

УДК 551.582(470.41-25)(045)

*Е.М. Парубова***ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В КАЗАНИ ЗА ПЕРИОД 1966–2018 гг.**

Рассмотрена изменчивость температуры воздуха и проведена оценка биоклиматических условий города Казани в период 1966–2018 гг. Статистическая обработка ежедневных метеоданных по станции Казань-опорная выявила устойчивый рост годовой температуры воздуха. Анализ дат перехода средней суточной температуры (ССТ) воздуха через пороговые значения температуры (0, +5, +10 °С) показал, что весной приход теплого периода наступает раньше, а осенью сдвигается на поздний срок и увеличивается продолжительность вегетационного периода и сумма положительных температур. Временные изменения эффективной и эквивалентно-эффективной температур, а также туристического индекса (ТСИ) повторяют ход температуры воздуха, имея максимальную изменчивость в холодный период и незначительную - в теплый. Согласно суточным данным туристического индекса в Казани, наибольшее количество дней представлено «неприемлемой» климатической привлекательностью и наименьшее «идеальной». Зимний период (1966–2018 гг.) в Казани характеризуется ослаблением суровости зим, несуровой (мягкой) или мало суровой зимой.

Ключевые слова: температура воздуха, климат, биоклиматический индекс, Казань.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-2-175-183

Сведения о термическом режиме и биоклиматическом состоянии городов представляют интерес для широкого круга пользователей: от систем здравоохранения до аграрной промышленности. Особенного внимания заслуживает тема изменения городского климата под влиянием плотной застройки, постоянно увеличивающихся темпов урбанизации и изменения ландшафта [1-3]. Микроклимат любой городской среды уникален. Подстилающая поверхность меняет естественные показатели альбедо, влияющее на испарения и выделение тепла, возникают «острова тепла». Автомобили и промышленные предприятия выбрасывают в атмосферу примеси, оказывающие прямое влияние на проницаемость атмосферного слоя для солнечных лучей. И это лишь малая часть техногенных факторов, прямо или косвенно влияющих на формирование уникального локального климата. Именно уникальность и постоянная изменчивость городского микроклимата из-за непрекращающегося разрастания инфраструктуры создают почву для увеличения исследований в этой области, а также расчетов биоклиматических показателей, позволяющих оценить температурные изменения в ближайшем будущем, и получение на их основе актуальной оценки туристической привлекательности города [4; 5].

В контексте данного исследования микроклимат городской среды рассматривается как ключевой фактор, оказывающий прямое влияние на формирование биоклиматических показателей. Именно расчет биоклиматических и Туристического климатического индексов, а также рассмотрение изменчивости температуры воздуха в пределах города Казань являются целью данной работы.

Материалы и методы исследований

В работе использовались ежедневные метеоданные по станции Казань-опорная за период 1966–2018 гг. из фонда ВНИИГМИ-МЦД, которые подвергались статистической обработке с целью определения средних величин и линейных трендов температуры, а также для вычисления показателей вегетационного периода.

Оценка степени комфортности климатических условий в Казани проводилась на основе ряда апробированных биоклиматических показателей (эквивалентно-эффективной температуры, индекса суровости Бодмана, и др.) и анализа Туристического климатического индекса (ТСИ), рассчитывающегося по методике, представленной в работах [6; 7].

Результаты и их обсуждение

Изучением динамики климата города Казани кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского университета занимается многие десятилетия. Наиболее значительной осо-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 22-27-20080).

бенностью указанной динамики представляется выявленная тенденция потепления климата города за последние десятилетия [8]. В настоящей статье главное внимание уделяется изучению температурного режима г. Казани. Для этого были вычислены многолетние значения годовой температуры воздуха, анализ которых показал, что происходит рост температуры со скоростью $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$.

Из рис. 1. видно, что наиболее сложная картина колебаний средней суточной температуры (ССТ) происходит в зимний период. Тенденция снижения температуры (похолодание) отмечается в декабре, но к его концу наблюдается потепление (рост температуры), в январе температурный фон неустойчивый и наибольшее падение отмечается в третьей декаде месяца, а в феврале наблюдается тенденция ее роста к концу месяца. В летний период ярко выражена тенденция к повышению температуры в июне, в августе наблюдается её понижение. В июле происходят слабые колебания ССТ от $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

