

Метеорология
Калинин Н.А., Ветров А.Л.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.586

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-83-94

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ИНДЕКСОВ КОМФОРТНОСТИ КЛИМАТА В ПЕРМИ И ГОРОДАХ-МИЛЛИОННИКАХ СИБИРИ В ХОЛОДНЫЙ И ТЕПЛЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА

Николай Александрович Калинин¹, Андрей Леонидович Ветров²

¹ Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, Россия

^{1,2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

¹ kalinin@psu.ru

² alvetrov@yandex.ru

Аннотация. Погода и климат оказывают большое влияние на различные отрасли экономики, а также определяют самочувствие и работоспособность человека. У метеочувствительных людей резкая перемена погоды может сопровождаться ухудшением самочувствия и обострением хронических заболеваний. Основными метеорологическими показателями комфортности погоды и климата для человека являются температура, влажность и давление воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки. Характеристика комфортности дается на основе биоклиматических индексов, которые в физическом отношении определяют особенности тепловой структуры среды, являясь косвенным индикатором состояния теплового поля, окружающего человека. В работе рассмотрены наиболее распространенные биоклиматические индексы – эффективная температура (ЭТ) и эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), которые широко используются в России и странах СНГ. Исследование особенностей изменения ЭТ и ЭЭТ в холодный и теплый периоды года в городах-миллионниках Пермь, Омск, Новосибирск и Красноярск за 1991–2020 гг. показало, что по ЭЭТ климат во всех городах более суровый, чем по ЭТ, особенно в холодный период. Это объясняется тем, что при температуре ниже +7 °С любой ветер (даже для одетого человека) является охлаждающим фактором. Максимальные значения ЭТ во все месяцы холодного периода наблюдаются в Перми – самом западном из исследуемых городов-миллионников, где сказывается тепляющее влияние Атлантики. Максимальные значения ЭЭТ в ноябре-январе фиксируются в Перми, в остальные месяцы – в Красноярске, где, во-первых, ветровая нагрузка заметно меньше, чем в Перми, во-вторых, особенно в феврале и марте сказывается наличие полыни в нижнем бьефе Красноярского водохранилища. Изменчивость ЭТ и ЭЭТ в теплый период года более разнообразна, чем в холодный. Как в теплый, так и в холодный периоды отмечается устойчивая тенденция роста положительных аномалий со временем, что свидетельствует об увеличении комфортности климата. Однако в Красноярске в холодный период наблюдается тенденция к уменьшению положительных аномалий, указывающая на снижение комфортности климата.

Ключевые слова: биоклиматические индексы, эффективная температура, эквивалентно-эффективная температура, города-миллионники

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00098.

Для цитирования: Калинин Н.А., Ветров А.Л. Особенности изменений индексов комфортности климата в Перми и городах-миллионниках Сибири в холодный и теплый периоды года // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 3 (70). С. 83–94. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-83-94

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-83-94

PECULIARITIES OF CHANGES IN CLIMATE COMFORT INDICES IN THE CITY OF PERM AND SIBERIAN CITIES IN COLD AND WARM PERIODS OF THE YEAR

Nikolay A. Kalinin¹, Andrey L. Vetrov²

¹ Institute of Continuous Media Mechanics, UB RAS, Perm, Russia

^{1,2} Perm State University, Perm, Russia

¹ kalinin@psu.ru

² alvetrov@yandex.ru

Abstract. Weather and climate have a great impact on various sectors of the economy, as well as on human well-being and performance. In weather-sensitive people, a sudden change in weather can be accompanied by a deterioration in their general condition and exacerbation of chronic diseases. The main meteorological indicators of weather and climate comfort for humans are temperature, humidity and air pressure, wind speed, precipitation. Comfort is characterized through bioclimatic indices, which physically describe the features of the thermal structure of the environment, being an indirect indicator of the state of the thermal field surrounding a



Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

person. The paper deals with the most widespread bioclimatic indices – effective temperature (ET) and equivalent effective temperature (EET), which are widely used in Russia and CIS countries. The study of the peculiarities of changes in ET and EET in cold and warm periods of the year in the cities of Perm, Omsk, Novosibirsk, and Krasnoyarsk, all having over a million inhabitants, for 1991–2020 showed that according to EET the climate in all the cities is more severe than according to ET, especially in the cold period. This is explained by the fact that at temperatures below +7°C, any wind (even for a fully clothed person) is a cooling factor. The maximum values of ET in all months of the cold period are observed in Perm, the westernmost of the studied cities, where the warming influence of the Atlantic has an effect. The maximum values of EET in November–January are recorded in Perm, in other months – in Krasnoyarsk, where, firstly, the wind load is noticeably less than in Perm, and secondly, the presence of a polynya in the lower reach of the Krasnoyarsk Reservoir has an impact, especially in February and March. The variability of ET and EET in the warm period of the year is more diverse than in the cold period. In both warm and cold periods, there is a stable tendency for positive anomalies to increase with time, indicating an increase in climate comfort. However, in Krasnoyarsk, in the cold period, there is a tendency for a decrease in positive anomalies, indicating a decline in climate comfort.

Keywords: bioclimatic indices, effective temperature, equivalent effective temperature, million cities

Funding. The study was funded by the Russian Science Foundation, grant No. 22-61-00098.

For citation: Kalinin, N.A., Vetrov, A.L. (2024). Peculiarities of changes in climate comfort indices in the city of Perm and Siberian cities in cold and warm periods of the year. *Geographical Bulletin*. No. 3(70). Pp. 83–94. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-83-94

Введение

Погода и климат оказывают большое влияние на различные отрасли экономики, а также определяют самочувствие и работоспособность человека [7; 12; 14; 17; 18; 20; 27; 28]. Адаптация здорового организма к изменчивости метеорологических величин в пространстве и во времени происходит автоматически и незаметно. Однако у метеочувствительных людей резкая перемена погоды может сопровождаться ухудшением самочувствия и, как следствие, обострением хронических заболеваний [1; 3; 4; 9; 24–26; 30; 31].

Основными метеорологическими показателями комфортности погоды и климата для человека являются температура и влажность воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки и давление. Характеристика комфортности дается на основе специальных параметров – биоклиматических индексов, которые в физическом отношении характеризуют особенности тепловой структуры среды и являются косвенным индикатором состояния теплового поля, окружающего человека [14]. В данной работе рассмотрены наиболее распространенные биоклиматические индексы, такие как эффективная температура ($ЭТ$) и эквивалентно-эффективная температура ($ЭЭТ$), которые широко используются в России и странах СНГ [2; 8; 10; 11; 13; 15; 19; 21–23; 29; 32; 34].

Цель данной статьи заключается в рассмотрении особенностей изменения $ЭТ$ и $ЭЭТ$ в холодный (ноябрь, декабрь, январь, февраль, март) и теплый (апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь) периоды в Перми и городах-миллионниках Сибири за 1991–2020 гг. Критерием разделения года на холодный и теплый периоды стала многолетняя среднемесячная температура воздуха: в месяцы холодного периода во всех исследуемых городах она отрицательная, а в месяцы теплого периода – положительная. Представленное исследование является логическим продолжением предыдущей работы авторов [16], в которой рассчитаны среднемесячные величины $ЭТ$, $ЭЭТ$ и индекса Бодмана, а также проанализированы результаты изменчивости временного хода среднегодовых значений $ЭТ$ и $ЭЭТ$ за период 1991–2020 гг. В связи с тем, что индекс Бодмана по определению рассчитывается за холодный период, и особенности динамики его изменения по отдельным десятилетиям (1991–2000, 2001–2010 и 2011–2020 гг.) также уже были освещены в упоминаемой работе [16], вторично эта информация в данной статье не приводится.

