

Влияние тренда скорости ветра на продолжительность периода термического комфорта на европейской части России в последние десятилетия

А. С. Гинзбург*, И. Н. Белова*,
С. А. Докукин* **, В. А. Фалалеева*

Комбинация параметров температурного, влажностного и ветрового режима приземного воздуха, солнечного излучения, а также метаболизм человека при различных физических нагрузках и свойствах одежды характеризуют термический комфорт. В условиях глобального потепления изменяются характеристики климата, влияющие на качество жизни, здоровье и самочувствие людей, в том числе продолжительность периодов термического комфорта. Биоклиматические индексы, определяющие условия термического комфорта, зависят не только от изменения температуры, но и от трендов влажности и скорости ветра. Сравнение результатов расчетов продолжительности периодов термического комфорта с использованием данных наблюдений за температурой приземного воздуха и основных биоклиматических индексов выявило существенное различие влияния изменения средней скорости ветра на продолжительность периода термического комфорта в разных регионах европейской части России.

Ключевые слова: термический комфорт, биоклиматические индексы, ветер, температура и влажность воздуха.

DOI: 10.52002/0130-2906-2024-2-38-47

Введение

В современном мире людей волнует не столько описание условий погоды с помощью значений температуры, скорости ветра и влажности, сколько их ощущения в данных условиях. Кроме собственно температуры воздуха на термический комфорт или дискомфорт человека существенно влияют влажность воздуха и скорость ветра, а также количество солнечного тепла. Поэтому многие современные информационные сервисы кроме основных метеорологических факторов (температура, давление, влажность, облачность, осадки) приводят некоторую комплексную температурную оценку теплоощущения человека. Информацию о такой эффективной температуре обычно предваряют слова “ощущается как”. В разных сервисах прогноза погоды эта эффективная температура рассчитывается по-разному, и зачастую алгоритм ее расчета не является прозрачным.

* Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук; e-mail: gin@ifaran.ru (Гинзбург Александр Самуилович).

**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.

По существу, такая эффективная температура является биометеорологическим (биоклиматическим) индексом, определяющим термический комфорт человека в одетом или раздетом состоянии при нахождении на открытом воздухе или в помещении. Во многих странах в ежедневных прогнозах погоды метеорологических служб указываются значения тех или иных эффективных температур, рассчитываемых с помощью индексов, комбинирующих различные метеорологические параметры. И в России, и за рубежом предложено достаточно много таких индексов, каждый из которых удобен для определенных условий и отнюдь не универсален. В русскоязычной научной литературе наиболее подробно классификация биометеорологических индексов по входящим в них метеорологическим параметрам изложена в ряде монографий, среди которых в первую очередь отметим [8, 9].

Первые исследования условий термического комфорта и дискомфорта появились в начале XX в. [22]. Сто лет назад (в 1923 г.) специалистами по отоплению и вентиляции было предложено считать комфортными термическими условиями диапазон температуры от 17,2 до 21,7 С [25]. Позже для российских условий этот диапазон предлагалось изменить на 16,5—20,7 С и даже на 12,1—24,0 С [8, 9]. Однако наиболее часто (и в данной работе) используется исходный диапазон 17,2—21,7 С. Разрабатываются различные биоклиматические и биометеорологические индексы, характеризующие термический комфорт человека при различных параметрах влажностного и ветрового режимов атмосферного воздуха (см., например, [4, 10, 14, 18—21, 23, 24, 28, 30—33, 36, 37] и др.).

Кроме оценки термического комфорта человека с середины XX в. метеорологические индексы используются для определения температурного “комфорта” и “дискомфорта” растений с помощью градусосуток (degree-days — DD) [13] и для оценки потребности в тепловой и электрической энергии в городском хозяйстве. В 1960 г. вышла работа М. И. Будыко [2], посвященная тепловому балансу живых организмов.