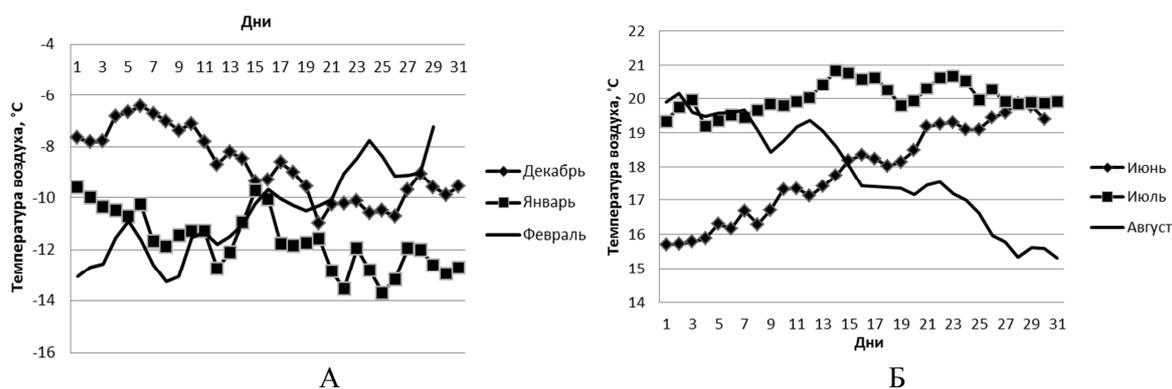


Рис. 1. Многолетний ход среднесуточной температуры воздуха на станции Казань-опорная в период 1966 – 2018 гг. (А – зима; Б – лето)

Также по методике [9] определялись даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через пороговые значения температуры (0 , $+5$, $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) весной и осенью, продолжительность и суммы температур за периоды с ССТ, превышающей 0 , $+5$, $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За период 1966–2018 гг. на станции Казань-опорная весной переход через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в среднем приходится на 89 день от начала года (30.03). Самый ранний переход был отмечен в 1990 году на 55 день (22.02), а поздний – на 115 день (25.04) в 1979 году. Осенью ранний переход через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается в 1980 году на 279 день от начала года (5.10), поздний - на 346 день (11.12) в 2008 году, а в среднем происходит на 307 день (3.11). Весной переход через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ осуществляется в среднем на 108 день (18.04), ранний переход отмечался на 90 день от начала года (31.03) в 1975 и 1983 годах, поздний – в 1978 году на 124 день (04.05). Наиболее ранний переход через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в осенний период наступил в 1986 году на 261 день от начала года (18.09), поздний - на 316 день (12.11) в 2013 году, в среднем наступает на 284 день (11.10). Переход через $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ весной на станции Казань-опорная в рассматриваемый период в среднем происходит через 119 дней от начала года (29.04), а осенью на 268 день (25.09).

Продолжительность теплого периода ($t > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) меняется от 180 до 265 дней и коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) положителен и составляет $5,18\text{ дней}/10\text{ лет}$. По продолжительности периодов с температурой более $+5$ и $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ значения КНЛТ положительны и составляют $3,14\text{ дней}/10\text{ лет}$ и $2,55\text{ дней}/10\text{ лет}$ соответственно.

Сумма положительных температур меняется от $2305\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1978г.) до $3515\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2010г.), и их КНЛТ положителен и достигает $92,56\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$.

Анализ временного хода рассмотренных характеристик на станции Казань-опорная в указанный период показывает, что даты перехода через реперные точки весной имеют тенденцию к более раннему приходу теплого периода, а осенью, наоборот, сдвинулись на более поздний срок. Продолжительность периодов и сумма положительных температур увеличиваются.

Косвенными индикаторами оценки состояния окружающей среды, отражающими тепловое состояние человека и зоны комфорта, являются биоклиматические индексы [10]. Классификация тепловой чувствительности по значениям используемых биоклиматических индексов представлена в табл.1.

Таблица 1

Классификация биоклиматических индексов

На весь период				Для холодного периода			
Эффективная температура (ЭТ)		Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ)		Индекс суровости погоды Бодмана (S)		Приведенная температура (t _{прив})	
Значения (°C)	Ощущение / Нагрузка	Значения (°C)	Уровень комфорта	Значения (балл)	Условия погоды	Значения (°C)	Степень дискомфорта
>30	Очень жарко / Сильная	>30	Тепловая нагрузка сильная	1	Зима мягкая, несуровая	<-17	Ограничение пребывания на открытом воздухе больших людей
30...24	Жарко / Умеренная	30...24	Тепловая нагрузка умеренная				
24...18	Тепло / Комфортно	24...18	Комфортно – тепло	1...2	Зима мало суровая		
18...12	Умеренно тепло / Комфортно	18...12	Комфортно - умеренно тепло	2...3	Зима умеренно суровая	<-28	Слабый дискомфорт
12...6	Прохладно	12...6	Прохладно				
6...0	Умеренно	6...0	Умеренно прохладно	3...4	Зима суровая		
0...-12	Холодно / Умеренная	0...-6	Очень прохладно	4...5	Зима очень суровая	<-32	Жесткий дискомфорт
-12...-24	Очень холодно / Сильная угроза обморожения	-6...-12	Умеренно холодно				
-24...-30	Крайне холодно / Очень сильная	-12...-18	Холодно	5...6	Зима жестко суровая		
<-30	Крайне холодно / Чрезвычайно высокая вероятность заморозания	-18...-24	Очень холодно	> 6	Зима крайне суровая	<-42	Полное прекращение пребывания на воздухе
		<-24	Начинается угроза обморожения				

В работе [11] впервые было предложено использовать эффективную температуру (ЭТ) для оценки воздействия высоких температур на человека. Эффективная температура представляет собой температуру неподвижного и насыщенного воздуха, производящего на человека ощущение от всего комплекса метеорологических элементов [12]. Расчет ЭТ производится по формуле:

$$ЭТ = t - 0.4(t - 10)(1 - f/100),$$

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

Среднемесячные значения ЭТ выше нуля с апреля по октябрь, что говорит о комфортности условий в данный период. В зимний период значения эффективной температуры выше температуры воздуха на 1,5 °C, а в летний период меньше на 1,3 °C. Среднее квадратическое отклонение (СКО) минимально с марта по ноябрь и изменяется в пределах от 1,5 до 2,5 °C, а максимально с декабря по февраль, когда σ достигает 3,4-3,6 °C. Значения СКО эффективной температуры для всех месяцев меньше значений СКО температуры воздуха.