Анализ изменений $ЭТ$ и $ЭЭТ$ во времени является достаточно репрезентативной характеристикой изменений степени комфортности климата и погодных условий в данных городах-миллионниках в период современного потепления климата. Выбранные города имеют важную общую физико-географическую особенность – наличие крупной реки. Реки в Перми, Новосибирске и Красноярске находятся под регулирующим воздействием плотин гидроэлектростанций, что формирует зимнюю полынью в нижнем бьефе. Только в Омске р. Иртыш не перегороджена плотиной.

Районирование территории России по степени комфорта/дискомфорта окружающей среды показало, что Пермь, Омск, Новосибирск и Красноярск по природным условиям жизни населения находятся в разных зонах – от «благоприятной» (Омск) и «условно благоприятной» (Пермь) до «условно неблагоприятной» (Красноярск и Новосибирск) [6], поэтому данный анализ позволяет сравнить скорость изменения степени комфортности в исследуемых городах, находящихся в разных зонах.

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

Материалы и методы исследований

В качестве исходной информации использовались срочные и среднесуточные данные по температуре воздуха, относительной влажности и скорости ветра на метеорологических станциях Пермь, Омск, Новосибирск (Огурцово) и Красноярск (опытное поле) Росгидромета с информационного ресурса ВНИИГМИ-МЦД за 1991–2020 гг. [33].

Метеостанция Пермь находится в Уфимско-Сылвенской провинции лесной области Русской равнины. Местность представляет собой возвышенную волнисто-вогнутую равнину со средними высотами 100–200 м, а особенностью рельефа является сильная расчлененность речной сетью. Метеоплощадка расположена на высоте 171 м над уровнем моря на левом берегу р. Камы восточной окраины г. Перми. Расстояние от метеостанции Пермь до р. Камы составляет 5,3 км.

Метеостанция Омск находится на северной окраине города в 3 км от р. Иртыш на высоте 122 м над уровнем моря на равнинной местности в окружении распаханых полей.

Метеостанция Новосибирск (Огурцово) расположена на юго-западной окраине Новосибирска в равнинной местности на высоте 131 м над уровнем моря при удаленности от р. Обь на расстоянии 4,5 км.

Метеостанция Красноярск (опытное поле) находится в центре поселка плодово-ягодной станции, в 8 км к западу от г. Красноярска, в лесостепной зоне, в крупнохолмистой, сильно пересеченной местности. Метеоплощадка расположена на высоте 277 м над уровнем моря на левом берегу р. Енисей. Расстояние от метеостанции Красноярск (опытное поле) до р. Енисей составляет 6 км.

Все станции входят в состав реперной климатической сети Росгидромета.

Приведем основные сведения по выбранным биоклиматическим индексам.

1. Эффективная температура ($ЭТ$), которая характеризует эффект воздействия на человека температуры и влажности воздуха.

Модель эффективной температуры объединяет физиологические факторы тела и кожного покрова, физические особенности одежды и воздушного слоя, находящегося в непосредственной близости к телу, а также метеорологические факторы окружающей среды. Сопrotивляемость организма окружающей среде зависит от физических особенностей человека, поэтому модель разработана для «среднего» человека, т.е. взрослого человека средней комплекции, одетого по погоде и идущего в тени. Понятие $ЭТ$ впервые было введено А. Миссенардом и рассчитывается по следующей формуле [35]:

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

где t – температура воздуха; °С; f – относительная влажность воздуха, %.

Из формулы (1) следует, что при температуре воздуха ниже 10 °С сухой воздух кажется теплее, чем влажный, а при температуре выше 10 °С, наоборот, холоднее.

Эффективная температура получила широкое распространение в практике оценок тепловых нагрузок, а также комфортности (дискомфортности) окружающей среды. Категории тепловых нагрузок и теплоощущения оцениваются по $ЭТ$ в зависимости от сезона года [14]. Для широтной зоны, в которой находятся Пермь, Омск, Новосибирск и Красноярск, градации комфорта можно определить из табл. 1–2 [28].

Таблица 1

Категории тепловых нагрузок и теплоощущения для холодного сезона по $ЭТ$
Categories of heat loads and heat sensation for the cold season by ET

Характеристика	$ЭТ, °С$		
	≤ -21	$-20 \dots -11$	$-10 \dots 0$
Теплоощущение	крайне холодно	очень холодно	холодно
Тепловая нагрузка	очень сильная	сильная	умеренная

Таблица 2

Категории тепловых нагрузок и теплоощущения для теплого сезона по $ЭТ$
Categories of heat loads and heat sensation for the cold season by ET

Характеристика	$ЭТ, °С$			
	$0 \dots 17$	$18 \dots 24$	$25 \dots 30$	≥ 31
Теплоощущение	прохладно	тепло	жарко	очень жарко
Тепловая нагрузка	очень слабая	слабая	умеренная	сильная

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

2. Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) является более полной биоклиматической характеристикой по сравнению с ЭТ , поскольку учитывает влияние ветра. В подвижном воздухе усиливается теплоотдача с поверхности тела, поэтому изменяется и теплоощущение. При этом возможны самые разные сочетания температуры и относительной влажности воздуха, а также ветра, при которых степень теплоощущения будет одинакова и соответствовать теплоощущениям в случае насыщенного водяного пара ($f = 100\%$) и отсутствии ветра ($V = 0$) [14].

В данной работе для расчета ЭЭТ использовалась формула А. Миссенарда [35]:

$$\text{ЭЭТ} = 37 - \frac{37-t}{0,68-0,0014f+\frac{1}{1,76+1,4V^{0,75}}} - 0,29t(1-f/100), \quad (2)$$

где t – температура воздуха; $^{\circ}\text{C}$; f – относительная влажность воздуха; $\%$; V – скорость ветра, м/с.

Для широтной зоны, в которой находятся исследуемые города, градации комфорта по значениям ЭЭТ можно определить из табл. 3–4 [28].

Таблица 3

Категории тепловых нагрузок и теплоощущения для холодного сезона по ЭЭТ
Categories of heat loads and heat sensation for the cold season by EET

Характеристика	$\text{ЭЭТ}, ^{\circ}\text{C}$		
	≤ -22	$-21 \dots -12$	$-11 \dots 0$
Теплоощущение	крайне холодно	очень холодно	холодно
Тепловая нагрузка	очень сильная	сильная	умеренная

Таблица 4

Категории тепловых нагрузок и теплоощущения для теплого сезона по ЭЭТ
Categories of heat loads and heat sensation for the cold season by EET

Характеристика	$\text{ЭЭТ}, ^{\circ}\text{C}$			
	$0 \dots 16$	$17 \dots 23$	$24 \dots 29$	≥ 30
Теплоощущение	прохладно	тепло	жарко	очень жарко
Тепловая нагрузка	очень слабая	слабая	умеренная	сильная

Для полного анализа динамики изменения ЭТ и ЭЭТ были рассчитаны аномалии среднесуточных биоклиматических индексов в городах Пермь, Омск, Новосибирск и Красноярск. Они вычислялись как отклонения среднесуточных значений за каждый день месяца (T_i) от осредненного среднесуточного значения (T_{cp}), вычисленного за весь исследуемый период 1991–2020 гг.

Результаты и обсуждение

Приведенные ниже результаты по расчету биоклиматических индексов представляют собой значения ЭТ и ЭЭТ , полученные путем осреднения их среднесуточных величин и соответствующих аномалий в целом за холодный и теплый периоды года.