Исследования взаимосвязи динамики климата и энергоснабжения крупных городов в последние десятилетия широко ведутся в странах Евросоюза, в США, Норвегии, Канаде, Турции, Индии, Бангладеш и особенно интенсивно в Китае и других странах Юго-Восточной Азии. В России исследованием воздействия на энергетику погодных и климатических процессов занимаются многие научные коллективы в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске и Томске. Этой теме посвящено много фундаментальных и прикладных работ, упомянем здесь только некоторые публикации с участием авторов данной статьи [5, 16, 17].

Современные биоклиматические (биометеорологические) индексы, характеризующие термический комфорт, достаточно подробно описаны в работах [6, 7, 12, 18, 34, 35] и многих других. Особое значение оценки продолжительности термического комфорта имеют для городских жителей и городских служб, обеспечивающих энергоснабжение и здоровье населения крупных городов.

В обзоре [34] отмечается, что за прошедшее столетие было проведено множество научных исследований по определению комфортных тепловых условий для людей, находящихся на открытом воздухе, и оценке их тепловых ощущений. В обзоре обсуждались более полутора сотен индексов. По мнению авторов этого обзора, для исследований теплового восприятия че-

ловека на открытом воздухе широко используются только четыре индекса, основанные на моделях теплового баланса человека: Physiologically Equivalent Temperature — PET, Predicted Mean Volume — PMV, Universal Thermal Comfort Index — UTCI, Standard Effective Temperature — SET. Несмотря на то что периоды теплового комфорта для людей, проживающих в различных климатических зонах, могут отличаться друг от друга, практически все исследователи считают, что диапазон комфортных температур составляет от 18 до 23°C. Это хорошо согласуется с используемым в данной работе диапазоном от 17,2 до 21,7°C.

В работе [16] произведено сравнение изменения процентной доли дней термического комфорта, вычисленной с использованием данных о температуре воздуха, и биометеорологического индекса, рассчитанного по эмпирической формуле Миссенарда, учитывающей скорость ветра и влажность [33]. Показано, что для регионов, в которых расположены крупнейшие города России (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Владивосток, Краснодар), учет скорости ветра и влажности существенно влияет как на число дней термического комфорта, так и на изменение этого параметра за последние десятилетия.

В данной статье приводятся результаты расчета динамики за 1977—2019 гг. продолжительности периода термического комфорта для территорий, на которых расположены пять крупных городов европейской части России (ЕЧР), с использованием индексов PET и UTCI, представленных в базе данных [29].

Биоклиматические и биометеорологические индексы

Прошло сто лет со времени публикации в 1923 г. в журнале Американского общества инженеров по отоплению и вентиляции (Journal of American Society of Heating and Ventilating Engineers) статьи [25] под говорящим названием “Определяющие линии равного комфорта”, где, вероятно, впервые в качестве меры ощущения тепла человеком было предложено рассматривать эффективную температуру — индекс, учитывающий и температуру, и влажность воздуха.

Интересно через столетие вспомнить, как проводились первые эксперименты начала XX в. по определению эффективной температуры. Описание этих экспериментов взято из работы [6]: “Для определения численных градаций ощущения тепла человеком были проведены лабораторные эксперименты с отобранной группой добровольцев, имеющих примерно одинаковое ощущение тепла. Они были помещены в камеру, где создавались различные комбинации температуры t и относительной влажности f ($0^\circ\text{C} < t < 40^\circ\text{C}$, $20\% < f < 100\%$) в условиях неподвижного воздуха ($v = 0$ м/с), и определялись по опросам условия субъективного дискомфорта и комфорта. Различные комбинации показаний сухого и влажного термометра были нанесены на психрометрические таблицы, по которым были проведены критические линии “комфорта”. Точка пересечения этих линий с линией точки росы и была определена как эффективная температура всех таких комбинаций”.

В монографии “Человек и климат” А. Миссенард [33] свел табличные данные [25] в простейшее выражение:

$$ET = t - 0,4(t - 10)(1 - f/100), \quad (1)$$

где t — температура воздуха (°C) на высоте метеорологической будки (2 м); f — относительная влажность (%).