Наибольшее количество дней за 53-летний период наблюдается в градации «Холодно» (0...–12 °С) и составляет 5382 дня (28 %). Эффективная температура ниже –30 °С отмечалась в Казани 1 января 1969 года и 30,31 декабря 1978 года. Зимой также наиболее часто повторяется градация «Холодно», реже «Очень холодно» (27 %) и «Умеренно» (7 %), 2 % приходится на градацию «Крайне холодно/Очень сильная», а на «Крайне холодно/Чрезвычайно высокая вероятность замерзания» менее 1 %. Летом более часто повторяются градации «Умеренно тепло» (48 %) и «Тепло» (43 %), 8 % приходится на градацию «Прохладно», 2 % на «Жарко», а на «Умеренно» менее 1 %. Дни с градацией «Очень жарко» отсутствуют.

Коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) значений эффективной температуры для всех месяцев в Казани имеют положительный знак и изменяются от 0,2 °С/10 лет (в апреле) до 0,80 °С/10 лет (в январе), что говорит о росте комфортности климата города. В общем, временные изменения ЭТ повторяют ход температуры воздуха, имея максимальную изменчивость в холодный период и незначительную - в теплый (рис.2).

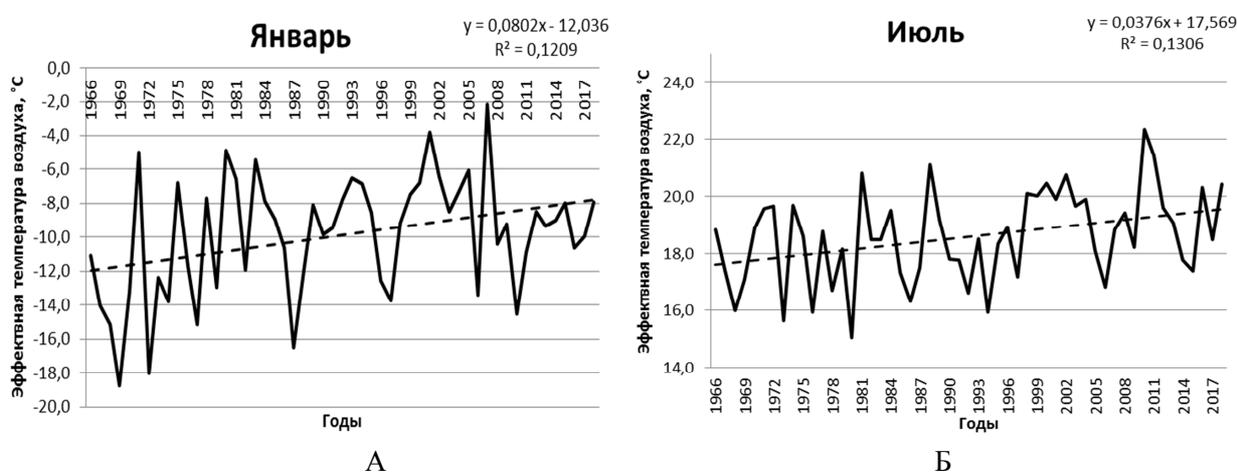


Рис. 2. Изменения среднеянварской (А) и среднеиюльской (Б) эффективной температуры в Казани за период 1966–2018 гг.

Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) рассчитывается по формуле А. Миссенарда [7]. Она учитывает комплексное влияние на человека температуры, влажности и скорости ветра. Среднемесячные значения ЭЭТ на станции Казань-опорная за период с 1966 по 2018 гг. варьируются от 20 дней умеренной тепловой нагрузки (0,1 %) до комфортных условий (14,5 %). Дни с сильной тепловой нагрузкой отсутствуют. Зимой помимо наибольшего количества дней с угрозой обморожения (40 %) также наблюдаются дни в «холодных и очень холодных» зонах (21–26 %), 8 % приходится на «умеренно холодные» дни, по 2 % на «умеренно и очень прохладные» дни, а менее 1 % на «прохладные». В летний период преобладает комфортная умеренно теплая погода (44 %), «прохладные» дни наблюдаются в 29 % случаев, 16 % приходится на «комфортно-теплые» дни, 9 % на «умеренно прохладные» и 2 % на «очень прохладные» дни, а менее 1 % на «умеренно холодные» и дни с умеренной тепловой нагрузкой.