Холодный период. В холодный период года наибольшая повторяемость дней с тепловыми ощущениями человека по ЭТ во всех городах находится в градации «холодно», т.е. $-10 \dots 0^{\circ}\text{C}$. При этом в Омске, Новосибирске и Красноярске количество таких дней в среднем за холодный период примерно одинаково (79–82), а в Перми повторяемость дней с холодной погодой выше, чем в других городах и составляет 94 дня. Также следует выделить такие месяцы, как январь и февраль в Омске и январь в Новосибирске, где теплоощущение находится преимущественно в градации «очень холодно».

Дни с тепловым ощущением «крайне холодно» ($< -21^{\circ}\text{C}$) встречаются достаточно редко – в 1–6 % случаев во все месяцы холодного периода, за исключением марта. Кроме того, в ноябре в Перми, в отличие от других городов, крайне холодная погода не наблюдается. Очевидно, что данный месяц в Перми, городе, находящемся среди рассматриваемых максимально западнее, «смягчается» циклонами, поступающими сюда из районов Атлантики, что подтверждается и увеличением дней с крайне холодной погодой с запада на восток. Число дней с прохладной погодой ($0 \dots 17^{\circ}\text{C}$) в такие месяцы, как ноябрь и март, не превышает 1 %. Теплоощущения в градации «очень холодно» и «холодно» отмечаются в течение всех месяцев холодного периода и составляют 22–34 и 9–14 % соответственно.

В отличие от ЭТ , холодный период по ЭЭТ более суровый. Необходимо отметить, что холодный период в Перми и Красноярске очень похож между собой так же, как и в другой паре – между Омском и Новосибирском. Так, наибольшая повторяемость дней с тепловыми ощущениями человека по ЭЭТ в Перми и Красноярске находится в градации «очень холодно» (48–45 %), а в Омске и Новосибирске наибольшая повторяемость дней оценивается как «крайне холодно» (49–53 %). При этом повторяемость

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

дней с погодой «крайне холодно» в Перми и Красноярске составляет 34 и 31 % соответственно. В Омске и Новосибирске теплоощущения в градации «очень холодно» встречается в 37–38 % (56–57 дней), а дней с холодной погодой ($-11...0$ °C) встречается достаточно мало – 9–23 % случаев. Очень редко во всех городах повторяется теплоощущение человека в градации «прохладно» ($0...16$ °C) – всего 1 % случаев, что вполне объяснимо, так как речь идет все же о холодном периоде года. В основном такие дни отмечаются в ноябре и марте, но в одном случае это произошло 26 февраля 2016 г. в Красноярске.

Как показано нами ранее [16], по средним многолетним значениям минимальные величины ЭТ в Новосибирске наблюдаются в январе и марте, причем в январе такой же уровень данного индекса отмечается в Омске. Кроме того, в ноябре так же, как и в марте, одинаковые минимальные значения ЭТ отмечаются в двух городах – Омске и Красноярске. В Омске также в декабре и феврале фиксируются минимальные значения ЭТ по сравнению с другими городами. Максимальные значения ЭТ во все месяцы холодного периода наблюдаются в Перми – самом западном из исследуемых городе-миллионнике, где сказывается обогревающее влияние Атлантики. Максимальные значения ЭЭТ в ноябре, декабре и январе фиксируются в Перми, в остальные месяцы – в Красноярске, где, во-первых, ветровая нагрузка заметно меньше, чем в Перми, во-вторых, особенно в феврале и марте сказывается наличие полыни в нижнем бьефе Красноярского водохранилища [5]. Минимальные значения ЭЭТ во все месяцы холодного периода отмечаются в Новосибирске.

Далее рассмотрим изменения биоклиматических индексов по десятилетиям, обозначив их соответственно, как первое (1991–2000 гг.), второе (2001–2010 гг.) и третье (2011–2020 гг.). Согласно рис. 1, с первого по второе десятилетие по ЭТ во всех городах отмечается увеличение комфортности климата в ноябре и марте, а также в январе в Перми ($+0,6$ °C). Также в ноябре наблюдается увеличение комфортности с востока на запад: Красноярск ($+1,2$ °C), Новосибирск ($+2,4$ °C), Омск ($+2,9$ °C), Пермь ($+2,9$ °C). В марте наибольшее увеличение комфортности наблюдается в Омске ($+2,8$ °C). Рост ЭТ в остальных городах скромнее – в Перми $+0,8$ °C, в Новосибирске $+2,2$ °C, в Красноярске $+1,1$ °C. В остальные месяцы отмечается снижение комфортности. При этом в Перми наблюдается наименьшее снижение комфортности ($-0,3...-0,6$ °C), но по мере продвижения на восток это снижение увеличивается – в Омске до $-0,5...-1,4$ °C, в Новосибирске до $-1,5...-2,2$ °C, в Красноярске до $-1,4...-3,1$ °C.

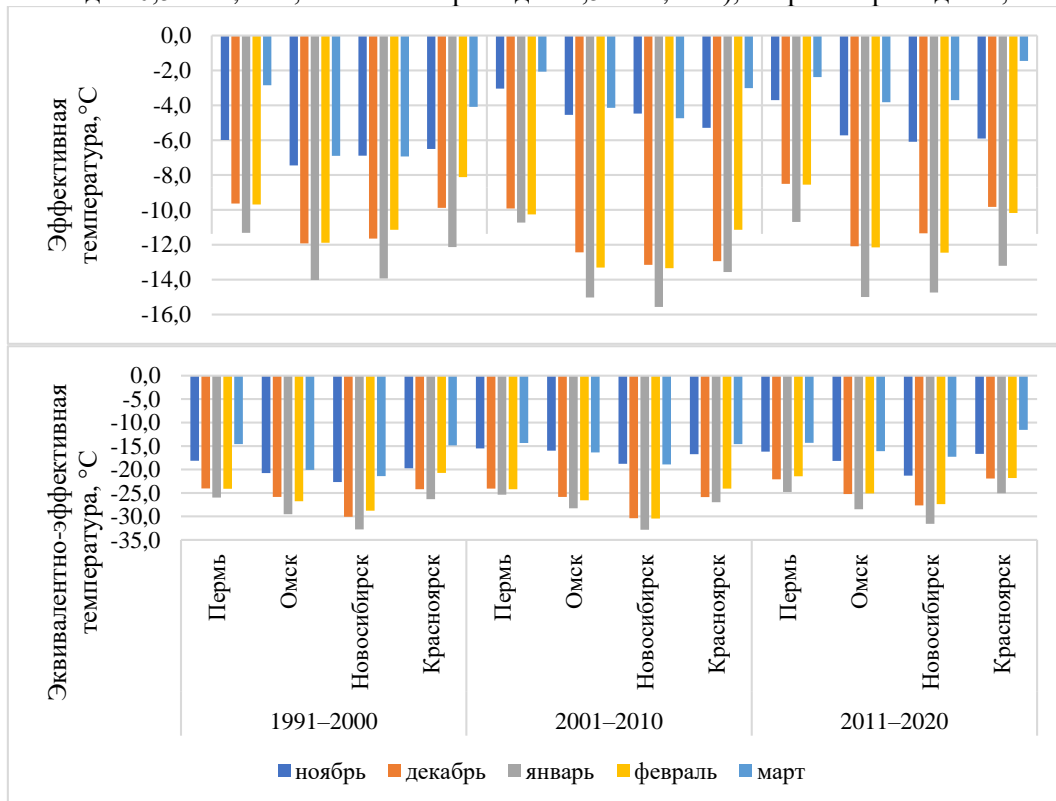


Рис. 1. Изменение ЭТ (вверху) и ЭЭТ (внизу) в месяцы холодного полугодия по десятилетиям
Fig. 1. Change of ET (top) and EET (bottom) in the months of the cold half-year by decade

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

Со второго по третье десятилетие отмечается устойчивое увеличение комфортности климата в марте в Омске (+0,3 °С), Новосибирске (+1,0 °С) и Красноярске (+1,6 °С). В Перми в марте наблюдается снижение комфортности на -0,3 °С, а в январе ЭТ за последнее десятилетие она не изменилась так же, как и в Омске. Необходимо отметить, что в те месяцы, где с первого десятилетия по второе отмечается уменьшение комфортности (декабрь, январь, февраль), теперь с последним десятилетием наблюдается увеличение: Пермь (+1,4...+1,7 °С), Омск (+0,3...+1,2 °С), Новосибирск (+0,8...+1,8 °С), Красноярск (+0,4...+3,1 °С).