Этот индекс до сих пор является одним из наиболее широко используемых для оценки теплового состояния полураздетого (до пояса) человека на разных временных масштабах — от нескольких часов до сезонов [8]. Из этого выражения видно, что при температуре воздуха ниже 10°C сухой воздух кажется более теплым, чем влажный, а при температуре выше 10°C — более холодным.

В работе [33] также был выведен биоклиматический индекс, учитывающий дополнительно скорость ветра v (м/с) на высоте 10 м:

$$\begin{aligned} \text{EET} = 37 - \{ & (37 - t) / [0,68 - 0,0014f + 1 / (1,76 + 2,4v^{0,75})] \} - \\ & - 0,29t(1 - f/100). \end{aligned} \quad (2)$$

Аналогичная с точки зрения основной идеи формула была предложена в работе [1]:

$$\begin{aligned} \text{EET}_A = t[1 - 0,003(1 - f)] - 0,385v^{0,59}[(36,6 - t) + 0,622(v - 1)] + \\ + [(0,0015v + 0,0008)(36,6 - t) - 0,0167](1 - f). \end{aligned} \quad (3)$$

Важно понимать, что формулы (1)—(3) и другие многочисленные выражения для биоклиматических индексов, таких как эффективная температура ЕТ или эквивалентно-эффективная температура ЕЕТ, получены путем анализа тепловых ощущений определенных групп людей при фиксированных метеорологических условиях. Тем не менее с помощью таких формул и в настоящее время оценивается степень теплового комфорта (дискомфорта) человека при разных условиях погоды.

Другой подход к оценке теплового комфорта и дискомфорта человека базируется на расчете теплового баланса человеческого тела при различных величинах потоков солнечного излучения и значениях скорости ветра, температуры и влажности, а также при различной физической нагрузке человека в данный момент. В результате численных расчетов по моделям типа RayMan [23, 24], которые были разработаны для оценки физиологически эквивалентной температуры (physiological equivalent temperature — PET), создаются базы данных для биометеорологических исследований. Одной из наиболее удобных для практического использования является база, разработанная на географическом факультете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова [29]. Такие модели и базы данных применяются для анализа трендов и изменчивости уровня и периода теплового комфорта, а также для анализа динамики современных изменений энергетической потребности в поддержании приемлемого уровня теплового комфорта в жилых, производственных и иных помещениях.

Эквивалентно-физиологическая температура (PET) для заданной комбинации метеорологических параметров — это температура воздуха, при которой в обычных комнатных условиях ($t_a = 21^\circ\text{C}$, скорость ветра 0,1 м/с, парциальное давление водяного пара 12 гПа) тепловой баланс человеческого тела остается неизменным. Для ее определения производится расчет термических параметров тела человека при рассматриваемых метеорологических параметрах, затем с помощью уравнения теплового баланса человеческого тела с использованием модели определяется температура воздуха, обеспечивающая сохранение этого баланса, которая и является значением PET.

Универсальный индекс теплового климата (UTCI) определяется как эквивалентная температура окружающей среды ($^\circ\text{C}$) в эталонном состоянии, обеспечивающая ту же физиологическую реакцию эталонного человека,

что и фактическая среда с рассматриваемыми метеорологическими параметрами [18].

Тренды периодов термического комфорта в регионах России

В работах [5, 7, 16] рассмотрены возможности применения некоторых биометеорологических индексов в разных районах и городах России для оценки периодов термического комфорта и потребности городского хозяйства в тепловой энергии во время отопительного сезона.

В работе [16] было отмечено, что в континентальных регионах, где расположены крупнейшие мегаполисы России (Москва, Санкт-Петербург и Новосибирск), продолжительность периода термического комфорта растет, а в прибрежных регионах, где находятся Краснодар и Владивосток, ситуация несколько отличается. Во Владивостоке тренд продолжительности периода термического комфорта практически отсутствует, а в Краснодаре он отрицательный.

