

Д.Ю. ВАСИЛЬЕВ*,**,***, В.А. СЕМЁНОВ**,****, А.А. ЧИБИЛЁВ***

*Уфимский государственный авиационный технический университет,
450008, Уфа, ул. Карла Маркса, 12, Россия, vasiliev.dyu@ugatu.su

**Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
119017, Москва, Пыжевский пер., 3, Россия, vasiliev.dyu@ugatu.su, vasemenov@ifaran.ru

***Институт степи ОФИЦ УрО РАН,
460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11, Россия, vasiliev.dyu@ugatu.su, orensteppe@mail.ru

****Институт географии РАН,
119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия, vasemenov@ifaran.ru

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В XX–НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Проведен анализ межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха летнего сезона как для отдельных регионов России, так и для большей части ее территории за период 1930–2020 гг. Базой для анализа послужили данные средней суточной температуры воздуха 526 станций наблюдательной сети Росгидромета и двух реанализов — ECMWF-ERA и NOAA-CIRES. На основе станционных наблюдений и рассчитанного числа дней с экстремальными значениями температуры было вычислено пространственно-временное распределение приземной температуры воздуха в отдельные летние месяцы и летний сезон в целом. Установлено, что за последние 60 лет на большей части России число дней с экстремально высокой температурой возросло в 1,5 раза, при этом наибольшее их число приходится на июль. Экстремальными оказались как вековые рекорды средней месячной температуры воздуха летних месяцев, так и абсолютные максимумы. В выделенные 30-летние периоды инструментальных наблюдений максимальная температура воздуха в отдельных регионах России превысила 39 °С. Показано, что аномально жаркие годы не имеют аналогов в истории метеорологических наблюдений в России ни в самих рекордных значениях, ни в их продолжительности. Температурный режим большей части России отличается пространственно-временной неоднородностью. Анализ временного хода экстремальных значений температуры воздуха позволил сделать вывод, что приполярные и высокогорные области России в летние месяцы характеризуются похолоданием, а полосы умеренного климата и южные регионы страны, напротив, — ростом температуры. Установлено, что в конце XX–начале XXI в. на территории России увеличилось число дней с экстремально высокими значениями приземной температуры воздуха, что создает предпосылки для появления опасных природных явлений.

Ключевые слова: приземная температура воздуха, экстремальные погодные явления, волны тепла, летний сезон, климатические изменения, Северная Евразия.

D.Yu. VASIL'EV*,**,***, V.A. SEMENOV**,****, A.A. CHIBILEV***

*Ufa State Aviation Technical University,
450008, Ufa, ul. Karla Marksa, 12, Russia, vasiliev.dyu@ugatu.su

**A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences,
119017, Moscow, Pyzhevskii per., 3, Russia, vasiliev.dyu@ugatu.su, vasemenov@ifaran.ru
***Steppe Institute, Orenburg Federal Research Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
460000, Orenburg, ul. Pionerskaya, 11, Russia, vasiliev.dyu@ugatu.su, orensteppe@mail.ru
****Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow, Staromonetnyi per., 29,
Russia, vasemenov@ifaran.ru

CLIMATIC CHANGES OF THE TEMPERATURE REGIME ON THE TERRITORY OF RUSSIA IN THE 20TH–EARLY 21ST CENTURIES

An analysis of interannual variability in surface air temperature of the summer season for separate regions of Russia as well as for most of its territory between 1930 and 2020 was performed. For the analysis, average daily air temperature data from 526 stations of the Roshydromet observation network and the ECMWF-ERA and NOAA-CIRES reanalyses have been used. Based on the meteorological sta-

tion's observations and on the calculated number of days with extreme temperature values, the spatio-temporal distribution of ground air temperature for separate summer months and for the summer season as a whole were evaluated. It was established that over the past 60 years, the number of days with extremely high temperatures increased by a factor of 1.5 in most of Russia, with the largest number of such days occurring in July. Both the secular records of average monthly air temperature in the summer months as well as the absolute maximum temperature were established to be extreme. For the selected 30-year-long periods of instrumental observations, the maximum air temperature exceeded +39 °C in some regions of Russia. It is shown that abnormally hot years have been unprecedented in the history of meteorological observations in Russia in terms of both record temperature values and the duration. The temperature regime of most areas of Russia is characterized by a spatio-temporal inhomogeneity. The analysis of temporal variation of extreme air temperature values suggests that the circumpolar and high-mountain areas were characterized by a fall in temperature in the summer months, whereas the temperate climate zones and southern regions of the country undergo a rise in temperature. It was established that at the end of the 20th to early 21st centuries, the number of days with extremely high surface air temperature increased in the territory of Russia, which may be a precondition for the occurrence of dangerous meteorological phenomena.