По ЭЭТ с первого по второе и со второго по третье десятилетие наблюдается устойчивое увеличение комфортности климата в ноябре в Красноярске (+3,0...+0,1 °С), в январе в Перми (+0,6...+0,6 °С), в феврале в Омске (+0,2...+1,4 °С) и в марте во всех городах (рис. 1). Также увеличение комфортности климата с первого по второе десятилетие наблюдается в ноябре во всех городах (+2,6...+4,8 °С) и в январе в Омске (+1,3 °С), а снижение климата за данные десятилетия – в декабре и феврале в Новосибирске (-0,3 и -1,6 °С), в декабре, январе и феврале в Красноярске (-1,7, -0,7 и -3,4 °С), а также в феврале в Перми (-0,1 °С). Значение ЭЭТ не изменилось с первого по второе десятилетие в декабре в Перми и Омске, в январе в Новосибирске. Со второго по третье десятилетие увеличение комфортности климата отмечается в декабре, январе и феврале в Новосибирске (+2,7, +1,2 и +3,0 °С) и Красноярске (+4,0, +1,9 и +2,3 °С), а также в феврале в Перми (+2,8 °С). Снижение комфортности за последние два десятилетия наблюдается в ноябре в Перми (-0,7 °С), Омске (-2,2 °С) и Новосибирске (-2,5 °С) и в январе в Омске (-0,3 °С).

Для более полного анализа динамики биоклиматических индексов также были рассмотрены их аномалии за холодный период (рис. 2). Ежегодные аномалии ЭТ и ЭЭТ за данный период рассчитывались как алгебраическая сумма ежесуточных аномалий.

В среднем за весь рассматриваемый период 1991–2020 гг. наблюдается тенденция на увеличение положительных аномалий по данным индексам во всех городах, кроме ЭТ в Красноярске, где происходит смена знака с положительного к отрицательному, что указывает на снижение комфортности климата в данном городе.

Теплый период. В данный период года наибольшая повторяемость дней с тепловыми ощущениями человека по ЭТ в апреле и октябре во всех городах находится в пределах 0...17 °С. Количество дней с тепловыми ощущениями «прохладно» составляет 8–10, а «холодно» – 3–8. Еще меньше в этих месяцах отмечается дней с градацией «тепло» (18...24 °С) – 1–3 дня.

В сентябре распределение дней по градациям тепловых ощущений примерно одинаково между городами, однако в мае такое распределение схоже только между Пермью и Красноярском. Также в мае в Новосибирске погода по тепловым ощущениям менее комфортна по сравнению с остальными городами, а в Омске, наоборот, наиболее комфортна. При этом в Новосибирске в мае еще отмечаются дни с холодной погодой (4 дня) (табл. 1).

В июне и августе наибольшая повторяемость (15–20 дней) ЭТ во всех городах приходится на температурный интервал 12...18 °С, находящийся в пограничной зоне между тепловыми ощущениями «прохладно» и «тепло», а в июле (14–18 дней) – на интервал 18...24 °С, что соответствует градации «тепло» (табл. 2). В июле и августе во всех городах и в июне в Перми и Омске очень редко отмечаются дни с тепловым ощущением «жарко» – 1 %.

По ЭЭТ погода во всех городах менее комфортная, так же, как и в холодную половину года. В апреле и октябре наибольшая повторяемость дней (16–21) относится к градации «холодно». Крайне редко отмечаются дни с очень холодной погодой – 1 %. В остальные месяцы наибольшая повторяемость дней по ЭЭТ отмечается в градации «прохладно» – 69–81 %.

Как показано нами ранее [16], по средним многолетним значениям ЭТ наибольшие значения фиксируются в апреле, мае, июне, сентябре и октябре в Омске, а в июле – в Новосибирске. Кроме того, максимальные значения по данному индексу одинаковы между Омском и Новосибирском. Минимальные значения отмечаются в Перми с июля по август, а в остальные месяцы – в Красноярске. Максимальные значения ЭЭТ во все месяцы теплого периода наблюдаются в Омске, кроме июля, где максимальное значение отмечается в Красноярске. Минимальные значения в апреле и октябре фиксируются в Новосибирске, в мае и сентябре – в Красноярске, а в остальные месяцы (с июня по август) в Перми.

Метеорология
Калинин Н.А., Ветров А.Л.

