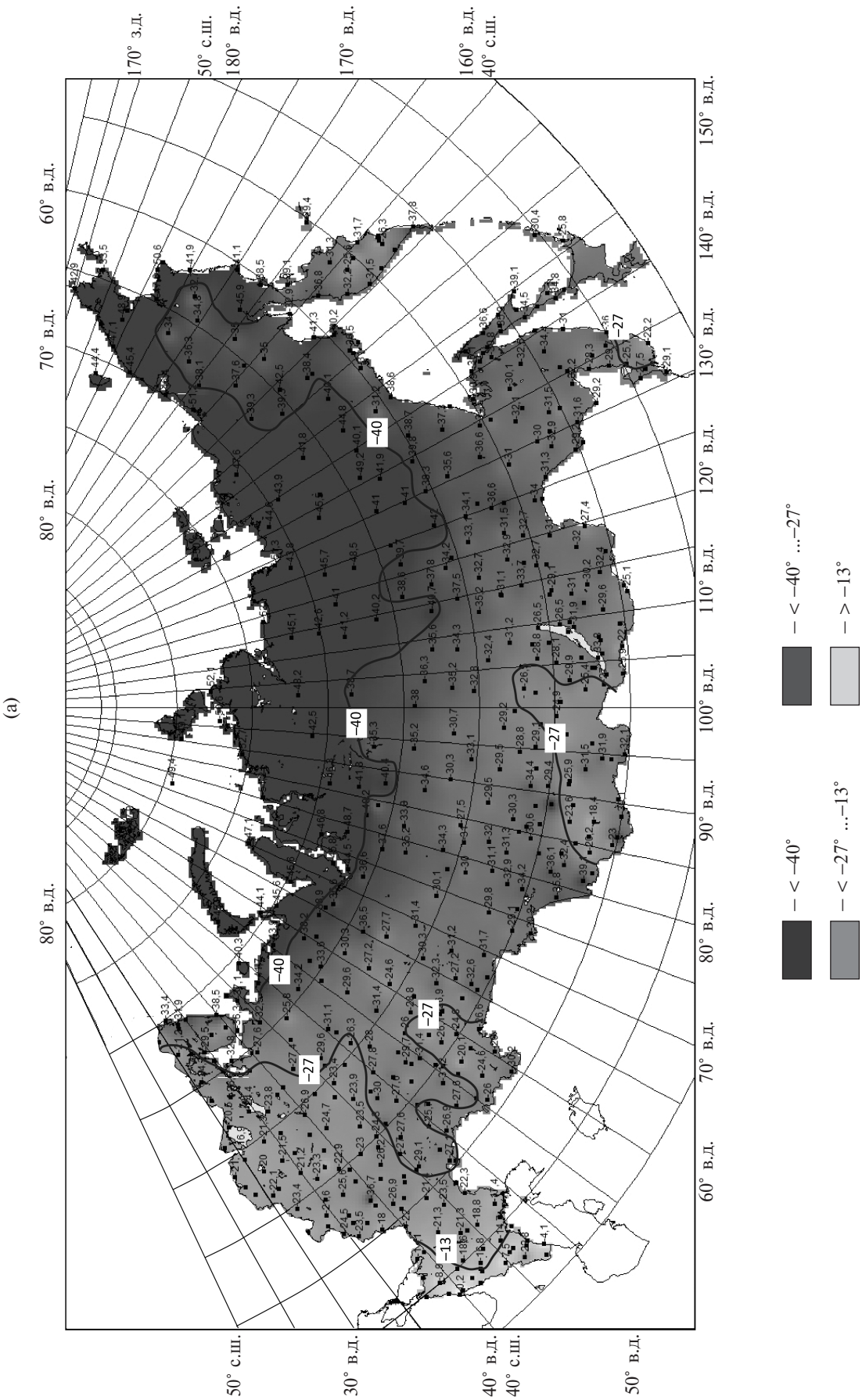

Рис. 1. Универсальный индекс теплового комфорта (UTCI) для зимнего сезона (декабрь–февраль): (а) для средне-многолетних условий (1961–1990 гг.); (б) для начала XXI в. (2001–2010 гг.).