С мая по сентябрь среднемесячные значения ЭЭТ выше нуля. В зимний период значения ЭЭТ ниже ЭТ и температуры воздуха на 11–15 °С, а в летний период на 6–9 °С. СКО эквивалентно-эффективной температуры с марта по октябрь изменяется в пределах от 2,5 до 4,5 °С, а с ноября по февраль 5,6–6,6 °С. Значения среднего квадратического отклонения ЭЭТ также выше значений СКО для ЭТ и температуры воздуха.

Значения коэффициента наклона линейного тренда эквивалентно-эффективной температуры для всех месяцев имеют положительный знак и статистически значимы, что говорит об увеличении ЭЭТ во времени. В холодный период значения КНЛТ ЭЭТ увеличиваются, особенно в январе (1,99 °С/10 лет), в теплый растут почти в 2 раза медленнее (июнь, 0,65 °С/10 лет). Временные изменения ЭЭТ имеют максимальную изменчивость в холодный период и незначительную в теплый, что повторяет ход температуры воздуха и эффективной температуры (рис.3).

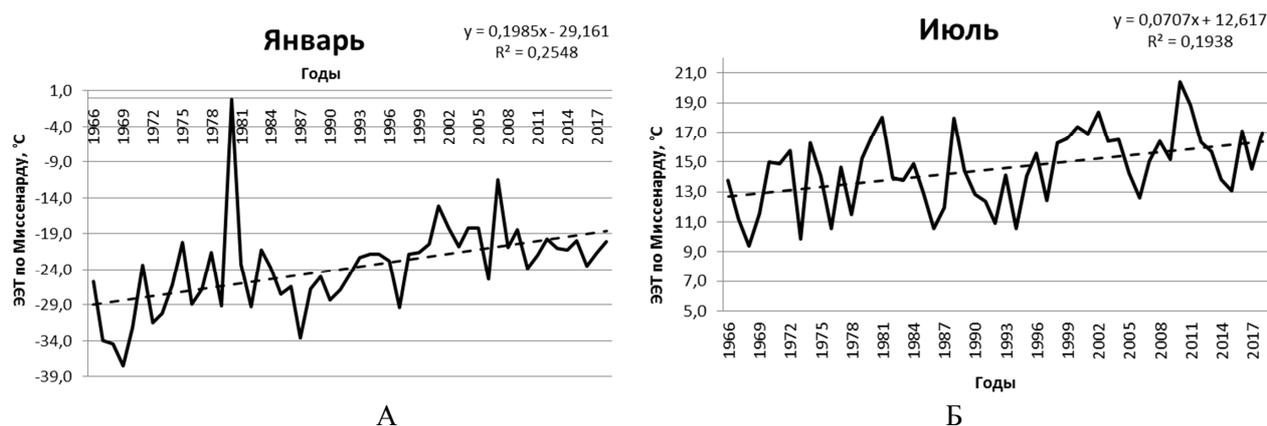


Рис. 3. Изменения среднеянварской (А) и среднеиюльской (Б) эквивалентно-эффективной температуры в Казани за период 1966–2018 гг.

С целью оценки биоклиматической привлекательности и в интересах развития туризма в городе Казань рассчитывался *Туристический климатический индекс (ТЦИ)* по формуле [13]:

$$\text{ТЦИ} = 2 * (4 * \text{Cld} + \text{Cla} + 2 * \text{R} + 2 * \text{S} + \text{W})$$

Подробное описание составляющих индекса ТЦИ представлено в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика субиндексов Туристического климатического индекса (ТЦИ)

Субиндекс	Исходные данные	Формула расчёта	Вклад в индекс ТЦИ (%)
Cld (Дневной субиндекс комфорта)	t- максимальная температура (°C); соответствующие ей f – относительная влажность (%) и v – скорость ветра (м/с)	$\text{ЭЭТ} = 37 - \frac{37-t}{0.68-0.0014*f+\frac{1}{1.76+1.4*v^{0.75}}} - 0.29 * t * \left(1 - \frac{f}{100}\right)$	40
Cla (Субиндекс суточной комфортности)	t- среднесуточная температура (°C); соответствующие ей f – относительная влажность (%) и v – скорость ветра (м/с)	$\text{ЭЭТ} = 37 - \frac{37-t}{0.68-0.0014*f+\frac{1}{1.76+1.4*v^{0.75}}} - 0.29 * t * \left(1 - \frac{f}{100}\right)$	10
R (Субиндекс осадков)	Количество осадков (мм)	–	20
S (Субиндекс продолжительности светового дня)	Продолжительность светового дня (час)	$T_s = 12 + \frac{12}{\pi} \arccos\left(\frac{-\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}\right),$ $T_r = 12 - \frac{12}{\pi} \arccos\left(\frac{-\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}\right)$	20
W (Субиндекс скорости ветра)	v – средняя скорость ветра (м/с)	При $t < 15^\circ\text{C}$ по формуле $OB = (\sqrt{100v} + 10,45v)(33 - t_B)$	10

По результатам расчетов индекса ТЦИ (в баллах) за 53-летний период (1966–2018 гг.) на станции Казань-опорная максимум наблюдается в теплый летний период (70 баллов в июле), а минимум – в холодный зимний период (6 баллов в январе), что соответствует годовому ходу метеорологических величин. На рис.4 данные о количественном распределении туристического климатического индекса

на станции Казань-опорная за период 1966–2018 гг. представлены в процентах. Значения индекса TCI в г. Казани изменяются от «неприемлемого» (меньше 10 баллов; 3434 дня) до «идеального» (от 90 до 100 баллов, 171 день). Максимальное суточное значение индекса TCI (в баллах) за 53 года составило 96 баллов 11 июля 1974 года и 19 июля 1979 года. Минимальное суточное значение за тот же период составило 8 баллов и соответствует 60 дням, больше всего дней с минимальным суточным значением индекса TCI (–18 баллов) фиксируется в 1985 и 1993 годах, по 4 дня.