Keywords: air surface temperature, extreme weather events, heat waves, summer season, climatic changes, Northern Eurasia.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно ежегодному докладу Росгидромета [1], наблюдающиеся изменения климата приводят к росту количества и частоты проявления опасных природных явлений, к которым относятся волны жары и холода, сильные дожди и снегопады, смерчи и ураганы, наводнения и засухи, лесные пожары. Потепление климата, по [2], может являться следствием уменьшения статической устойчивости атмосферы и интенсификации конвективных процессов. Начавшееся во второй половине XX в. и продолжающееся до настоящего времени потепление климата сопровождается возрастанием числа экстремальных климатических событий [3]. Самыми теплыми за всю историю наблюдений стали пять лет с 2015 по 2019 г. и десять лет с 2010 по 2020 г. Начиная с 1980 г. каждое последующее десятилетие было более теплым, чем любое предыдущее. Так, 2019 г. завершился при средней глобальной температуре на 1,1 °C выше расчетных доиндустриальных уровней, уступая лишь 2016 г., когда мощное явление Эль-Ниньо способствовало повышению средней глобальной температуры [4]. По данным Росгидромета (<https://http://meteorf.ru>), в России за последние десятилетия значительно возросло среднее число опасных гидрометеорологических явлений, и в зависимости от региона ежегодно их число увеличивается примерно на 7–9 %. В связи с этим цель настоящего исследования — установление пространственно-временных тенденций изменения приземной температуры воздуха в летний сезон на территории России. Одним из важных результатов работы стала оценка экстремальности климата России в целом и ее отдельных географических регионов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базой для анализа послужили данные наблюдений на станциях в летний период — средние суточные значения температуры воздуха на высоте 2 м от поверхности земли (рис. 1). Для каждой станции по средним суточным величинам температуры воздуха были вычислены основные статистические параметры (среднее арифметическое, дисперсия, среднее квадратическое отклонение) за 1930–1959, 1960–1989 и 1990–2020 гг. по отдельным месяцам (июнь, июль, август) и в целом за летний сезон [5]. Для выявления случаев экстремальных событий применялся критерий, при котором собирались ситуации превышения величиной заданного порогового значения. Так, для выявления случаев с экстремальной температурой задавался уровень 25 °C и выше. В рамках проводимого исследования под случаем экстремальных событий понималось число дней, в которых наблюдалось данное явление.

Учет пространственной неоднородности изучаемой территории производился по условно выделенным географическим регионам, согласно фундаментальной работе [6]: европейская часть России (ЕЧР), Западная Сибирь (ЗС), Восточная Сибирь и Дальний Восток (ВС и ДВ соответственно). Процедура осреднения данных по площади выполнялась с использованием методики интерполяции данных [7] и метода треугольников [8]. Необходимые для анализа расчетные процедуры ранее были реализованы в программе для ЭВМ¹, а в настоящей работе с их помощью были сформированы мас-

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619350. Программный модуль для вычисления основных климатических показателей / Д.Ю. Васильев, В.М. Картак, Н.А. Гусев, А.М. Вульфин, В.А. Семёнов, А.А. Чибилёв; правообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. № 2021618572; заявл. 01.06.2021; зарегистр. 08.06.2021.

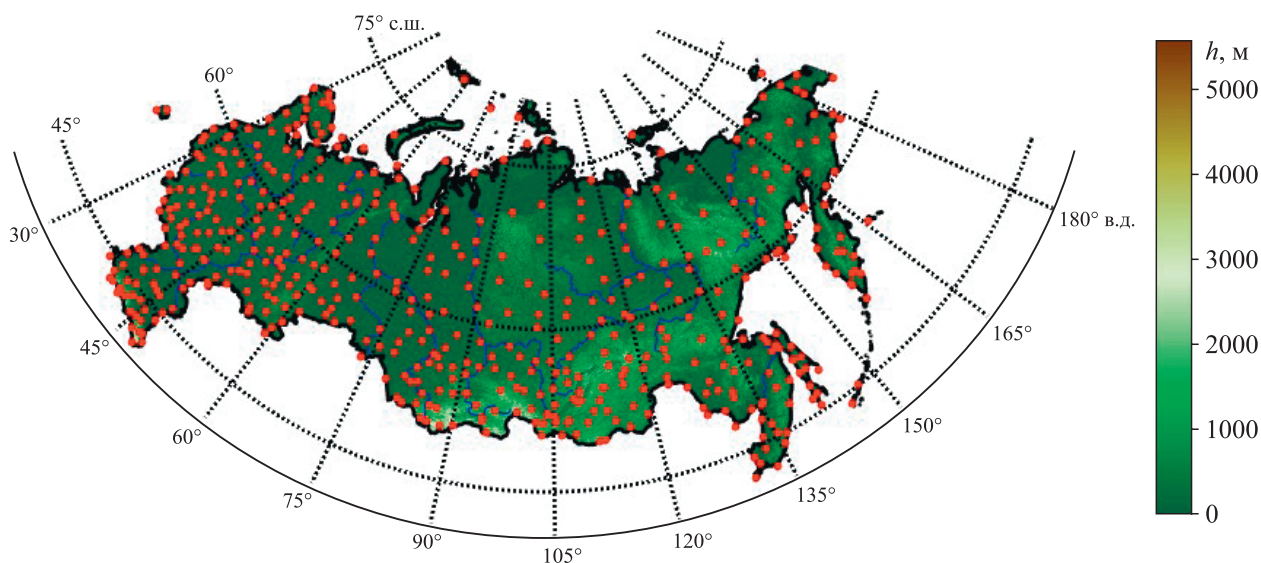


Рис. 1. Наблюдательная сеть 526 метеорологических станций Росгидромета.