Это различие трендов продолжительности периода термического комфорта заставило более внимательно посмотреть на тренды метеорологических и биометеорологических характеристик в разных регионах. В данной работе рассматривается европейская часть России, и более конкретно — регионы крупных ее городов, расположенные на разных широтах: Санкт-Петербург, Москва, Воронеж, Ростов-на-Дону и Краснодар (рис. 1). Метеорологические и биометеорологические характеристики брались в ближайших к этим городам узлах сетки базы данных [29]:

Регион	Санкт-Петербург	Москва	Воронеж	Ростов-на-Дону	Краснодар
Узлы сетки					
широта с.	59°57	55°45	51°40	47°14	45°02
долгота в.	30°19	37°37	39°13	39°43	38°59

Климатический тренд среднегодовой температуры воздуха во всех этих регионах положительный, однако тренд скорости ветра различен, особенно в летний сезон [15]. В Третьем оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [11] отмечается, что в последние десятилетия над сушей наблюдается глобальное ослабление приземного ветра, особенно заметное в Северном полушарии [14].

В работе [3] по данным 1412 метеорологических станций на территории Российской Федерации получены оценки линейного тренда приземного ветра за период 1977—2019 гг. Эти тренды для ЕЧР представлены на рис. 2. В работе [3] показано, что на большей части территории России преобладает тенденция уменьшения средней скорости ветра в основном в пределах 0,1—1 м/с за 10 лет. Рост скорости ветра (до 0,5 м/с за 10 лет) отмечается на юге Азиатско-Тихоокеанского региона во все сезоны, а на Чукотке, Южном Урале, Северном Кавказе — весной, летом и осенью.

Влиянию скорости ветра на экстремальные термические условия, особенно на усиление ощущения мороза, посвящен целый ряд исследований. Что касается влияния динамики скорости ветра на условия термического комфорта в летний период, надо отметить работу [26] и недавнюю публикацию [27], где рассмотрено изменение биоклиматических условий в

11 крупных городах России за последние полвека (1966—2015 гг.). Наиболее интересным результатом сравнения 50-летних тенденций индекса РЕТ и температуры воздуха является их “необычная крестообразная форма в Москве”, которая показывает, что среднегодовые значения индекса РЕТ в Москве растут быстрее, чем теплеет региональный климат.

С учетом этих разнообразных и иногда разнонаправленных тенденций сравнивались тренды скорости приземного ветра и температуры воздуха за последние десятилетия в выбранных регионах ЕЧР в среднем за год (левая колонка

на рис. 3) и за летние месяцы (средняя колонка на рис. 3). Полосой обозначен интервал термического комфорта от 17,2 до 21,7°C. В правой колонке на рис. 3 представлены тренды числа дней термического комфорта в соответствующих регионах, рассчитанные на основе измеряемой температуры воздуха на высоте 2 м и на основе индексов РЕТ и UTCI. Рисунок 3 наглядно показывает, что тренды продолжительности летнего периода комфорта — “хорошие дни”, оцененные с помощью биометеорологических индексов РЕТ и UTCI, — очень близки между собой, но в ряде регионов ЕЧР существенно отличаются от трендов, полученных на основе измеряемой температуры приземного воздуха.

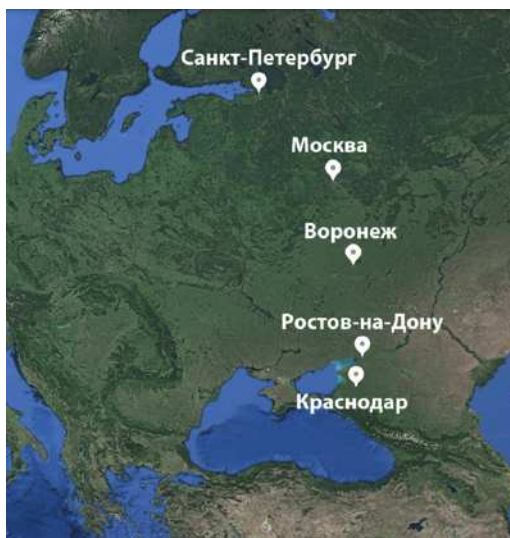


Рис. 1. Города — центры рассматриваемых регионов европейской части России.