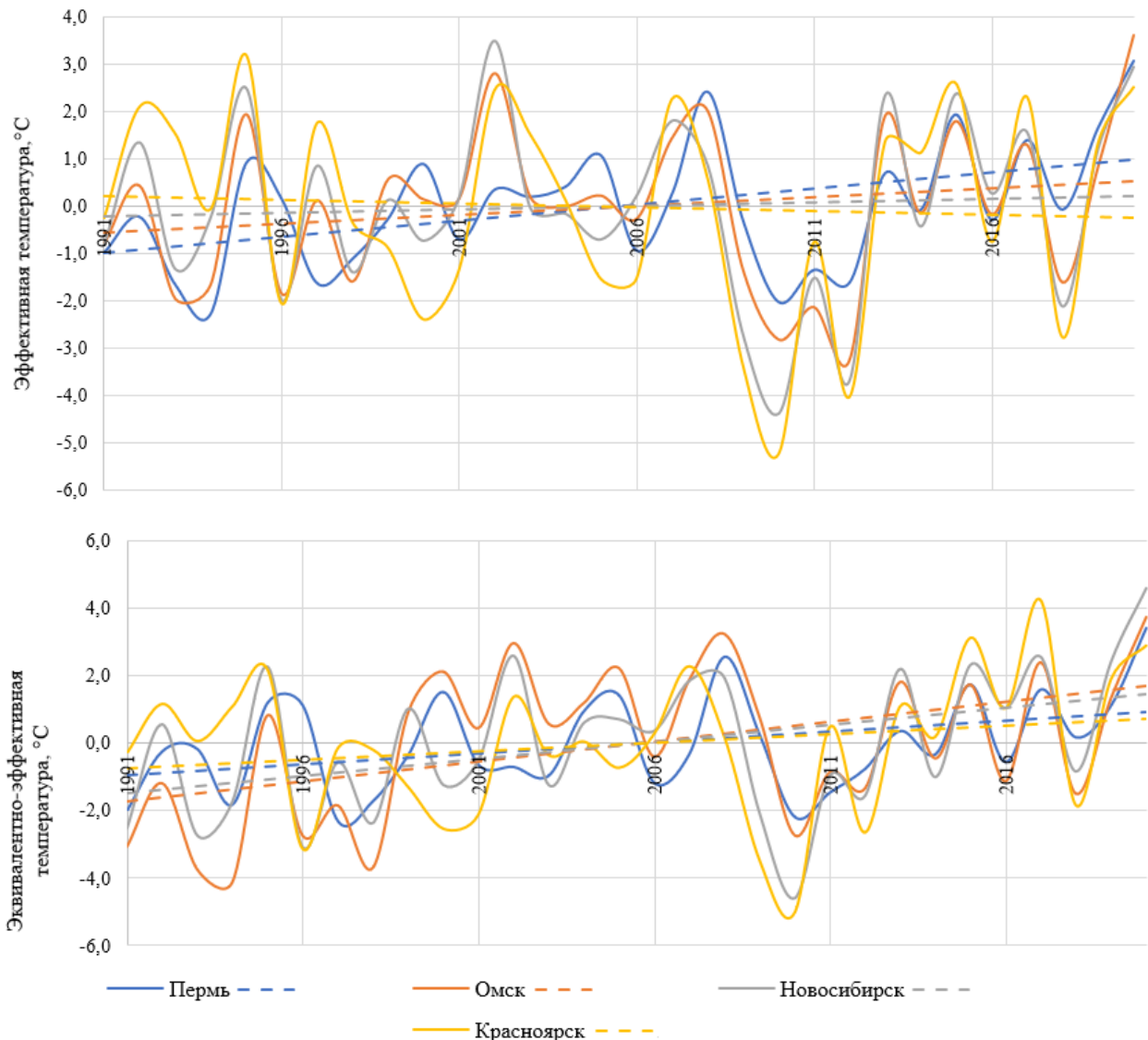


Рис. 2. Временной ход аномалий ЭТ (вверху) и ЭЭТ (внизу) в холодный период года.
Сплошные линии – ежегодные значения аномалий, пунктирные линии – их линейная аппроксимация
Fig. 2. Time course of ET (top) and EET (bottom) anomalies in the cold period of the year.
Solid lines — annual values of anomalies, dotted lines — their linear approximation

При рассмотрении изменения климата на основе ЭТ по десятилетиям (рис. 3) можно отметить, что с первого по второе десятилетие отмечается увеличение комфортности климата в мае и сентябре во всех городах (+0,3...+1,4 °C), в апреле в Красноярске (+0,1 °C), в мае в Перми (+1,5 °C) и Омске (+0,4 °C), в июне в Омске (+0,6 °C), Новосибирске (+0,8 °C) и Красноярске (+1,6 °C), в июле в Перми (+0,7 °C), а также в октябре в Новосибирске (+0,1 °C). Снижение комфортности климата наблюдается в Перми в такие месяцы, как апрель (-0,3 °C), июнь (-1,1 °C) и октябрь (-0,2 °C), в Омске в апреле (-0,1 °C), июле (-0,7 °C) и октябре (-0,2 °C), в Новосибирске в июле (-1,0 °C) и августе (-0,2 °C), в Красноярске в июле (-0,4 °C), августе (-0,4 °C) и октябре (-0,1 °C).

Со второго по третье десятилетие отмечается увеличение комфортности по ЭТ в августе в Омске (+0,5 °C), Новосибирске (+0,6 °C) и Красноярске (+1,1 °C), в июле (+0,1...+0,6 °C) и апреле (+0,4...+2,8 °C) во всех городах, а также в июне в Омске и Новосибирске, где изменение составило +0,4 °C в обоих городах. В сентябре в Омске, в августе в Перми и в июле в Красноярске за последние два десятилетия значения ЭТ не изменились (рис. 3).

Метеорология
Калинин Н.А., Ветров А.Л.

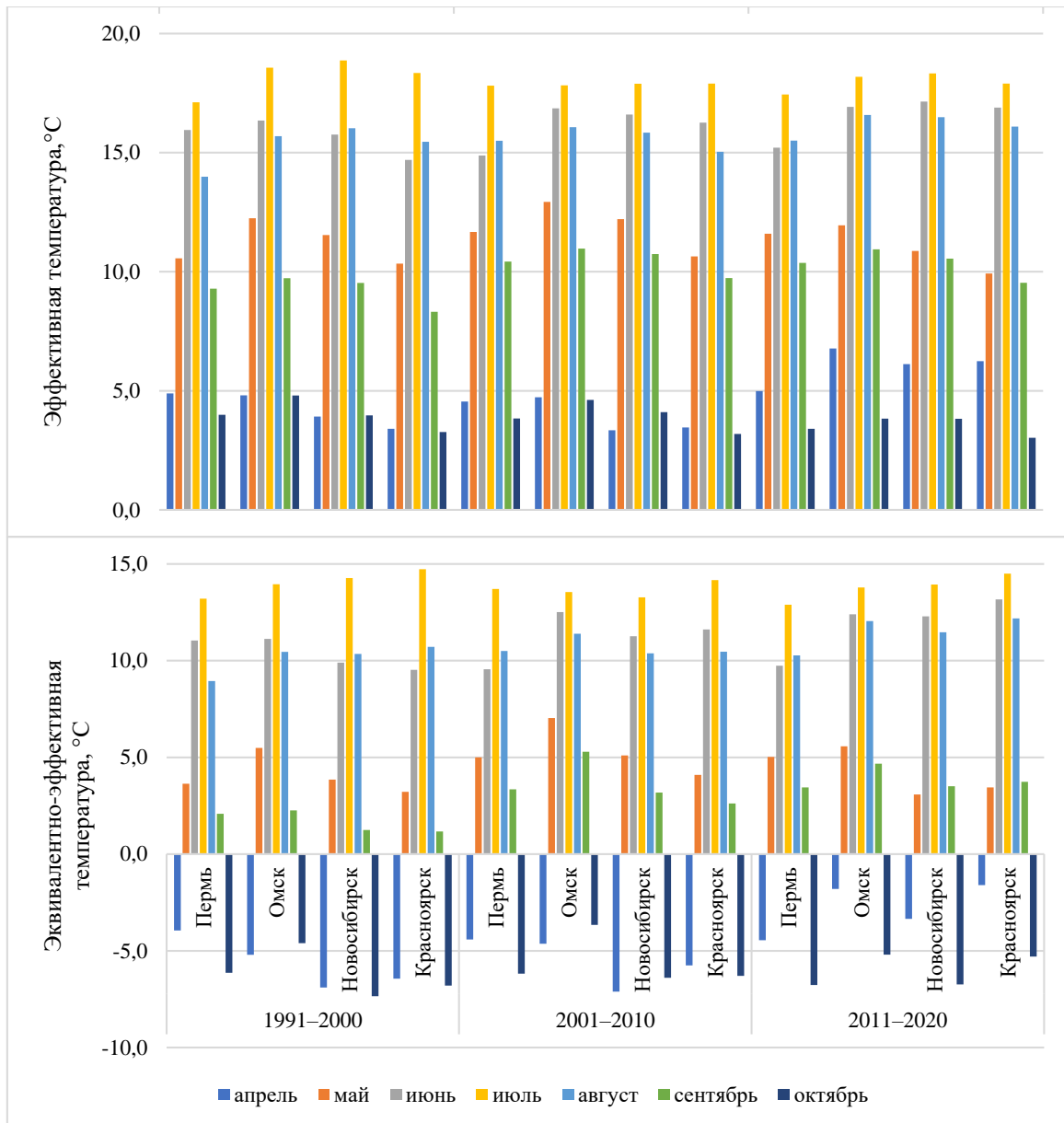


Рис. 3. Изменение ЭТ (вверху) и ЭЭТ (внизу) в месяцы теплого полугодия по десятилетиям
Fig. 3. Change of ET (top) and EET (bottom) in the months of the warm half-year by decade

По многолетним значениям ЭЭТ с первого по второе и со второго по третье десятилетие наблюдается устойчивое увеличение комфортности климата в Перми в сентябре (+1,3 и +0,1 °C), в Омске в апреле (+0,6 и +2,8 °C) и августе (+0,9 и 0,7 °C), в Новосибирске в июне (+1,4 и +1,0 °C) и сентябре (+1,9 и +0,3 °C), в Красноярске в июне (+2,1 и +1,6 °C) и сентябре (+1,4 и 1,1 °C). Также в октябре в Перми отмечается устойчивое снижение комфортности климата (–0,1 и –0,6 °C).