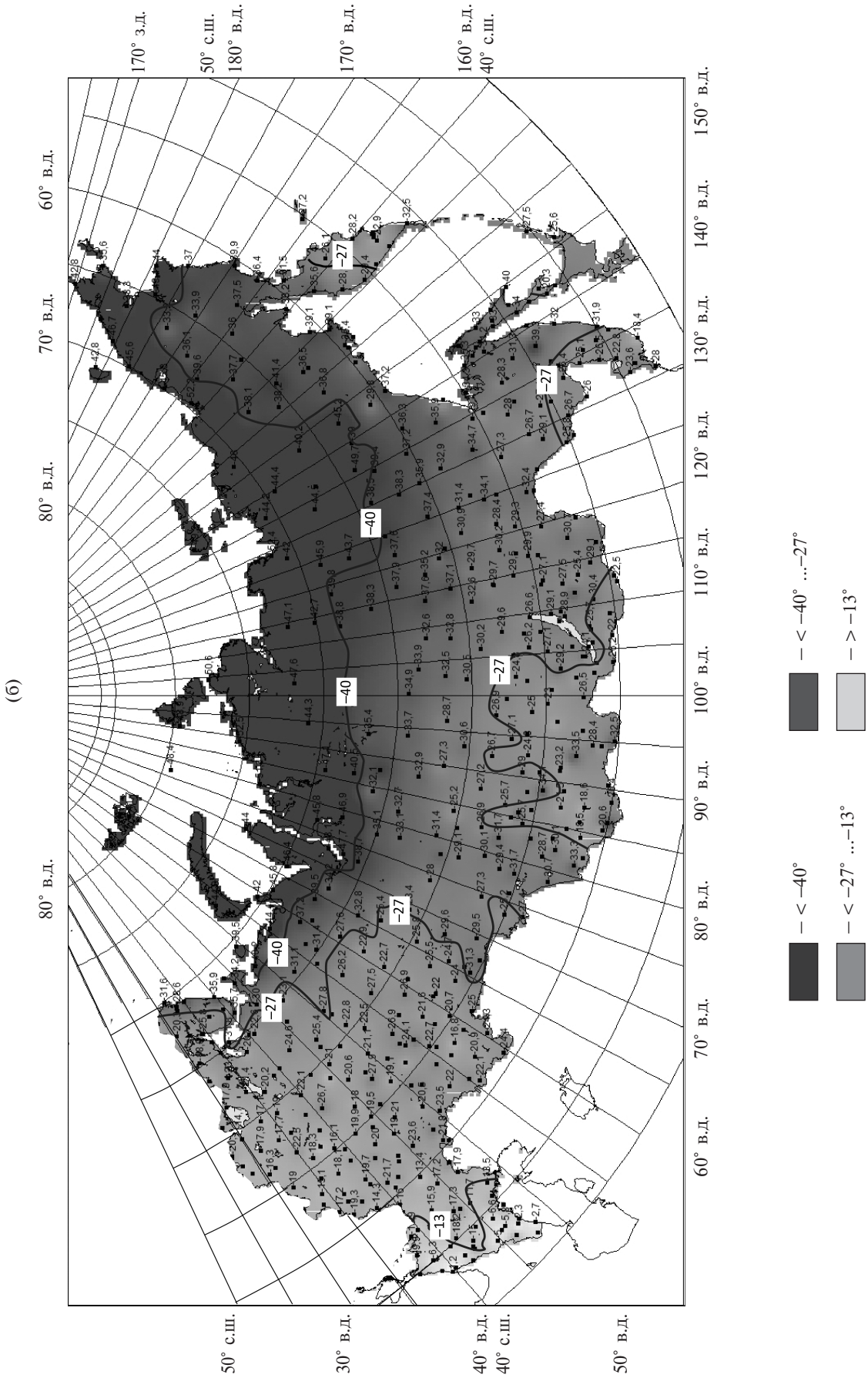

Рис. 1. Окончание

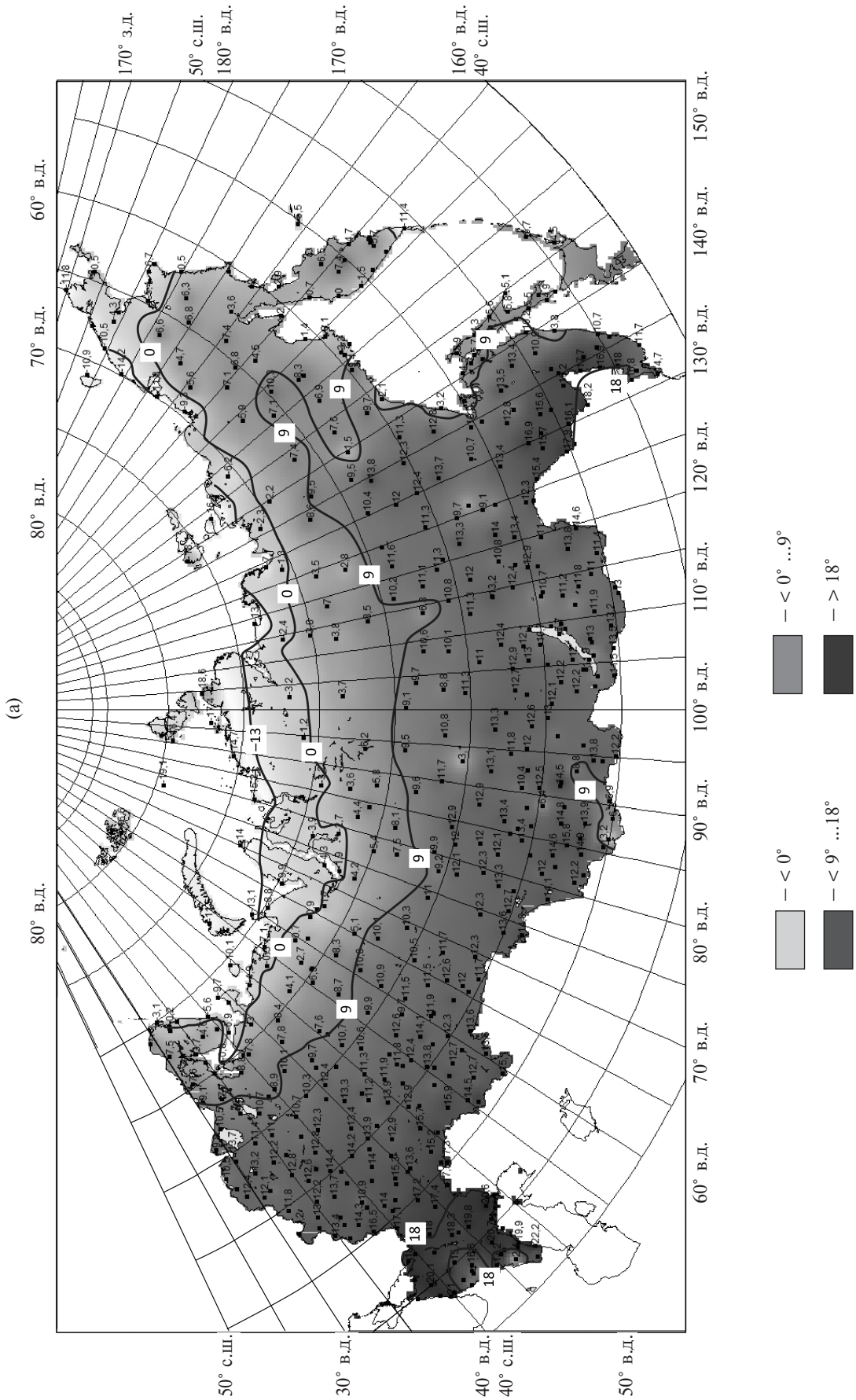

Рис. 2. Универсальный индекс теплового комфорта (UTCI) для летнего сезона (июнь–август): (а) для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.); (б) для начала XXI в. (2001–2010 гг.).