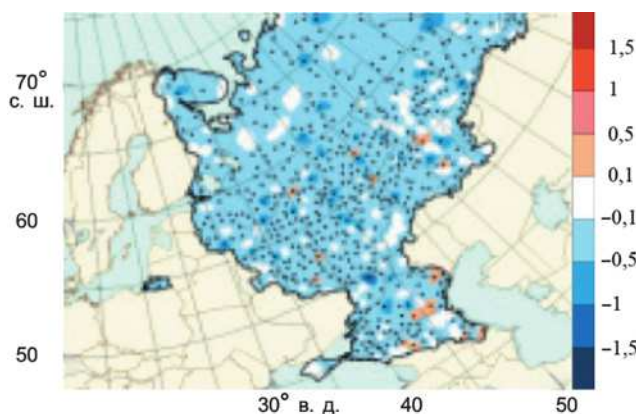


Рис. 2. Распределение локальных коэффициентов линейного тренда средней скорости приземного ветра летом (м/с за 10 лет) на европейской части России (в границах 2021 г.) за период 1977—2019 гг. (по данным работы [3]).

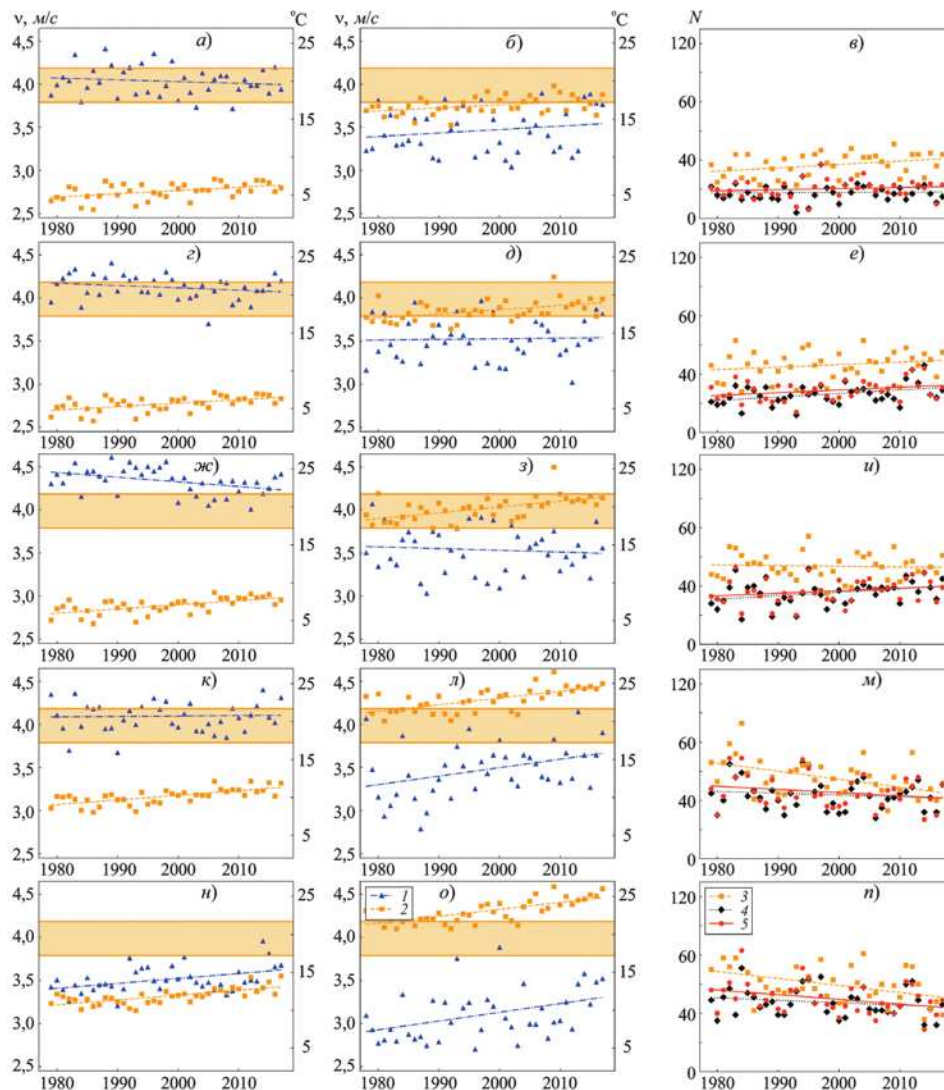


Рис. 3. Тренды за 1977—2019 гг. среднегодовых (*а, г, ж, к, н*) и летних (*б, д, з, л, о*) значений приземного ветра (*1*) и температуры приземного воздуха (*2*) и числа дней термического комфорта — “хорошие дни” (*в, е, и, м, н*), рассчитанные на основе измеряемой температуры воздуха (*3*), РЕТ (*4*) и UTCI (*5*) для регионов Санкт-Петербурга (*а, б, в*), Москвы (*г, д, е*), Воронежа (*ж, з, и*), Ростова-на-Дону (*к, л, м*) и Краснодара (*н, о, н*).

Выделен интервал термического комфорта от 17,2 до 21,7°C.

Рассмотрим каждый из выбранных регионов.

В районе Санкт-Петербурга среднегодовая температура воздуха далека от интервала термического комфорта, а среднегодовая скорость приземного ветра слабо убывает. В летние месяцы температура воздуха приближается к интервалу термического комфорта, а скорость приземного ветра слабо растет. В результате тренды количества дней термического комфорта невелики, но разнонаправленны.

В районе Москвы среднегодовая температура воздуха также далека от интервала термического комфорта, а среднегодовая скорость приземного

ветра также слабо убывает. В летние месяцы температура воздуха в последние годы уже находится в интервале термического комфорта, а скорость приземного ветра практически не изменяется. В результате тренды количества дней термического комфорта, рассчитанные и по температуре воздуха, и по РЕТ, практически одинаковые.

В районе Воронежа среднегодовая температура воздуха так же далека от интервала термического комфорта, как в Москве и Санкт-Петербурге, а среднегодовая скорость приземного ветра так же слабо убывает. В летние месяцы температура воздуха за весь рассмотренный период находится в интервале термического комфорта, но скорость приземного ветра убывает примерно так же, как и среднегодовая. В результате тренд количества дней термического комфорта, рассчитанный по температуре воздуха, слабо положительный, а рассчитанный по РЕТ — слабо отрицательный.