Так же, как и в случае холодного периода, для более полного анализа динамики биоклиматических индексов были рассмотрены их аномалии за теплый период (рис. 4). Ежегодные аномалии ЭТ и ЭЭТ за данный период также рассчитывались как алгебраическая сумма ежесуточных аномалий.

В теплый период с 1991 по 2020 г. по ЭТ и ЭЭТ отмечается тенденция роста положительных аномалий, что свидетельствует о повышении комфортности климата (рис. 4). Однако стоит отметить, что по ЭЭТ в Перми наблюдается слабый рост положительных аномалий, вследствие чего можно сделать вывод о более медленном увеличении комфортности климата, чем в других городах.

Метеорология
Калинин Н.А., Ветров А.Л.

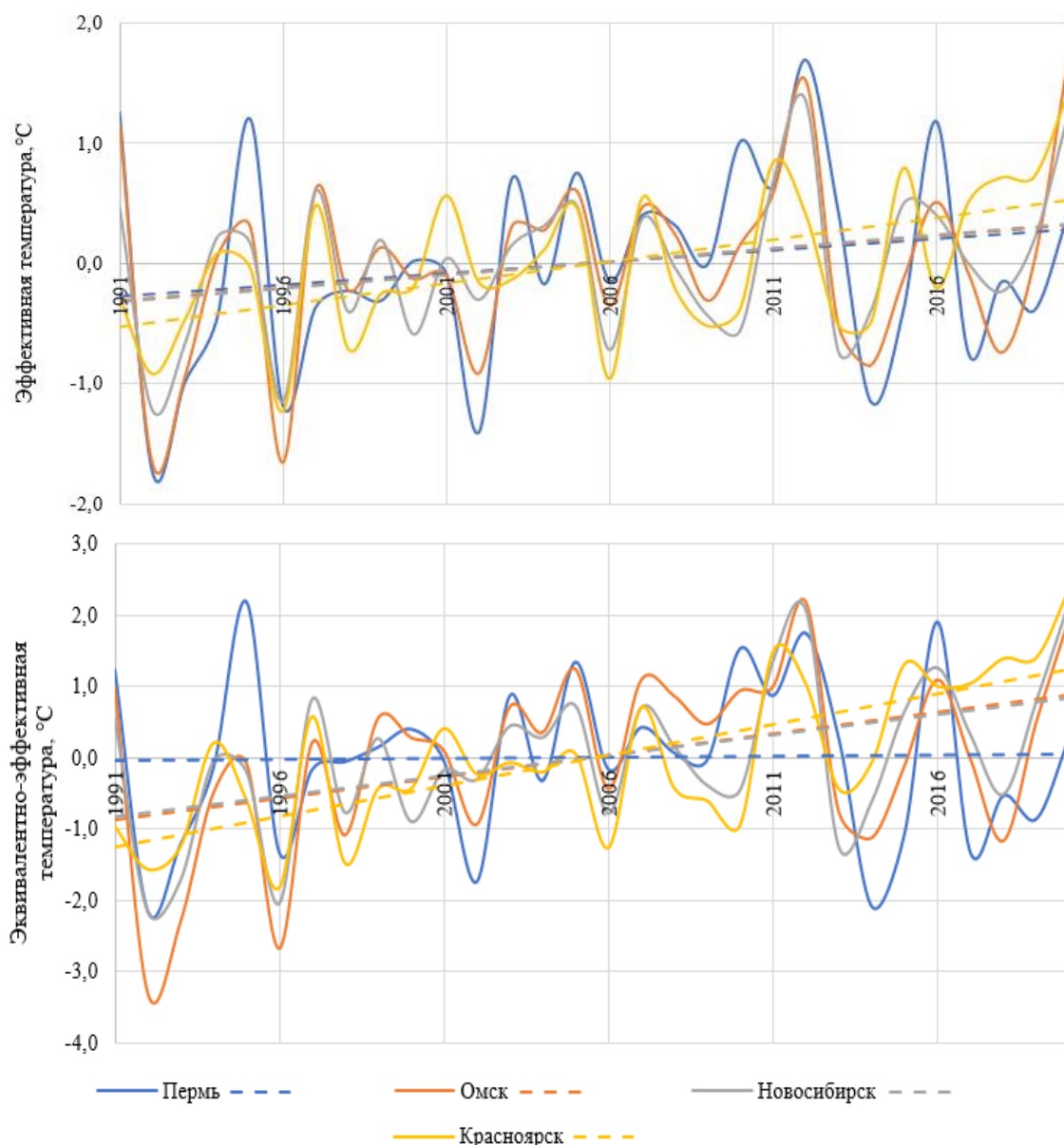


Рис. 4. Временной ход аномалий ЭТ (вверху) и ЭЭТ (внизу) в теплый период года. Сплошные линии – ежегодные значения аномалий, пунктирные линии – их линейная аппроксимация

Fig. 4. Time course of ET (top) and EET (bottom) anomalies in the warm period of the year.

Solid lines — annual values of anomalies, dotted lines — their linear approximation.

Заключение

В результате проведенного исследования биоклиматических индексов, таких как эффективная температура и эквивалентно-эффективная температура, в городах-миллионниках Перми, Омске, Новосибирске и Красноярске за 1991–2020 гг. можно сделать следующие выводы:

1. По ЭЭТ климат во всех городах более суровый, чем по ЭТ, особенно в холодный период года. Это объясняется тем, что при температуре ниже $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ любой ветер (даже для одетого человека) является охлаждающим фактором.

2. Максимальные значения ЭТ во все месяцы холодного периода наблюдаются в Перми – самом западном из исследуемых городов-миллионников, где сказывается тепляющее влияние Атлантики. Максимальные значения ЭЭТ в ноябре, декабре и январе фиксируются в Перми, в остальные месяцы – в Красноярске, где, во-первых, ветровая нагрузка заметно меньше, чем в Перми, во-вторых, особенно

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

в феврале и марте сказывается наличие полыньи в нижнем бьефе Красноярского водохранилища. Минимальные значения ЭЭТ во все месяцы холодного периода отмечаются в Новосибирске.

3. Изменчивость ЭТ и ЭЭТ в теплый период года более разнообразна, чем в холодный. В частности, наибольшие значения ЭТ фиксируются в апреле, мае, июне, сентябре и октябре в Омске, а в июле – в Новосибирске. Кроме того, максимальные значения по данному индексу одинаковы между городами Омск и Новосибирск. Минимальные значения отмечаются в Перми с июля по август, а в остальные месяцы – в Красноярске. Максимальные значения ЭЭТ во все месяцы теплого периода наблюдаются в Омске, кроме июля, где максимальное значение отмечается в Красноярске. Минимальные значения в апреле и октябре фиксируются в Новосибирске, в мае и сентябре – в Красноярске, а в остальные месяцы (с июня по август) – в Перми.