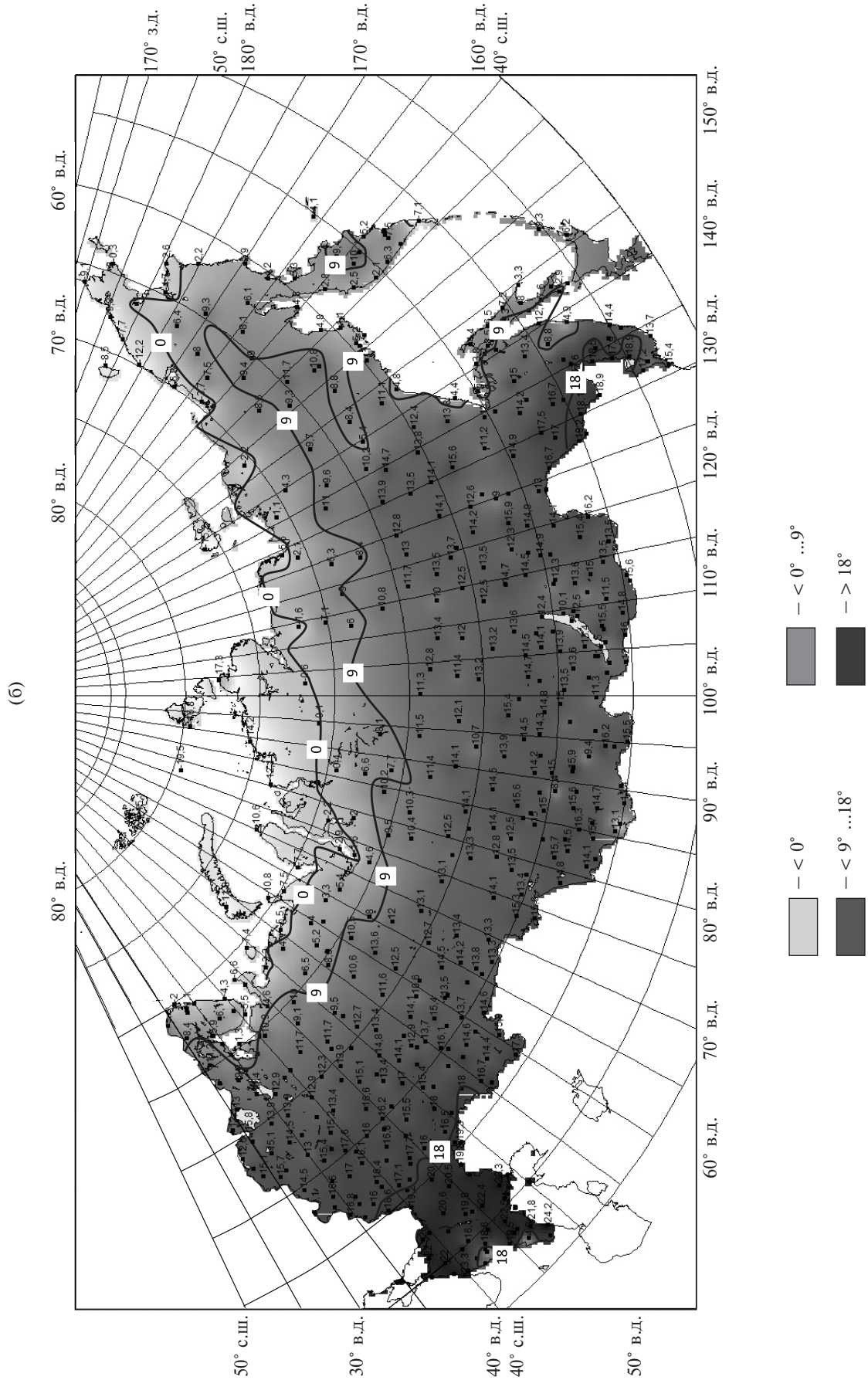

Рис. 2. Окончание

это самые холодные условия. В начале XXI в. длительность сильного холодового стресса увеличивается не очень сильно – на 0.5–1.0 месяц и наиболее заметно в широтной зоне 50°–40° с.ш. Основные изменения происходили в 2001–2010 гг., а в 2011–2015 гг. ситуация стабилизировалась.

Для большинства территорий, расположенных в широтной зоне 70°–80° с.ш., умеренный холодовой стресс – наилучшие условия, они наблюдаются от 1.3 месяца на европейской территории и в Западной Сибири и до 3 месяцев на Чукотке. При потеплении продолжительность умеренного холодового стресса меняется несильно. На европейской территории и на Чукотке она увеличивается на 1 месяц, а на остальной территории практически не меняется (см. рис. 3). В широтных зонах 60°–70° и 50°–60° с.ш. умеренный холодовой стресс отмечается 2–3 месяца и его продолжительность практически не меняется при изменении климата. На юге страны такие условия наблюдаются более 3 месяцев на европейской территории и более 2 месяцев на юге Сибири и Дальнего Востока, немного увеличиваясь в современную эпоху (см. рис. 3).

Условия слабого холодового стресса для территорий, расположенных севернее 60° с.ш., являются довольно хорошими и наблюдаются в теплую половину года от 1.5 до 2 месяцев. На широтах 70°–80° с.ш. такие условия отмечаются от 3 недель до 1 месяца в долготном секторе 90°–150° в.д. В более южных широтах слабый холодовой стресс длится 1.5–2 месяца (см. рис. 3). При изменении климата продолжительность таких условий меняется незначительно.

Отсутствие термического стресса и условия комфорта наблюдаются южнее 70° с.ш. В зоне 60°–70° с.ш. термический стресс отсутствовал очень недолго – от 0.7 месяца на европейской территории до 2 месяцев в Восточной Сибири для среднемноголетних условий. Длительность таких условий немного увеличилась при потеплении – до 1.5 и 2.5 месяцев, соответственно. Южнее отсутствие термического стресса наблюдается летом и длится 2–3 месяца, немного увеличиваясь в начале XXI в. на 0.2–0.5 месяца (см. рис. 3). В этот период в широтной зоне 50°–60° с.ш. на европейской территории, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке появляется период от 1 до 3 недель с комфортными условиями. Для широт 40°–50° с.ш. комфортные условия наблюдаются на европейской территории и на Дальнем Востоке. Продолжительность таких условий увеличивается от 1.6 месяца для периода 1961–1990 гг. до 2.2 месяца для периода 2011–2015 гг. на европейской территории и с 0.6 до 1 месяца – на Дальнем Востоке (см. рис. 3).

Условия теплового стресса различных градаций на территории России не наблюдаются для среднемноголетних среднемесячных значений индекса теплового комфорта, но в отдельные дни и часы возможны условия теплового стресса, в основном в южных регионах.

В таблице представлено количество метеостанций, на которых отмечались различные градации теплового воздействия на человека по индексу UTCI для трех периодов: среднемноголетних условий (1961–1990 гг.) и двух периодов современного потепления: 2001–2010 гг. и 2011–2015 гг.

Данные, приведенные в таблице, подтверждают, что Россия – это территория, где преобладают условия холодового стресса. Зимой (декабрь–февраль) условия экстремального, очень сильного и сильного холодового стресса наблюдались на 98% метеостанций для среднемноголетнего периода и на 96% метеостанций для современного климата. Только в декабре для периода 2011–2015 гг. количество таких метеостанций уменьшается до 92%.

В переходные сезоны (весна (март–май) и осень (сентябрь–ноябрь)) происходит постепенное ослабление (весной) или нарастание (осенью) холодового стресса. В марте количество метеостанций, где отмечаются три наиболее неблагоприятные градации холодового стресса сокращается до 93% для среднемноголетних условий и до 82% для периода 2001–2010 гг., а затем вновь немного увеличивается до 86% в 2011–2015 гг. В апреле начинают преобладать условия сильного, умеренного и слабого холодового стресса, которые суммарно отмечаются на 88, 92 и 94% метеостанций для трех рассматриваемых периодов. Причем при потеплении увеличивается количество метеостанций с более благоприятными условиями, а условия экстремального холодового стресса, которые наблюдались на 3% метеостанций для среднемноголетнего периода в 2011–2015 гг., уже не наблюдаются. В мае преобладают те же градации холодового стресса, но при потеплении климата увеличивается количество метеостанций, где отмечается отсутствие термического стресса с 7 (1961–1990 гг.) до 19% (2011–2015 гг.). Осенью происходит обратный процесс нарастания холодового стресса от сентября к ноябрю и относительное увеличение количества метеостанций, где наблюдаются более благоприятные условия при потеплении климата, по сравнению со среднемноголетними условиями (см. таблицу).