В районе Ростова-на-Дону среднегодовая температура воздуха значительно ближе к интервалу термического комфорта, чем в более северных городах, но даже среднегодовая скорость приземного ветра слабо растет. В летние месяцы температура воздуха за весь рассмотренный период, так же как и в Воронеже, находится в интервале термического комфорта, но скорость приземного ветра заметно возрастает. В результате тренд количества дней термического комфорта, рассчитанный по температуре воздуха, положительный, а рассчитанный по РЕТ — отрицательный. Разнонаправленность этих трендов выражена в Ростове-на-Дону значительно более ярко, чем в Воронеже.

В районе Краснодара среднегодовая температура воздуха близка к интервалу термического комфорта, но все-таки ниже его, а среднегодовая скорость приземного ветра заметно растет. В летние месяцы температура воздуха практически за весь рассмотренный период выше интервала термического комфорта, а скорость приземного ветра растет сильнее, чем во всех других рассмотренных регионах. Сочетание высокой температуры воздуха и усиления летнего ветра приводит к парадоксальному результату — тренды количества дней термического комфорта, рассчитанные и по температуре воздуха, и по РЕТ, отрицательные и ведут себя похожим образом.

Заключение

Обращает на себя внимание тот факт, что на территории ЕЧР период термического комфорта в теплое время года заметно изменяется в последние десятилетия как под влиянием региональных проявлений глобального потепления, так и за счет климатических трендов приземной скорости ветра, различных в разных регионах европейской части России.

Период термического комфорта, когда эффективная температура находится в пределах 17,2—21,7°C, что соответствует комфортному пребыванию человека на открытом воздухе, при потеплении климата может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от температуры летом в данном регионе.