4. Наибольшие значения аномалий ЭТ и ЭЭТ наблюдаются в холодный период года. Как в теплый, так и в холодный периоды отмечается устойчивая тенденция роста положительных аномалий со временем, что свидетельствует об увеличении комфортности климата. Однако в Красноярске в холодный период отмечается тенденция на уменьшение положительных аномалий, что указывает на снижение комфортности климата.

Библиографический список

1. Андреев С.С. Человек и окружающая среда. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ АПСН, 2005. 272 с.
2. Андрияшин И.Б., Вальцева Е.А., Мешков Н.А. Оценка общей комфортности климата на территории Поволжья, республики Алтай и республики Хакасии // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 11. С. 1212–1215.
3. Арнольди И.А. Акклиматизация человека на Севере и Юге. М.: Медгиз, 1962. 71 с.
4. Бокша В.Г., Богучкий Б.В. Медицинская климатология и климатотерапия. Киев: Здоровья, 1980. 262 с.
5. Бураков Д.А., Ковшова Е.П., Ромасько В.Ю. Прогноз элементов ледового режима р. Енисей в осенне-зимний период в нижних бьефах высоконапорных ГЭС // Метеорология и гидрология. 2008. № 5. С. 93–102.
6. Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н. Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям // Известия РАН. Серия географическая. 2008. № 5. С. 106–117.
7. Виноградова В.В. Воздействие климатических условий на человека в засушливых землях Европейской России // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 2. С. 68–81.
8. Головина Е.Г., Русанов В.И. Некоторые вопросы биометеорологии. СПб: РГГМУ, 1998. 93 с.
9. Григорьева Е.А., Христофорова Н.К. Дискомфортность климата Еврейской автономной области // География и природные ресурсы. 2004. № 4. С. 101–104.
10. Добрынина И.В., Акимов Л.М., Куропан С.А. Медико-географическая оценка климатической комфортности территории Воронежской области // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 120–128.
11. Емелина С.В., Константинов П.Н., Малинина Е.П., Рубинштейн К.Г. Оценка информативности некоторых биометеорологических индексов для разных районов России // Метеорология и гидрология. 2014. № 7. С. 25–37.
12. Ермакова Л.Н., Ермакова Е.С. Влияние метеорологических условий на самочувствие человека // Географический вестник. 2012. № 2 (21). С. 45–52.
13. Ермакова Л.Н., Шкляев В.А., Филиппова А.П., Шкляева Л.С. Биоклиматическая оценка ландшафтных областей Пермского края и условий формирования микроклиматических особенностей // Географический вестник. 2016. № 4 (39). С. 70–83.
14. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. 458 с.
15. Исаева М.В., Переведенцев Ю.П. Особенности биоклиматических условий Приволжского федерального округа // Географический вестник. 2010. № 2 (13). С. 29–37.
16. Калинин Н.А., Ветров А.Л. Индексы комфортности климата в Перми и городах-миллионниках Сибири за 1991–2020 гг. // Геосферные исследования. 2023. № 4. С. 132–142.
17. Калинин Н.А., Ермакова Л.Н., Аликина И.Я. Особенности формирования высокой температуры воздуха в сентябре-октябре 2003 г. на Среднем и Южном Урале // Метеорология и гидрология. 2005. № 5. С. 82–89.
18. Калинин Н.А., Кислов А.В., Бабина Е.Д., Ветров А.Л. Оценка качества воспроизведения моделью MM5 температуры воздуха в июле на Урале // Метеорология и гидрология. 2010. № 10. С. 15–22.
19. Кузякина М.В., Гура Д.А. Оценка биоклиматических условий Краснодарского края с применением ГИС-технологий // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 3 (56). С. 66–76.
20. Логинов В.Ф., Хитриков М.А. Изменения биоклиматических индексов комфортности климата для человека на территории Беларуси за период с 1966 по 2020 гг. // Гидрометеорология и образование. 2021. № 4. С. 6–19.
21. Парфенова Е.Е., Переведенцев Ю.П. Особенности биоклимата г. Ульяновска в начале XXI века // Географический вестник. 2022. № 2 (61). С. 61–72.
22. Переведенцев Ю.П., Шумихина А.В. Динамика биоклиматических показателей комфортности природной среды в Удмуртской республике // Ученые записки казанского университета. Серия Естественных наук. 2016. Т. 158, кн. 4. С. 531–547.
23. Рахманов Р.С., Богомолова Е.С., Нарутдинов Д.А., Разгулин С.А., Потехина Н.Н., Непряхин Д.В. Оценка биоклиматических индексов на территориях субарктического и континентального климатических поясов Красноярского края. Гигиена и санитария. 2022. Т. 101, № 3. С. 288–293.
24. Русанов В.И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 86 с.
25. Севастьянов В.В., Горбатенко В.П., Журавлев Г.Г., Константинова Д.А., Нечепуренко О.Е., Носырева О.В. Природно-климатическая дифференциация Западной Сибири по условиям жизнедеятельности человека в холодный период года:

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, посвященной 415-летию города Томска. 2019. С. 199–203.

26. Севастьянов В.В., Сапьян Е.С., Филандышева Л.Б. Биоклиматические ресурсы рекреационного природопользования Алтае-Саянской горной страны в летний период // Геосферные исследования. 2020. № 3. С. 109–122.

27. Сухова М.Г. Биоклиматические условия жизнедеятельности человека в Алтае-Саянской горной стране. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. 260 с.

28. Ткачук С.В. Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды Гидрометцентра РФ. Гидрометеорологические прогнозы. 2012. Вып. 347. С. 223–245.

29. Трубина М.А., Хассо Л.А., Дячко Ж.К. Методы биоклиматической оценки Северо-Западного региона России // Ученые записки РГМУ. 2010. № 13. С. 121–137.

30. Худалова Ф.К. Оценка биоклиматических индексов и их связь с кардиоваскулярной патологией // Кубанский научный медицинский вестник. 2014. № 1. С. 173–176.

31. Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Константинов П.И., Ревич Б.А. Биоклиматический подход к оценке смертности населения во время аномальной жары на примере юга России // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 6. С. 47–55.

32. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории // Географический вестник. 2010. № 3 (14). С. 52–59.

33. AISORI-M.METEO.RU – профессиональный интернет-портал метеорологических данных URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (дата обращения: 14.07.2023).

34. Meshkova V. Current approaches to studying the level of pedestrian comfort in urban development / Meshkova V., Dekterev A., Litvintsev K., Filimonov S. // E3S Web of Conferences 435, (2023) 05004.