Летом (июнь–август) на территории России наблюдаются самые благоприятные условия, но и для них самые “теплые” условия – это комфорт. В июне на большинстве метеостанций (90–94%) термические условия соответствуют

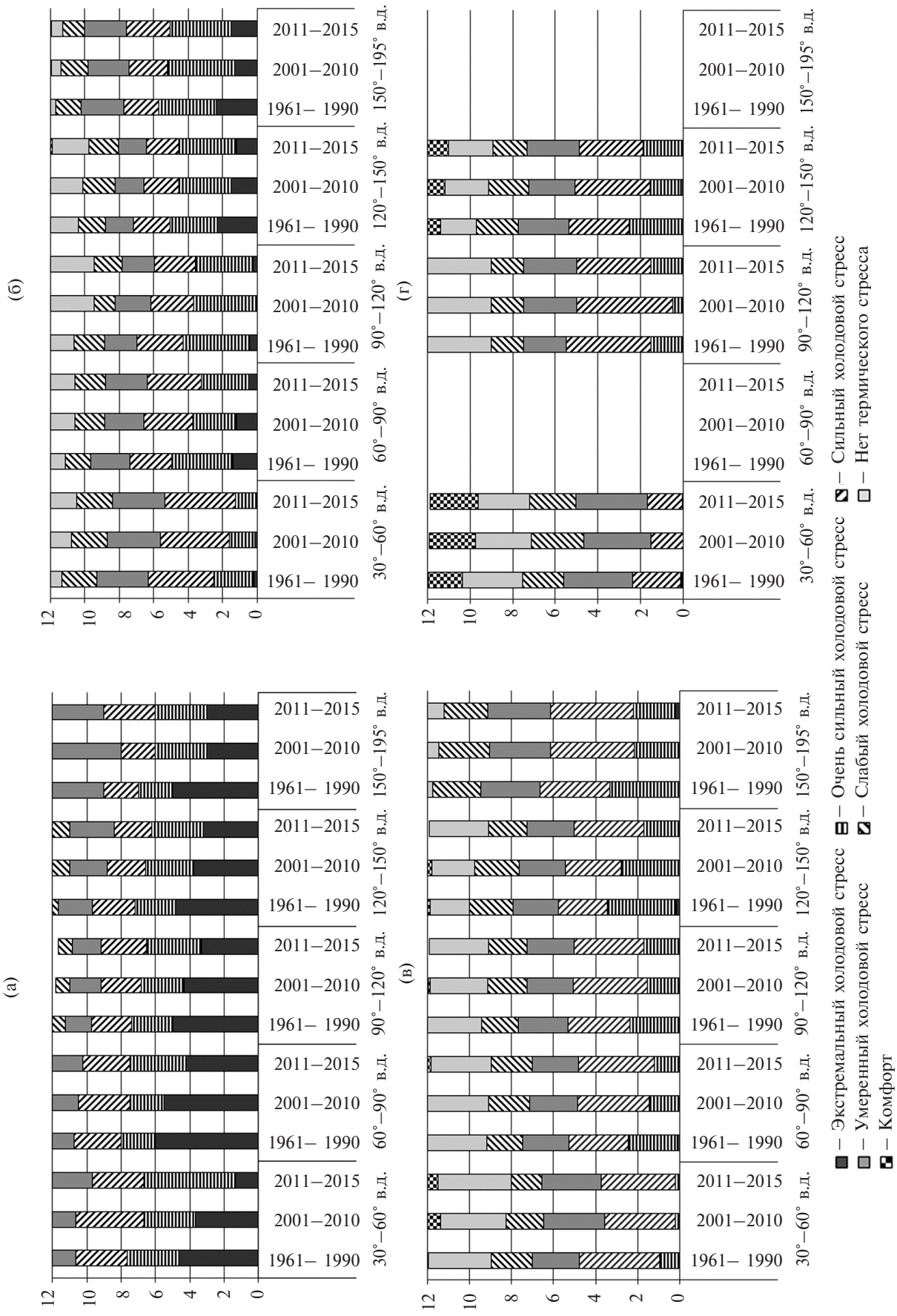

Рис. 3. Длительность различных градаций теплового воздействия (в месяцах) для широтных зон: (а) 70°–80° с.ш.; (б) 70°–60° с.ш.; (в) 60°–50° с.ш.; (г) 50°–40° с.ш.

Таблица. Число станций* на территории России с различными градациями универсального индекса теплового комфорта (UTCI)

Месяц	Период	Градации теплового воздействия, число станций (%)						
		Экстремальный холодовой стресс	Очень сильный холодовой стресс	Сильный холодовой стресс	Умеренный холодовой стресс	Слабый холодовой стресс	Нет термического стресса	Комфорт
Январь	1961–1990	93 (18%)	305 (60%)	104 (20%)	10 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	2001–2010	55 (11%)	235 (47%)	189 (38%)	20 (4%)	1 (0.2%)	0 (0%)	0 (0%)
	2011–2015	53 (11%)	237 (48%)	181 (37%)	21 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Февраль	1961–1990	63 (12%)	285 (56%)	152 (30%)	12 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	2001–2010	50 (10%)	187 (37%)	242 (48%)	20 (4%)	1 (0.2%)	0 (0%)	0 (0%)
	2011–2015	46 (9%)	190 (39%)	236 (48%)	19 (4%)	1 (0.2%)	0 (0%)	0 (0%)
Март	1961–1990	38 (7%)	97 (19%)	345 (67%)	30 (6%)	2 (0.4%)	0 (0%)	0 (0%)
	2001–2010	27 (5%)	70 (14%)	310 (62%)	86 (17%)	7 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
	2011–2015	15 (3%)	83 (17%)	327 (66%)	64 (13%)	3 (0.6%)	0 (0%)	0 (0%)
Апрель	1961–1990	14 (3%)	47 (9%)	159 (31%)	269 (53%)	23 (4%)	0 (0%)	0 (0%)
	2001–2010	5 (1%)	34 (7%)	115 (23%)	291 (58%)	55 (11%)	0 (0%)	0 (0%)
	2011–2015	0 (0%)	31 (6%)	95 (19%)	309 (63%)	58 (12%)	0 (0%)	0 (0%)
Май	1961–1990	0 (0%)	20 (4%)	59 (12%)	203 (40%)	193 (38%)	37 (7%)	0 (0%)
	2001–2010	0 (0%)	7 (1%)	46 (9%)	141 (28%)	237 (47%)	69 (14%)	0 (0%)
	2011–2015	0 (0%)	7 (1%)	42 (9%)	125 (25%)	226 (46%)	93 (19%)	0 (0%)
Июнь	1961–1990	0 (0%)	0 (0%)	24 (5%)	77 (15%)	149 (29%)	255 (50%)	7 (1%)
	2001–2010	0 (0%)	0 (0%)	14 (3%)	57 (11%)	108 (22%)	305 (61%)	16 (3%)
	2011–2015	0 (0%)	0 (0%)	12(2%)	51 (10%)	85 (17%)	311 (63%)	33 (7%)
Июль	1961–1990	0 (0%)	0 (0%)	7 (1%)	36 (7%)	86 (17%)	329 (64%)	54 (11%)
	2001–2010	0 (0%)	0 (0%)	5 (1%)	28 (6%)	62 (12%)	292 (58%)	112 (22%)
	2011–2015	0 (0%)	0 (0%)	5 (1%)	27 (5%)	58 (12%)	312 (63%)	91 (18%)
Август	1961–1990	0 (0%)	0 (0%)	8 (2%)	45 (9%)	133 (26%)	296 (58%)	30 (6%)
	2001–2010	0 (0%)	0 (0%)	4 (1%)	37 (7%)	95 (19%)	310 (62%)	53 (11%)
	2011–2015	0 (0%)	0 (0%)	5 (1%)	36 (7%)	83 (17%)	310 (63%)	58 (12%)
Сентябрь	1961–1990	0 (0%)	0 (0%)	29 (6%)	146 (29%)	295 (58%)	41 (8%)	1 (0.2%)
	2001–2010	0 (0%)	0 (0%)	15 (3%)	102 (20%)	293 (59%)	83 (17%)	5 (1%)
	2011–2015	0 (0%)	0 (0%)	14 (3%)	100 (20%)	282 (57%)	89 (18%)	3 (1%)
Октябрь	1961–1990	0 (0%)	34 (7%)	135 (26%)	315 (62%)	26 (5%)	2 (0.4%)	0 (0%)
	2001–2010	0 (0%)	32(6%)	111 (22%)	321 (64%)	46 (9%)	11 (2%)	0 (0%)
	2011–2015	0 (0%)	9 (2%)	108 (22%)	320 (65%)	51 (10%)	5 (1%)	0 (0%)
Ноябрь	1961–1990	32 (6%)	121 (24%)	302 (59%)	51 (10%)	6 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
	2001–2010	25 (5%)	122 (24%)	293 (59%)	69 (14%)	4 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
	2011–2015	9 (2%)	86 (17%)	261 (53%)	128 (26%)	9 (2%)	0 (0%)	0 (0%)
Декабрь	1961–1990	72 (14%)	241 (47%)	180 (35%)	18 (4%)	1 (0.2%)	0 (0%)	0 (0%)
	2001–2010	69 (14%)	208 (42%)	212 (42%)	23 (5%)	1 (0.2%)	0 (0%)	0 (0%)
	2011–2015	31 (6%)	181 (37%)	241 (49%)	38 (8%)	1 (0.2%)	0 (0%)	0 (0%)