Расчет коэффициентов наклона линейных трендов Туристического климатического индекса показал рост значений индекса TCI с января по июнь от 5,48 до 13,67 баллов/10 лет, а с июля по декабрь уменьшение значений до –11,21 баллов/10 лет.

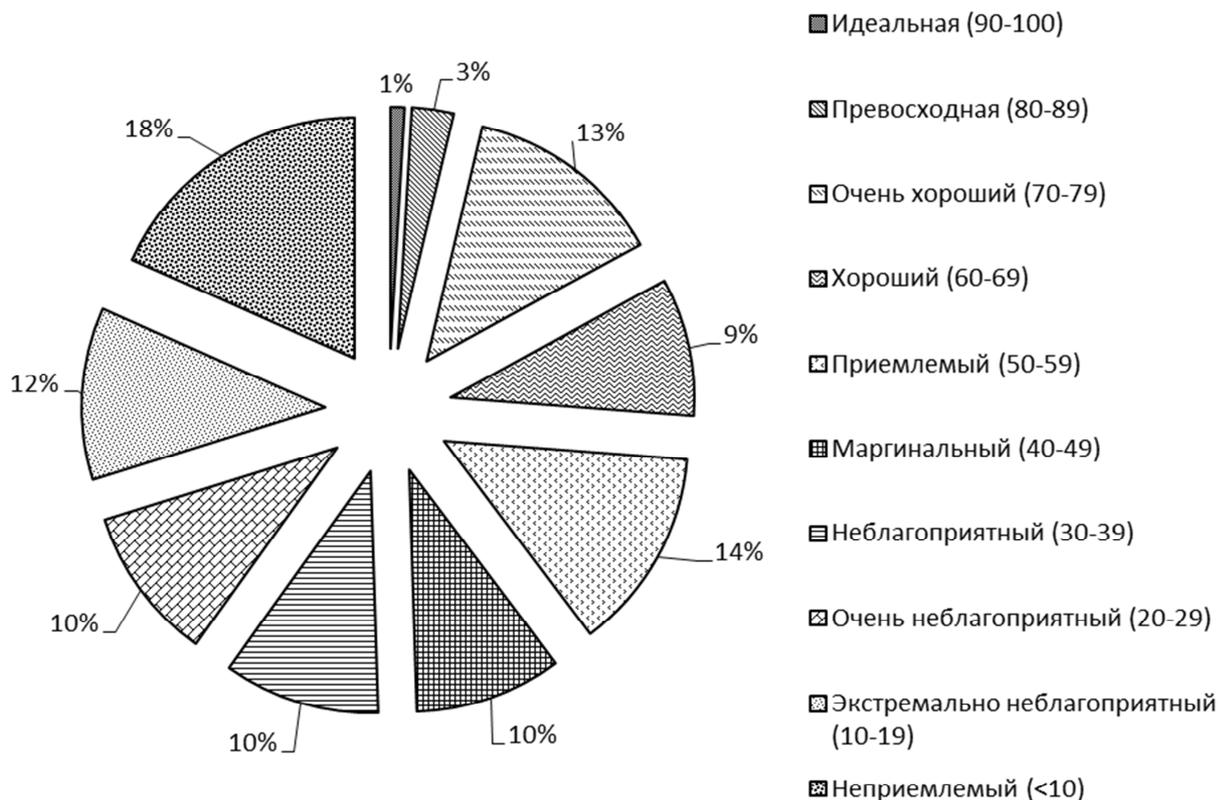


Рис. 4. Количественное распределение (%) индекса TCI на станции Казань-опорная по уровням комфортности за период 1966–2018 гг.

Для определения в холодном периоде условий, способствующих обморожению, был рассчитан индекс суровости погоды Бодмана (S), характеризующийся влиянием низкой температуры воздуха и скорости ветра на органы дыхания и тело человека, без учета одежды. Использовалась формула [14]:

$$S = (1 - 0,04 t)(1 + 0,27v),$$

где t – температура воздуха, °C; v – скорость ветра, м/с.