Аналогично при уменьшении или увеличении скорости ветра этот период также может как увеличиваться, так и уменьшаться. При уменьшении скорости ветра эффективная температура растет, а при увеличении скорости ветра — понижается.

Очевидно, что при росте относительной влажности приземного воздуха и слабом ветре эффективная температура в теплое время года растет, а при уменьшении относительной влажности и усилении ветра — понижается.

Работа выполнена в рамках темы Государственного заказа Института физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук “Моделирование влияния изменений климата на экологические процессы и системы” (регистрационный номер 1021032424681-6-1.5.10;1.5.8;1.6.19).

Литература

1. Айзенштадт Б. А. Метод расчета некоторых биоклиматических показателей. — Метеорология и гидрология, 1964, № 12, с. 9—16.
2. Будыко М. И. О тепловом балансе живых организмов. — Известия АН СССР. Сер. География, 1959, № 1, с. 29—35.
3. Булыгина О. Н., Дементьева Т. В., Коршунова Н. Н. Методика мониторинга климата на территории России: режим приземного ветра. /В сб.: Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов: Информационный сборник. — 2020, № 47, с. 22—32.
4. Виноградова В. В. Биоклиматические индексы в оценке воздействия современного потепления климата на условия жизни населения России. — Известия РАН. Сер. геогр., 2009, № 3, с. 82—89.
5. Гинзбург А. С., Решетарь О. А., Белова И. Н. Влияние климатических факторов на энергопотребление в отопительный сезон. — Теплоэнергетика, 2016, № 9, с. 20—27.
6. Емелина С. В. Прогноз погодных условий, неблагоприятных для населения с сердечно-сосудистыми и аллергическими заболеваниями. /Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. — М., Гидрометцентр России, 2019, 122 с.
7. Емелина С. В., Константинов П. И., Малинина Е. П., Рубинштейн К. Г. Оценка информативности некоторых биометеорологических индексов для разных районов России. — Метеорология и гидрология, 2014, № 6, с. 25—37.
8. Исаев А. А. Экологическая климатология. — М., Научный мир, 2001, 456 с.
9. Кобышева Н. В., Стадник В. В., Клюева М. В. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. — СПб, Росгидромет, 2008, 336 с.
10. Ткачук (Емелина) С. В. Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели. — Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 123—133.
11. Третий оценочный доклад об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. /Под ред. В. М. Катцова. — СПб, Научные технологии, 2022, 676 с.
12. Человек в мегаполисе: Опыт междисциплинарного исследования. /Под ред. Б. А. Ревича и О. В. Кузнецовой. — М., ЛЕНАРД, 2018, 640 с.
13. Arnold Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. — Proceedings, American Society for Horticultural Science, 1960, vol. 76, pp. 682—692.
14. Auliciems A. and Szokolay S. V. Thermal Comfort. — Brisbane, Australia, The University of Queensland, 2007, 68 p.
15. Azorin-Molina C., Dunn R. J. H., Mears C. A., Berrisford P., McVicar T. R., and Nicolas J. P. Surface winds in “State of the Climate in 2018”. — Bull. Amer. Meteorol. Soc., 2019, vol. 100, No. 9, pp. S43—S45; doi: 10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1.
16. Belova I. N., Dokukin S. A., and Krivenok L. A. Biometeorological characteristics as energy consumption estimates in large Russian cities. — IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2020, 2020606012007.
17. Belova I. N., Ginzburg A. S., and Krivenok L. A. Heating seasons length and degreedays trends in Russian cities during last half century. — Energy Procedia, 2018, No. 149, pp. 373—379.
18. Blazejczyk K., Jendritzky G., Epstein Y., Staiger H., and Tinz B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. — Int. J. Biometeorol., 2012, No. 56, pp. 515—535; doi: 10.1007/s00484-011-0453-2.
19. Court A. Wind chill. — Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1948, vol. 29, No. 10, pp. 487—493.
20. Fanger P. O. Thermal Comfort. Analysis and Application in Environment Engineering. — Copenhagen, Danish Technical Press, 1970, 244 p.
21. Hentschel G. A human biometeorology classification of climate for large and local scales. /In: WMO/HMO/UNEP Symposium on Climate and Human Health. — Leningrad, WMO, 1986, vol. I, pp. 120—138.