*Для периода 1961–1990 гг. – общее число станций 512, для периода 2001–2010 гг. – общее число станций 500, для периода 2011–2015 гг. – общее число станций 492.

умеренному и слабому холодовому стрессу и отсутствию термического стресса, причем последняя градация преобладает (50–63%), расширяясь при потеплении. Также в июне появляются метеостанции с комфортными условиями, и их количество увеличивается с 1% в 1961–1990 гг. до 7% в 2011–2015 гг. В июле и августе преобладают условия слабого холодового стресса, отсутствия термического стресса и комфорта. Количество метеостанций с комфортными условиями увеличивается в два раза в начале XXI в. с 11 до 22% в июле и с 6 до 12% в августе (см. таблицу).

Была проанализирована длительность в течение года самых холодных (экстремальный холодовой стресс, очень сильный холодовой стресс и сильный холодовой стресс), холодных (умеренный и слабый холодовой стресс) условий и условий отсутствия холодового стресса.

Суммарная продолжительность условий экстремального холодового стресса, очень сильного холодового стресса и сильного холодового стресса, т.е. трех наиболее неблагоприятных градаций, составляет от 10 месяцев на побережье Северного Ледовитого океана (на Арктических островах – 12 месяцев) до нескольких дней на Черноморском побережье Краснодарского края. Для среднемноголетних условий на европейской территории такие условия длились около 5 месяцев в году в широтной зоне 50°–65° с.ш. На севере и северо-востоке такие условия наблюдаются 6–7 месяцев, а на побережье Северного Ледовитого океана – 10 месяцев. Южнее 50° с.ш. и на западной границе страны продолжительность очень холодных условий уменьшается до 2–4 месяцев. На азиатской территории граница продолжительности холодных условий 7 месяцев проходит около 60° с.ш. На остальной территории такие условия наблюдаются около 5 месяцев (рис. 4а).

В современном климате (2001–2015 гг.) длительность наиболее суровых условий сокращается приблизительно на 1–2 месяца. В азиатской части страны граница длительности холодных условий 7 месяцев сдвигается на север на 2°–5° – до 63°–65° с.ш. На большей части европейской территории (южнее 60° с.ш.) продолжительность таких условий сокращается до 3 месяцев (рис. 4б).

Сравнение этих карт (см. рис. 4) с картой “Районирование России по природным условиям жизни населения” [2] показывает, что суммарная продолжительность неблагоприятных градаций холодового стресса более 7 месяцев хорошо совпадает с южной границей очень неблагоприятной зоны, а продолжительность таких условий менее 4 месяцев – с границей благоприятной зоны для соответствующих периодов.

Продолжительность условий умеренного и слабого холодового стресса составляет около 6 месяцев на севере и юге европейской территории и на побережье Тихого океана от севера Камчатского края до Приморского края. Но на севере европейской территории и на побережье Тихого океана эти условия наблюдаются в теплое время года, а на юге европейской части – в холодную его половину. На остальной территории условия умеренного и слабого холодового стресса отмечаются 2–4 месяца в теплый сезон. При современном потеплении продолжительность таких условий увеличивается за счет сокращения длительности более суровых условий.

Продолжительность условий отсутствия термического стресса и комфорта имеет практически зональное распределение на территории России, за исключением горных территорий. Севернее 65° с.ш. такие условия практически отсутствуют в течение всего года. Период с условиями “нет термического стресса” южнее 65° с.ш. составляет 1 месяц и постепенно увеличивается до 3 месяцев на южной границе в азиатской части России, а на юге европейской территории до 5 месяцев (рис. 5а). При современном потеплении продолжительность таких условий немного увеличивается на всей территории. В Приморском крае она возрастает до 4 месяцев, в Краснодарском крае и Дагестане – до 6 месяцев (рис. 5б).

ВЫВОДЫ

1. Россия – это территория, где преобладают условия холодового стресса. Зимой на всей территории преобладает холодовой стресс различных градаций: экстремальный холодовой стресс – на севере и северо-востоке страны от севера Архангельской области до Чукотки; очень сильный холодовой стресс – на Кольском полуострове, в Поволжье, на Урале и на Азиатской части страны. На большей части европейской территории и на юге Приморского края наблюдается сильный холодовой стресс, а на юге европейской территории – умеренный. При потеплении климата в начале XXI в. (2001–2010 гг.) холодовой стресс немного ослабевает.

2. Летом преобладают условия от умеренного холодового стресса на Арктических островах и на побережье Северного Ледовитого океана до градации “нет теплового стресса” – на большей части территории России и комфорта на юге европейской территории.

3. Зимой условия экстремального, очень сильного и сильного холодового стресса наблюдались на 98% метеостанций для среднемноголетнего периода и на 96% метеостанций для современного климата.