По среднемесячным данным индекса суровости погоды зимний период в Казани характеризуется в градациях как мягкая, несуровая или мало суровая зима, так как в октябре, ноябре и марте $S=1,5-2,0$ балла, а с декабря по февраль $S=2,4-2,7$ балла. Максимальное значение установлено в январе 1969 и 1970 годов ($S=3,8$ баллов), минимальное же в октябре 1980 и 2008 годов ($S=1,0$ балл). За 53-летний зимний период 4240 дней приходится на мало суровую зиму (44%), 38% – на умеренно суровую (3671 день) и 11% – на суровую зиму. Жестко и крайне суровые зимы составляют менее 1% (60 и 17 дней), а очень суровые и, наоборот, мягкие, несуровые зимы по 3%. Мягкая, несуровая зима ($S=1$ балл) наибольшее количество дней наблюдается в октябре (16%) и отсутствует в январе, а крайне суровых зим ($S>6$ баллов), наоборот, больше в январе (8 дней) и отсутствуют они в ноябре.

В период с 2008-2018 гг. максимальное суточное значение индекса Бодмана не превышает 3,8 баллов, это означает, что в последние годы условий очень суровой погоды в городе не наблюдается.

Значения КНЛТ индекса Бодмана отрицательны и варьируются от $-0,15$ до $-0,26$ баллов/10 лет, что свидетельствует об ослаблении суровости зим. На рис.5 представлены изменения индекса суровости погоды Бодмана на станции Казань-опорная за 53-летний период для трех зимних месяцев с указанием линии тренда (штриховая) и сопутствующими ей уравнениями.

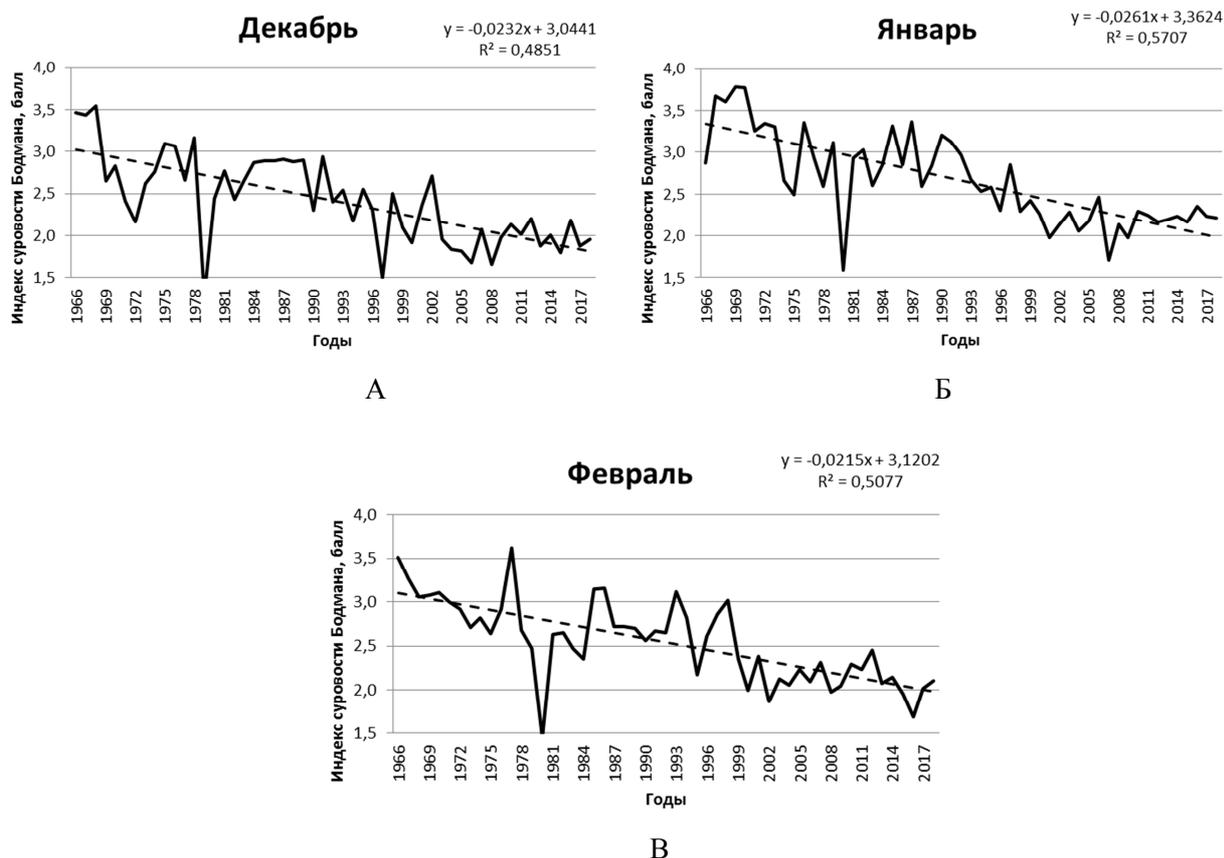


Рис. 5. Изменения индекса суровости погоды Бодмана (балл) в зимний период на станции Казань-опорная за период 1966–2018 гг. (А – декабрь, Б – январь, В – февраль)

Выводы

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Из анализа изменений температуры воздуха следует, что в городе Казань идет рост годовой температуры воздуха со скоростью $0,51$ C/10 лет.