35. Missenard A. L'Homme et le climat // Paris: Plon, 1937. 186 p.

References

- Andreev S.S. (2005), Man and the environment. Rostov-on-Don, Russia, 272 p.
- Andryushin I.B., Valtseva E.A., Meshkov N.A. (2019), Assessment of overall climate comfort in the Volga region, the Altai Republic and the Republic of Khakas-sia // *Gigiena i sanitariya*, vol. 98, no. 11, pp. 1212–1215.
- Arnoldi, I.A. (1962), Human acclimatization in the North and South]. Moscow, Russia, 71 p.
- Boksha, V.G., Bogutsky, B.V. (1980), Medical climatology and climatotherapy. Kyiv, Russia, 262 p.
- Burakov D.A., Kovshova E.P., Romasko V.Yu. (2008), Forecast of the ice regime elements of the Yenisei River in the autumn-winter period in the lower reaches of high-pressure hydroelectric power plants // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 93–102.
- Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N., Krenke A.N. (2008), Regionalization of the territory of the Russian Federation according to natural and climatic conditions // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, no. 5, pp. 106–117.
- Vinogradova V.V. (2012), Human impact of climatic conditions in arid lands of European Russia // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, no. 2, pp. 68–81.
- Golovina E.G., Rusanov V.I. (1998), Some issues of biometeorology. St. Petersburg, Russia, 93 p.
- Grigorieva E.A., Khristoforova N.K. (2004), Climate discomfort in the Jewish Autonomous Region // *Geografiya i prirodnyye resursy*, no. 4, pp. 101–104.
- Dobrynina I.V., Akimov L.M., Kurolap S.A. (2013), Medico-geographical evaluation of the climatic comfort of the territory of Voronezh region // *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoecologiya*, no. 1, pp. 120–128.
- Emelina S.V., Konstantinov P.N., Malinina E.P., Rubinsteyn K.G. (2014), Evaluation of the informativity of some biometeorological indices for different regions of Russia // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 25–37.
- Ermakova L.N., Ermakova E.S. (2012), Influence of meteorological conditions on human well-being // *Geografichesky vestnik*, no. 2 (21), pp. 45–52.
- Ermakova L.N., Shklyayev V.A., Filippova A.P., Shklyayeva L.S. (2016), Bioclimatic assessment of landscape areas of Perm Krai and conditions of formation of microclimatic features // *Geografichesky vestnik*, no. 4 (39), pp. 70–83.
- Isaev A.A. (2001), Ecological climatology. Moscow, Russia, 458 p.
- Isaeva M.V., Perevedentsev Yu.P. (2010), Peculiarities of bioclimatic conditions of the Volga Federal District // *Geografichesky vestnik*, no. 2 (13), pp. 29–37.
- Kalinin N.A., Vetrov A.L. (2023), Climate comfort indices in Perm and Siberian cities for 1991–2020 // *Geosfernye Issledovaniya*, no. 4, pp. 132–142.
- Kalinin N.A., Ermakova L.N., Alikina I.Y. (2005), Peculiarities of the formation of high air temperatures in September-October 2003 in the Middle and Southern Urals // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 82–89.
- Kalinin N.A., Kislov A.V., Babina E.D., Vetrov A.L. (2010), Estimation of air temperature reproduction quality by the MM5 model in the Urals in July // *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 15–22.
- Kuzyakina M.V., Gura D.A. (2020), Assessment of bioclimatic conditions of Krasnodar Krai using GIS-technology // *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*, vol. 15, no. 3 (56), pp. 66–76.
- Loginov V.F., Khitrikov M.A. (2021), Changes in the bioclimatic climate comfort indices for humans in the territory of Belarus for the period from 1966 to 2020 // *Gidrometeorologiya i obrazovanie*, no. 4, pp. 6–19.
- Parfenova E.E., Perevedentsev Yu.P. (2022), The bioclimate of Ulyanovsk at the beginning of the 21st century // *Geografichesky vestnik*, no. 2 (61), pp. 61–72.
- Perevedentsev Yu.P., Shumikhina A.V. (2016), Dynamics of bioclimatic indicators of comfort of the natural environment in the Udmurt Republic // *Uchenny`e zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvenny`kh nauk*, vol. 158, no. 4, pp. 531–547.
- Rakhmanov R.S., Bogomolova E.S., Narutdinov D.A., Razgulin S.A., Potekhina N.N., Nepryakhin D.V. (2022), Assessment of bioclimatic indices in the areas of subarctic and continental climate belts of Krasnoyarsk region // *Gigiena i sanitariya*, vol. 101, no. 3, pp. 288–293.

Метеорология

Калинин Н.А., Ветров А.Л.

24. Rusanov V.I. (1981), Complex meteorological indicators and methods of climate assessment for medical purposes. Tomsk, Russia, 86 p.
25. Sevast'yanov V.V., Gorbatenko V.P., Zhuravlev G.G., Konstantinova D.A., Nechepurenko O.E., Nosy'reva O.V. (2019), Natural-climatic differentiation of Western Siberia by conditions of human activity in the cold season // *Sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenczii, posvyashhennoj 415-letiyu goroda Tomsk*, pp. 199–203.
26. Sevast'yanov V.V., Sap'yan E.S., Filandy'sheva L.B. (2020), Bioclimatic resources of recreational nature management in the Altai-Sayan mountain country in the summer period // *Geosfernye issledovaniya*, no. 3, pp. 109–122.
27. Sukhova M.G. (2009), Bioclimatic conditions of human activity in the Altai-Sayan mountain country. Tomsk, Russia, 260 p.
28. Tkachuk, S.V. (2012), Review of weather comfort indexes and their relationship with mortality rates // *Trudy Gidrometcentra RF. Gidrometeorologicheskie prognozy*, no. 347, pp. 223–245.
29. Trubina M.A., Khasso L.A., Dyachko Zh.K. (2010), Methods of bioclimatic assessment of the North-West region of Russia // *Uchenye zapiski RGGMU*, no. 13, pp. 121–137.
30. Khudalova F.K. (2014), Assessment of bioclimatic indices and their relation to cardiovascular pathology // *Kubanskiy nauchnyy medicinskiy vestnik*, no. 1, pp. 173–176.
31. Shartova N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I., Revich B.A. (2018), Bioclimatic approach to estimating mortality during abnormal heat waves, using southern Russia as an example // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, no. 6, pp. 47–55.
32. Shklyayev V.A., Ermakova L.N., Shklyayeva L.S. (2010), Study of the microclimate of the city in order to assess the biometeorological indicators of the inhabited territory // *Geograficheskiy vestnik*, no. 3 (14), pp. 52–59.
33. AISORI-M.METEO.RU. Professional Internet portal of meteorological data [Electronic resource]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (Date of accessed 14.07.2023). In Russian.
34. Meshkova V. (2023) Current approaches to studying the level of pedestrian comfort in urban development / Meshkova V., Dekterev A., Litvintsev K., Filimonov S. // E3S Web of Conferences 435, 05004.
35. Missenard A. (1937), L'Homme et le climat. Paris, France, 186 p.

Статья поступила в редакцию: 18.03.2024, одобрена после рецензирования: 29.03.2024, принята к опубликованию: 12.09.2024.

The article was submitted: 18 March 2024; approved after review: 29 March 2024; accepted for publication: 12 September 2024.

Информация об авторах

Николай Александрович Калинин

доктор географических наук, профессор,
инженер-исследователь, лаборатория
физической гидродинамики,
Институт механики сплошных сред УрО РАН;
614013, Россия, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 1;

заведующий кафедрой метеорологии и охраны
атмосферы, Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Андрей Леонидович Ветров

кандидат географических наук, доцент
кафедры метеорологии и охраны атмосферы,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Information about the authors

Nikolay A. Kalinin

Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Research Engineer, laboratory physical fluid dy-
namics Institute of Continuous Media Mechanics,
UB RAS, Perm, Russia;
1, Akademika Koroleva st., Perm, 614013;

Head of the Department of Meteorology and At-
mosphere Protection, Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: kalinin@psu.ru

Andrey L. Vetrov

Candidate of Geographical Sciences, Associate
Professor, Department of Meteorology and
Atmospheric Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: alvetrov@yandex.ru

Вклад авторов

Калинин Н.А. – организация работ, написание статьи.

Ветров А.Л. – анализ данных, редактирование статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Kalinin N.A. – organisation of work, writing the article.

Vetrov A.L. – data analysis, article editing.

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