4. Летом на территории России наблюдаются самые благоприятные условия, но самые “теплые” условия для среднемесячных значений – это комфорт. В июле и августе количество

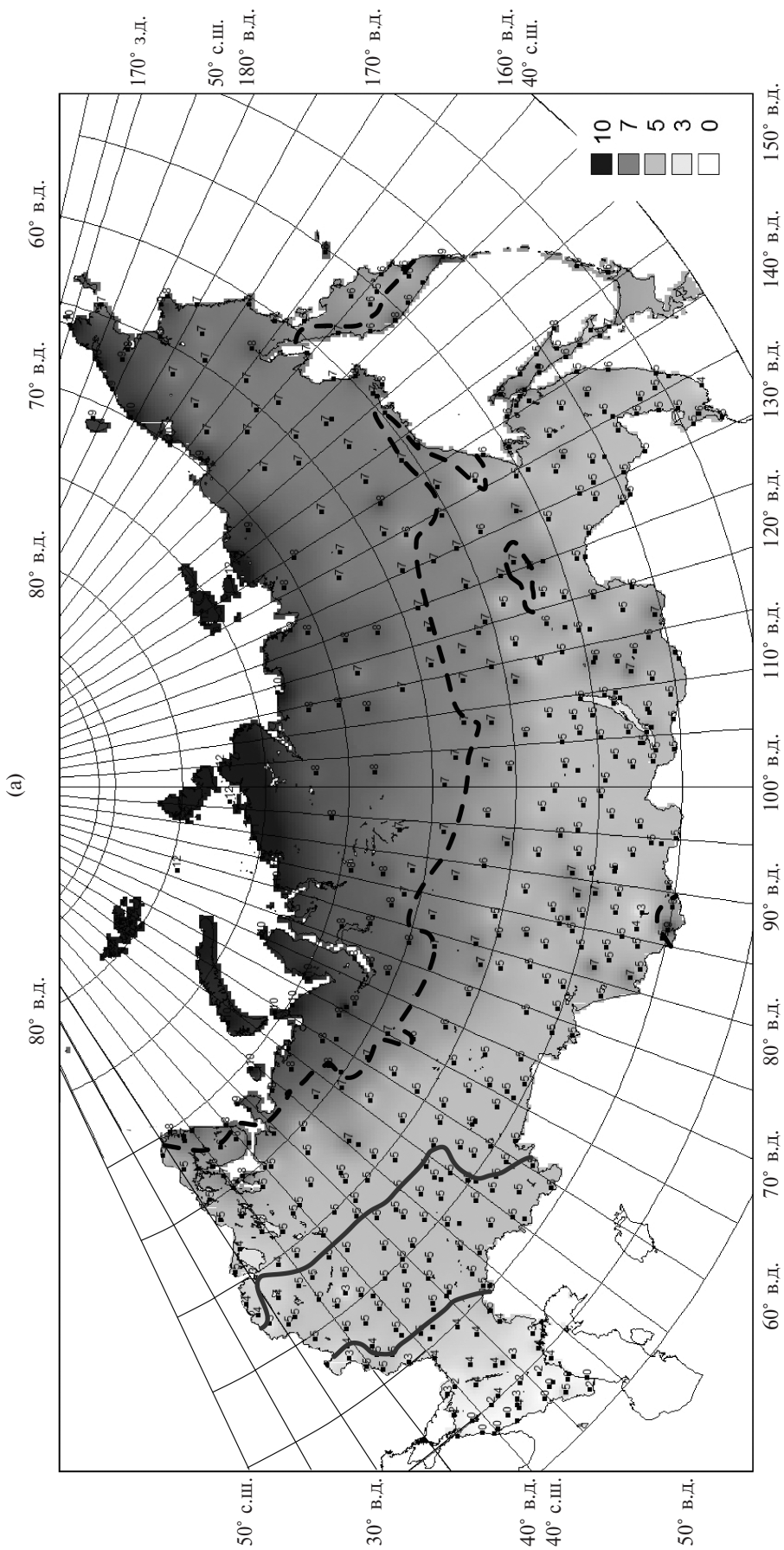

Рис. 4. Суммарная продолжительность (в месяцах) условий экстремального холодового стресса, очень сильного холодового стресса и сильного холодового стресса: (а) для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.); (б) для начала XXI в. (2001–2010 гг.). 1 – граница благоприятной зоны, 2 – южная граница очень неблагоприятной зоны на карте “Районирование России по природным условиям жизни населения” [2].

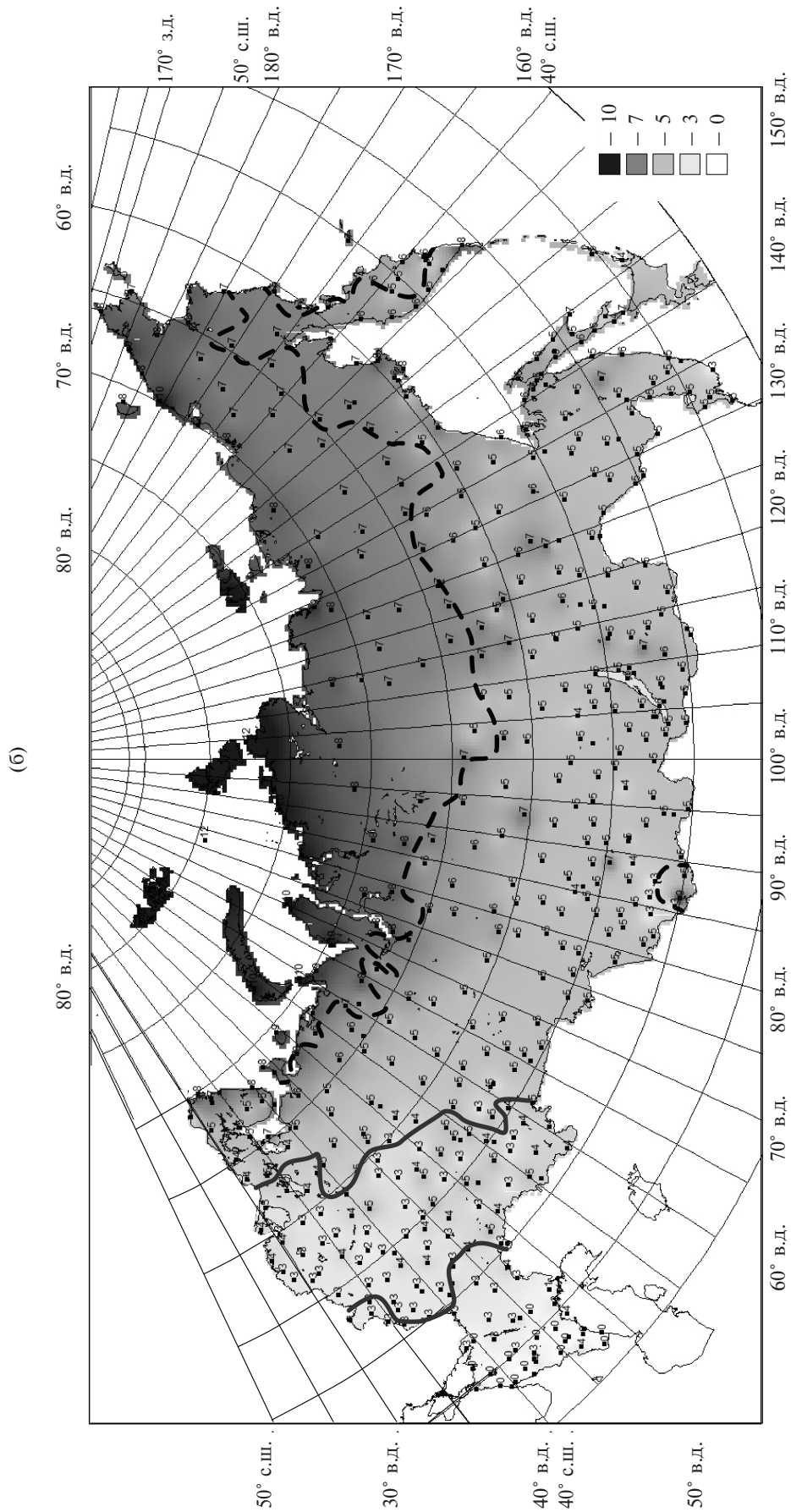

Рис. 4. Окончание.