2. Согласно данным анализа дат переходов ССТ через реперные точки (0 , $+5$ °C и $+10$ °C) за период 1966–2018 гг., на станции Казань-опорная весной наблюдается тенденция к более раннему приходу теплого периода, а осенью к более позднему приходу холодного периода. Продолжительность вегетационного периода и сумма положительных температур увеличиваются.

3. По данным эффективной температуры комфортные условия в Казани устанавливаются с апреля по октябрь. Значения СКО эффективной температуры для всех месяцев больше значений СКО температуры воздуха. За 53-летний период наибольшее количество дней соответствует градации «Холодно» (5382 дня), а наименьшее – «Крайне холодно/Чрезвычайно высокая вероятность замерзания» (3 дня), «Очень жаркие» дни отсутствуют.

4. По среднемесячным данным эквивалентно-эффективной температуры комфортные условия в Казани устанавливаются с мая по сентябрь и варьируются от умеренной тепловой нагрузки ($0,1\%$) до комфортных условий ($14,5\%$). Значения среднего квадратического отклонения ЭЭТ также выше значений СКО для ЭТ и температуры воздуха. Дни с сильной тепловой нагрузкой отсутствуют.

5. Также о росте комфортности климата города говорят положительные значения КНЛТ эффективной и эквивалентно-эффективной температуры для всех месяцев.

6. Максимум средних годовых значений индекса ТСІ (в баллах) за 1966–2018 гг. наблюдается в теплый летний период (70 баллов в июле), а минимум – в холодный зимний период (6 баллов в январе).

7. По среднемесячным данным индекса суровости погоды Бодмана зимний период с 1966 по 2018 гг. в Казани характеризуется мягкой, несуровой или мало суровой зимой ($S = 1,5-2,7$ балла). Значения КНЛТ индекса Бодмана отрицательны и варьируются от $-0,15$ до $-0,26$ баллов/10 лет, что свидетельствует об ослаблении суровости зим.

Благодарности

Выражаю особую благодарность своему научному руководителю д. г. н., профессору кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского федерального университета Переведенцеву Юрию Петровичу за ценные советы при планировании исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаменко, В.Н. Климат больших городов (обзор) / В.Н. Адаменко. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 1975. – 70 с.
2. Берлянд, М.Е. Города и климат планеты / М.Е. Берлянд, К.Я. Кондратьев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 39 с.
3. Многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Казани / М.А. Верещагин, Ю.П. Переведенцев, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский, Ф.В. Гоголь // Учёные записки Казанского гос. ун-та. Серия: Естественные науки. – 2005. – Т. 147, № 3. – С. 151–166.
4. О некоторых проявлениях марковских свойств многолетней динамики аномалий термического режима в Казани / М.А. Верещагин, Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, Ф.В. Гоголь // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 5. – С. 60–68.
5. Динамика термического режима городов Казани и Ульяновска / Ю.П. Переведенцев, Р.Х. Салахова, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский // Учёные записки Казанского гос. ун-та. Серия: Естественные науки. – 2006. – Т. 148, № 2. – С. 131–143.
6. Стефанович, А.А. Оценка биоклиматического потенциала черноморских курортов Крыма для развития туризма в регионе / А.А. Стефанович, Е.Н. Воскресенская, А.С. Лубков // Вестн. Московского ун-та. Серия 5: География. – 2020. – № 5. – С. 35–44.
7. Missenard, F. Température effective d'une atmosphere Généralisation température résultante d'un milieu. In: Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation / F. Missenard // Librairie de l'Enseignement Technique. – Paris, 1933. – P. 131–185.
8. Характеристики климата Казани и состояние окружающей среды / Ю.П. Переведенцев, Р.Х. Салахова, Н.В. Исмагилов, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский, Ф.В. Гоголь // Проблемы анализа риска. – 2007. – Т. 4, № 2. – С. 152–164.
9. Педь, Д.А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения / Д.А. Педь // Метеорология и гидрология. – 1951. – № 10. – С. 38–39.
10. Perevedentsev Yu.P., Malkhazova S.M., Auhadeev T.R., Shantalinsky K.M. Medical and demographic consequences of climate change and assessment of comfort level of weather-climatic conditions in the Volga Federal District // Journal "Geography, Environment and Sustainability". 2016. № 4. Pp. 63–76.
11. Missenard, A. L'homme et le climat / A. Missenard. – Paris, 1937. – 186 p.
12. Evaluation of the informativeness of several biometeorological indices for three areas of the European part of Russia / S.V. Emelina, P.N. Konstantinov, E.P. Malinina, K.G. Rubinshtein // Russian Meteorology and Hydrology. – 2014. – Vol. 37, no. 7. – P. 448–457. – doi: 10.3103/S1068373914070036.
13. Mieczkowski, Z. The Tourism Climatic Index: A Method of Evaluating World Climates for Tourism / Z. Mieczkowski // The Canadian Geographer. – 1985. – Vol. 29, no. 3. – P. 220–233.
14. Исаев, А.А. Экологическая климатология / А.А. Исаев. – М.: Науч. Мир, 2001. – 456 с.