22. Hill L., Griffith O. W., and Flack M. The measurement of the rate of heat loss at body temperature by convection, radiation and evaporation. — Philos. Trans. Roy. Soc. B, 1916, vol. 207, pp. 183—220.
23. Hoppe P. Heat balance modelling. — Experientia, 1993, vol. 49, pp. 741—746.
24. Hoppe P. The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. — Int. J. Biometeorol., 1999, vol. 43, pp. 71—75.
25. Houghten F. C. and Yagloglou C. P. Determining lines of equal comfort. — J. Amer. Soc. Heating and Ventilating Eng., 1923, vol. 29, pp. 165—176.
26. Kang K.-N., Song D., and Schiavon S. Correlations in thermal comfort and natural wind. — J. Thermal Biol., 2013, vol. 38, pp. 419—426; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.06.001>.
27. Konstantinov P., Tattimbetova D., Varentsov M., and Shartova N. Summer thermal comfort in Russian big cities (1966—2015). — Geographica Pannonica, 2021, vol. 25, No. 1, pp. 35—41.
28. Konstantinov P. I., Varentsov M. I., and Malinina E. P. Modeling of thermal comfort conditions inside the urban boundary layer during Moscow's 2010 summer heat wave (case study). — Urban Climate, 2014, vol. 10, No. 3, pp. 63—72.
29. Konstantinov P. I. et al. North Eurasian Thermal Comfort Indices Dataset (NETCID): New gridded database for the biometeorological studies. — Environ. Res. Lett., 2022, 1708500; https://figshare.com/articles/dataset/Thermal_comfort_indices_derived_from_ERA-Interim_reanalysis_for_Northern_Eurasia/12629861.
30. Landsberg H. E. The assessment of human bioclimate, a limited review of physical parameters. — World Meteorological Organization, 1972, Technical Note No. 123, vol. 331, 37 p.
31. Matzarakis A., Mayer H., and Iziomon M. Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. — Int. J. Biometeorol., 1999, vol. 43, No. 2, pp. 76—84.
32. Matzarakis A., Rutz F., and Mayer H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. — Int. J. Biometeorol., 2010, pp. 54131—9.
33. Missenard A. L'Homme et Le Climat. — Paris, Librairie Plon, 1937.
34. Potchter O., Cohen P., Lin T.-P., and Matzarakis A. Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. — Sci. Total Environ., 2018, vol. 631—632, pp. 390—406; doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276.
35. Qiantao Z., Lian Z., and Lai D. Thermal comfort models and their developments: A review. — Energy and Built Environ., 2021, vol. 2, No. 1, pp. 21—33.
36. Steadman R. G. A universal scale of apparent temperature. — J. Appl. Meteorol., 1984, vol. 23, No. 12, pp. 1674—1687.
37. Tromp S. Biometeorology. — London, Heiden, 1980, 346 p.

Поступила в редакцию 20 X 2023 г., после доработки 27 XI 2023 г., принята к публикации 9 XII 2023 г.

WIND SPEED TREND EFFECTS ON THE LENGTH OF THE THERMAL COMFORT PERIOD IN EUROPEAN RUSSIA IN RECENT DECADES

A. S. Ginzburg, I. N. Belova, S. A. Dokukin, and V. A. Falaleeva

The combination of parameters of the temperature, humidity, and wind conditions of surface air, solar radiation fluxes, human metabolism under various modes of physical exertion and clothing properties characterize the thermal comfort. Under conditions of global warming, climate characteristics that affect the quality of life, health, and well-being of people, in particular, the length of thermal comfort periods, are changing. Bioclimatic indices that determine the thermal comfort conditions depend not only on temperature changes, but also on humidity and wind speed trends. A comparison of calculations of the length of thermal comfort periods using air temperature observations and major bioclimatic indices revealed a significant difference in the effect of changes in average wind speed on the length of the thermal comfort period in different regions of European Russia.