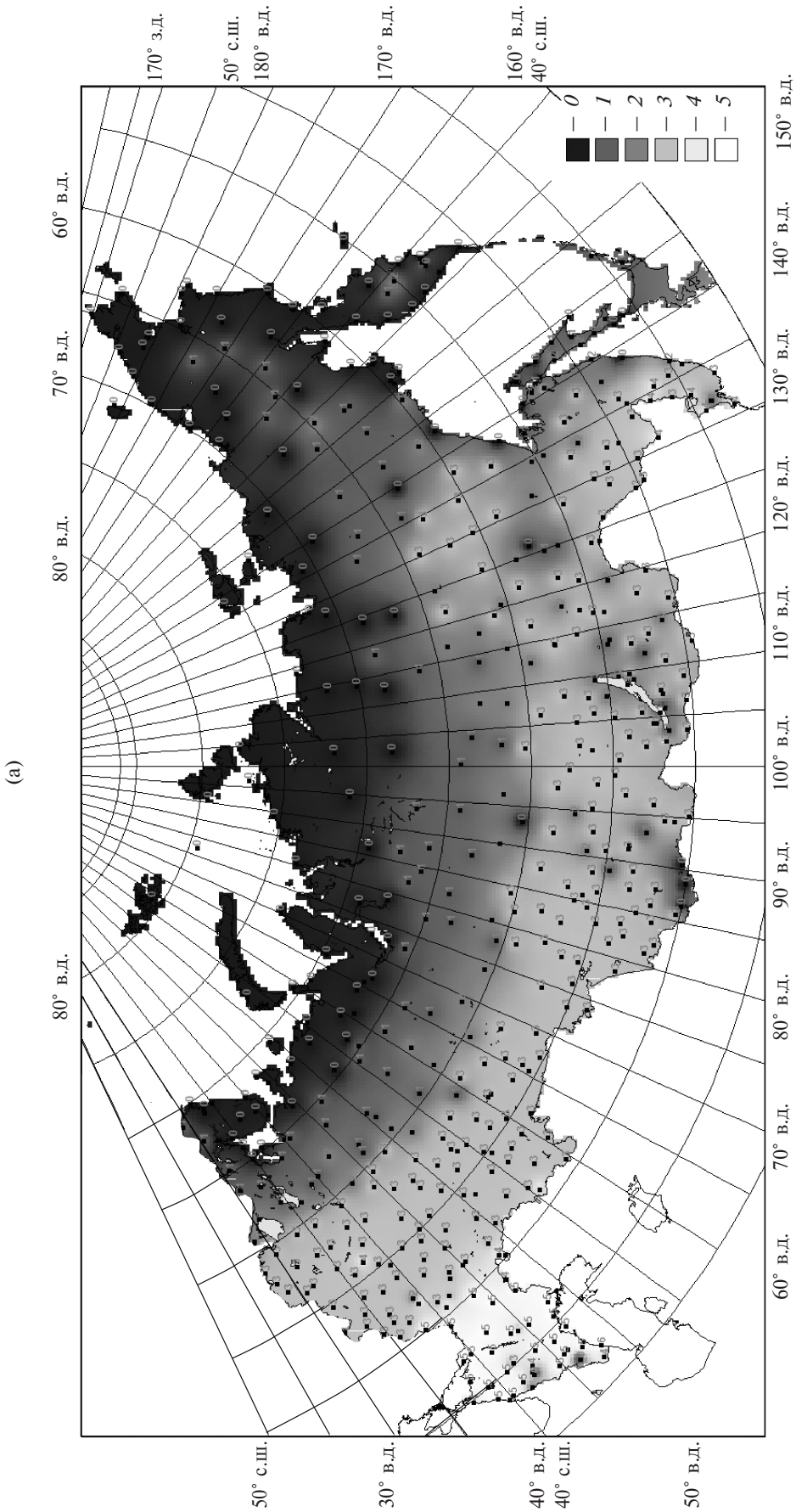

Рис. 5. Суммарная продолжительность (в месяцах) условий отсутствия термического стресса и комфорта: (а) для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.); (б) для начала XXI в. (2001–2010 гг.).

(б)