Поступила в редакцию 27.04.2022

Парубова Екатерина Михайловна, аспирант
ФГАОУ ВПО «Казанский федеральный университет»
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: parubovaem@mail.ru

E.M. Parubova

**ASSESSMENT OF THE THERMAL REGIME AND BIOCLIMATIC STATE OF THE ENVIRONMENT
IN KAZAN FOR THE PERIOD 1966–2018**

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-2-175-183

The variability of air temperature is considered and an assessment of the bioclimatic conditions of the city of Kazan in the period 1966–2018 is carried out. Statistical processing of daily meteorological data for Kazan-Opornaya station revealed a steady increase in annual air temperature. An analysis of the dates of transition of the average daily air temperature (ADT) through the threshold temperature values (0, +5, +10°C) showed that in spring the arrival of the warm period occurs earlier, and in autumn it shifts to a later date and the duration of the growing season and the sum of positive temperatures increase. Temporal changes in effective and equivalent-effective temperatures, as well as the tourist index (TCI), repeat the course of air temperature, having the maximum variability in the cold period and insignificant in the warm one. According to the daily data of the tourist index in Kazan, the greatest number of days is represented by "unacceptable" climatic attractiveness and the least number – "ideal". The winter period (1966-2018) in Kazan is characterized by a weakening of the severity of winters, non-severe (mild) or slightly severe winters.

Keywords: air temperature, climate, bioclimatic index, Kazan.

REFERENCES

1. Adamenko V.N. *Klimat bol'shikh gorodov (obzor)* [The climate of large cities (review)], Obninsk: Vseross. nauch.-issled. Institut Gidrometeorologicheskoy Informatsii – Mirovoy Tsentr Dannyykh Publ., 1975, 70 p. (in Russ.).
2. Berlyand M.E., Kondrat'ev K. Ya. *Goroda i klimat planety*. [Cities and the climate of the planet], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972, 39 p. (in Russ.).
3. Vereshchagin M.A., Perevedentsev Yu.P., Naumov E.P., Shantalinskiy K.M., Gogol' F.V. [Long-term changes of air temperature and atmospheric precipitation in Kazan], in *Uch. zapiski Kazan. Gos. Univ. Ser. Estestvennye nauki*, 2005, vol. 147, no 3, pp. 151-166 (in Russ.).
4. Vereshchagin M.A., Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M., Gogol' F.V. [On some manifestations of the Markov properties of multiyear dynamics of thermal regime anomalies in Kazan], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, no. 5, pp. 60-68 (in Russ.).
5. Perevedentsev Yu.P., Salakhova R.Kh., Naumov E.P., Shantalinskiy K.M. [The dynamics of temperature regime in Kazan and Ulyanovsk], in *Uch. zapiski Kazan. Gos. Univ. Ser. Estestvennye nauki*, 2006, vol. 148, no. 2, pp. 131-143 (in Russ.).
6. Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S. [Evaluation of bioclimatic potential of the Black sea resorts of Crimea for regional tourism development], in *Vestn. Mosk. Univ. Ser 5. Geografiya*, 2020, no. 5, pp. 35-44 (in Russ.).
7. Missenard F. [Température effective d'une atmosphère Généralisation température résultante d'un milieu.], in *Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation. Librairie de l'Enseignement Technique*, Paris, 1933, pp. 131–185.
8. Perevedentsev Yu.P., Salakhova R.Kh., Ismagilov N.V., Naumov E.P., Shantalinskiy K.M., Gogol' F.V. [Characteristics of the Kazan climate and environment], in *Problemy analiza riska*, 2007, vol. 4, no. 2, pp. 152-164 (in Russ.).
9. Ped' D.A. *Ob opredelenii dat ustoychivogo perekhoda temperatury vozdukha cherez opredelennye znacheniya* [On determining the dates of stable transition of air temperature through certain values], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 1951, no. 10, pp. 38-39 (in Russ.).
10. Perevedentsev Yu.P., Malkhazova S.M., Auhadeev T.R., Shantalinsky K.M. Medical and demographic consequences of climate change and assessment of comfort level of weather-climatic conditions in the Volga Federal District, in *Journal "Geography, Environment and Sustainability"*, 2016, no. 4, pp. 63-76 (in Russ.).
11. Missenard A. [L'homme et le climat]. Paris, 1937, 186 p.
12. Emelina S.V., Konstantinov P.N., Malinina E.P., Rubinshtein K.G. [Evaluation of the informativeness of several biometeorological indices for three areas of the European part of Russia.], in *Russian Meteorology and Hydrology*, 2014, vol. 37, no. 7, pp. 448-457. doi: 10.3103/S1068373914070036 (in Russ.).
13. Mieczkowski Z. The Tourism Climatic Index: A Method of Evaluating World Climates for Tourism, in *The Canadian Geographer*, 1985, vol. 29, no. 3, pp. 220-233.
14. Isaev A.A. *Ekologicheskaya klimatologiya* [Ecological climatology], Moscow: Nauch. Mir Publ., 2001, 456 p. (in Russ.)

Received 27.04.2022

Parubova E.M., postgraduate student
Kazan (Volga) Federal University
Kremlevskaya st., 18, Kazan, Russia, 420008
E-mail: parubovaem@mail.ru