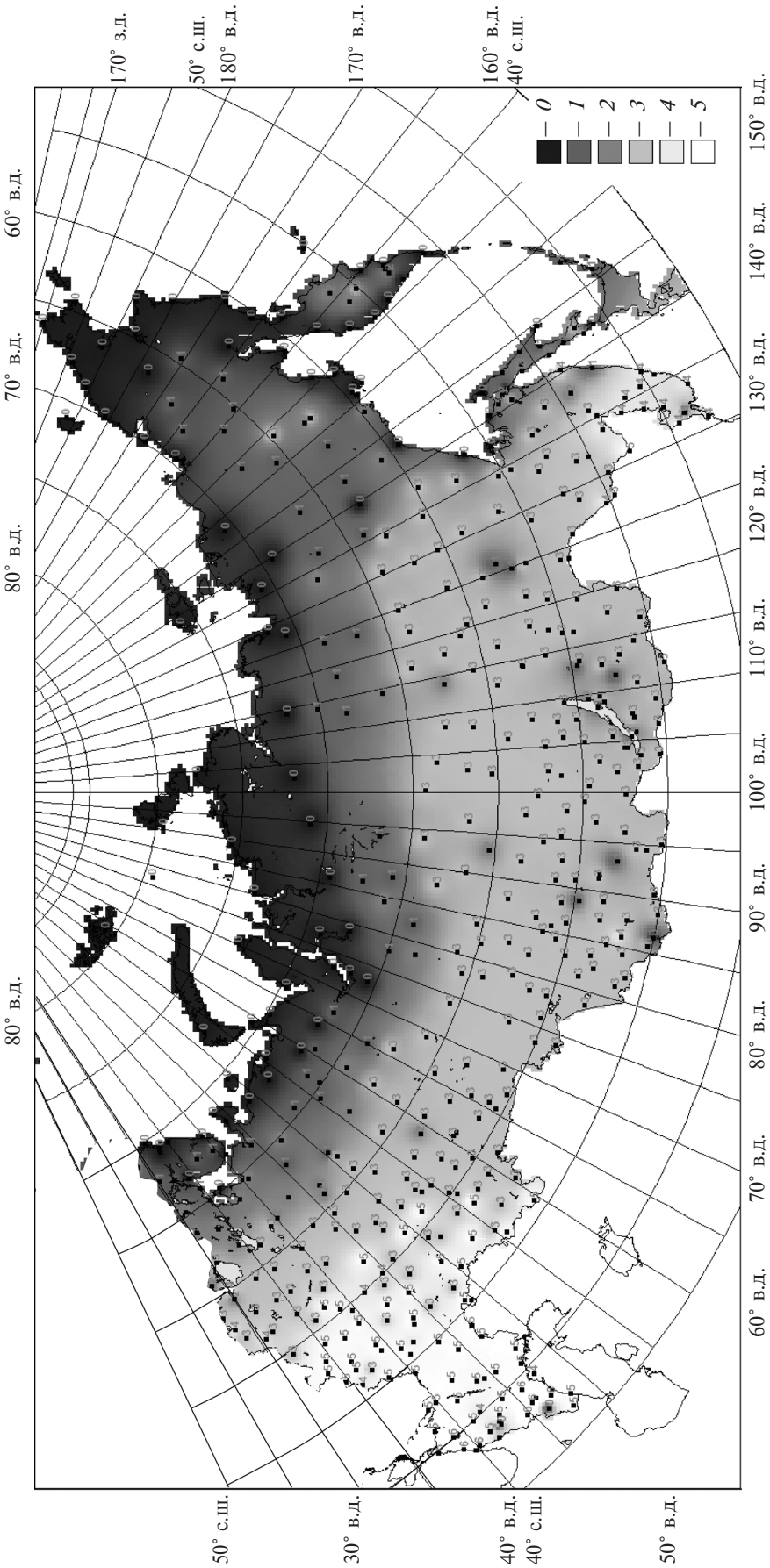

Рис. 5. Окончание

метеостанций с комфортными условиями увеличивается в два раза в начале XXI в. с 11 до 22% в июле и с 6 до 12% в августе.

5. Суммарная продолжительность условий экстремального холодового стресса, очень сильного холодового стресса и сильного холодового стресса, т.е. трех наиболее неблагоприятных градаций, составляет от 10 месяцев на побережье Северного Ледовитого океана до нескольких дней на Черноморском побережье Краснодарского края. В современном климате (2001–2015 гг.) длительность наиболее суровых условий сокращается приблизительно на 1–2 месяца.

6. Суммарная продолжительность неблагоприятных градаций холодового стресса более 7 месяцев хорошо совпадает с южной границей очень неблагоприятной зоны на карте "Районирование России по природным условиям жизни населения", а продолжительность таких условий менее 4 месяцев – с границей благоприятной зоны для соответствующих периодов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

FUNDING

This research was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 16-17-10236.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив ВНИИГМИ-МЦД. URL. http://www.meteo.ru
2. *Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н.* Современные и ожидаемые изменения климатического фактора в оценке природных условий жизни населения в Федеральных округах Российской Федерации // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 4. С. 16–21.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
4. *Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В.* Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012. 156 с.
5. BioKlima 2.6, software package. URL. www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm
6. *Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Kunert A.* Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in Europeanscale // Miscellanea Geographica. 2010. V. 14. P. 91–102.
7. *Błażejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H., Tinz B.* Comparison of UTCI to selected thermal indices // Int. J. Biometeorol. 2012. V. 56. P. 515–535.
8. *Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B.* An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) // Geographia Polonica. 2013. V. 86. № 1. P. 5–10.
9. *Bröde P., Fiala D., Blazejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G.* Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index UTCI // Int. J. Biometeorol. 2012. V. 56. P. 481–494.
10. *Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B., Jendritzky G.* UTCI-Fiala multi-node model human heat transfer and thermal comfort // Int. J. Biometeorol. 2012. V. 56. P. 429–441.
11. *Di Napoli C., Pappenberger F., Hannah L.C.* Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI) // Int. J. Biometeorol. 2018. DOI: 10.1007/s00484-018-1518-2
12. *Jendritzky G., De Dear R., Havenith G.* UTCI – why another thermal index? // Int. J. Biometeorol. 2012. V. 56. № 3. P. 421–428.
13. *Jendritzky G., Havenith G., Weihs P., Batchvarova E., eds.* Towards a Universal Thermal Climate IndexUTCI for assessing the thermal environment of the human being. Final Report COST Action 730. 2009.
14. *Pappenberger F., Jendritzky G., Staiger H., Dutra E., Di Giuseppe F., Richardson D.S., Cloke H.L.* Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal ClimateIndex (UTCI) // Int. J. Biometeorol. 2015. V. 59. P. 311–323. DOI: 10.1007/s00484-014-0843-3

REFERENCES

1. Archive of VNIIGMI-MTsD. Available at: http://www.meteo.ru (accessed 10.01.2019).
2. Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N. Present and expected role of climatic factor in the estimation of natural conditions of life in Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 4, pp. 16–21. (In Russ.).
3. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Second Roshydromet Assessment Report on Climate Changes and its Consequences in Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1009 p.
4. Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. *Raionirovanie Rossii po prirodnym usloviyam zhizni naseleniya* [Zoning of Russia by Natural Conditions of Life]. Moscow: Geos Publ., 2012. 156 p.
5. Błażejczyk K. *BioKlima (version 2.6),* software package. Available at: https://www.igipz.pan.pl/bioklima.html (accessed 10.01.2019).

6. Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Kunert A. Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. *Miscellanea Geographica*, 2010, vol. 14, pp. 91–102.
7. Błażejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H., Tinz B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int. J. Biometeorol.,* 2012, vol. 56, no. 3, pp. 515–535.
8. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 5–10.
9. Bröde P., Fiala D., Blazejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index UTCI. *Int. J. Biometeorol.*, 2012, vol. 56, no. 3, pp. 481–494.
10. Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B., Jendritzky G. UTCI-Fiala multi-node model human heat transfer and thermal comfort. *Int. J. Biometeorol.*, 2012, vol. 56, no. 3, pp. 429–441.
11. Di Napoli C., Pappenberger F., Hannah L.C. Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int. J. Biometeorol.*, 2018, vol. 62, no. 7, pp. 1155–1165.
12. Jendritzky G., de Dear R., Havenith G. UTCI – why another thermal index? *Int. J. Biometeorol.*, 2012, vol. 56, no. 3, pp. 421–428.
13. 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.
14. Pappenberger F., Jendritzky G., Staiger H., Dutra E., Di Giuseppe F., Richardson D.S., Cloke H.L. Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int. J. Biometeorol.,* 2015, vol. 59, no. 3, pp. 311–323.

Universal Thermal Climate Index in Russia

V. V. Vinogradova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: vvvinog@yandex.ru

Received June 26, 2018; revised June 26, 2018; accepted November 30, 2018

The paper uses the universal thermal climate index (UTCI) to estimate the bioclimate in Russia, initiated by the Commission of the International society of Biometeorology. The UTCI index can be described as equivalent environment temperature (°C), which provides the same physiological impact on humans as the actual environment. Assessment of bioclimatic conditions is shown for the territory of Russia in the period of modern climate change (2001–2015). Cold stress conditions (from low to extreme) were observed in the almost all territory of Russia for about 8–11 months a year. During the rest of the year, the conditions are neutral or comfortable. The period of extreme and very high cold stress is reduced during the modern climate warming (compared to the period 1961–1990), especially in the Arctic, in the European part of Russia, in Western and Eastern Siberia. At the same time, the period with neutral and comfortable thermal conditions increases.

Keywords: universal thermal climate index (UTCI), cold stress, heat loads, climate change.

DOI: https://doi.org/10.31857/S2587-5566201923-19