Красными точками на карте России обозначена локализация метеостанций (<https://meteorf.ru>).

сивы данных по основным климатическим показателям для территории России² и произведена пространственная интерполяция станционных данных.

Погрешность пространственной интерполяции оценивалась с использованием процедуры кросс-валидации [9]. Полученные оценки сопоставлялись с оценками, рассчитанными по данным двух реанализов — ECMWF-ERA (<https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>) и NOAA-CIRES (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/reanalysis>). Проект ECMWF-ERA — это реанализ Европейского центра среднесрочных прогнозов (European Center for Medium-Range Weather Forecast) [10, 11]. Реанализ NOAA-CIRES — это проект Управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration) и Совместного института по исследованиям в области наук об окружающей среде (Cooperative Institute for Research in Environmental Science) [12]. Основное различие между данными этих реанализов заключается в использовании разных ассимилируемых данных, что может привести к несхожим пространственным структурам и временным эволюциям продуктов реанализа [13].

Использование данных реанализов обусловлено охватом ими большой территории России, отсутствием пропусков во временных рядах климатических величин, а также частым и эффективным использованием в гидрометеорологической практике [13–16]. Величина связи между анализируемыми данными приземной температуры воздуха инструментальных наблюдений и реанализов определялась по вычисленным значениям линейного коэффициента корреляции Пирсона. На выбранных в настоящей работе 30-летних временных интервалах они колебались в пределах от 0,78 (для горных районов) до 0,88 (для низменных и равнинных областей). Все вычисленные величины коэффициентов линейной корреляции Пирсона установлены статистически значимыми на 95%-м доверительном уровне.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе данных инструментальных наблюдений и реанализов ECMWF-ERA и NOAA-CIRES для территории России выполнен анализ пространственно-временной изменчивости приземной температуры воздуха в летний сезон. Изучаемая территория была выбрана в качестве макрорегиона, на фоне которого рассматривались региональные изменения климата. Полученные данные обобщают и дополняют результаты исследования климатических изменений для территории Северной Евразии [17–20] и отдельных ее частей [21–25]. Локализация метеорологических станций на территории Рос-

² Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621271. Матрицы основных климатических показателей / Д.Ю. Васильев, В.М. Картак, Н.А. Гусев, А.М. Вульфин, В.А. Семёнов, А.А. Чибилёв; правообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. № 2021621119; заявл. 01.06.2021; зарегистр. 15.06.2021.

сии неравномерна, поскольку большинство из них расположены в ЕЧР, и их плотность уменьшается при продвижении на восток и север. По этой причине интерполяция данных с этих метеостанций может приводить к большим погрешностям при осреднении по площади.

Для валидации процедуры пространственной интерполяции было произведено сравнение с результатами реанализов ECMWF-ERA и NOAA-CIRES, в которых данные реанализа представлены в узлах регулярной сетки. Сравнение производилось по трем временным интервалам — 1930–1959, 1960–1989 и 1990–2020 гг. Выбор таких 30-летних периодов обусловлен климатологической практикой [26], а также отсутствием пропусков в рядах инструментальных данных на большинстве используемых метеорологических станций. Во всех интервалах сравнивались оценки временного хода, осредненных значений по территории и средние месячные величины температуры приземного слоя воздуха.

На рис. 2 и 3 по оси абсцисс отложена разность средних величин данных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях и данных реанализа: $\Delta T = T_{\text{observation}} - T_{\text{reanalysis}}$. По оси ординат отложены значения линейного коэффициента корреляции: $r = \delta T_{\text{observation}} \cdot \delta T_{\text{reanalysis}}$, где δT — нормализованное значение величины T . Форма маркера определяет регион исследования, цвет — его сезон и месяц.

Следует отметить, что данные реанализа ECMWF-ERA по сравнению с данными NOAA-CIRES имеют лучшее горизонтальное и вертикальное разрешение. Наибольший уровень связи массива ECMWF-ERA со станционными рядами наблюдается в ЕЧР, наименьший — в регионах ВС и ДВ, при этом проявляется систематическое превышение значений T станционных наблюдений над данными реанализа за лето в целом и по отдельным месяцам сезона (рис. 2). Данные реанализа NOAA-CIRES (рис. 3) лучше согласуются с фактическими наблюдениями в регионах с плохим покрытием метеорологической сети, к которым относятся северные (особенно приполярные и полярные) районы ЗС, ВС и ДВ. Можно отметить, что для территории России в период потепления (конец XX–начало

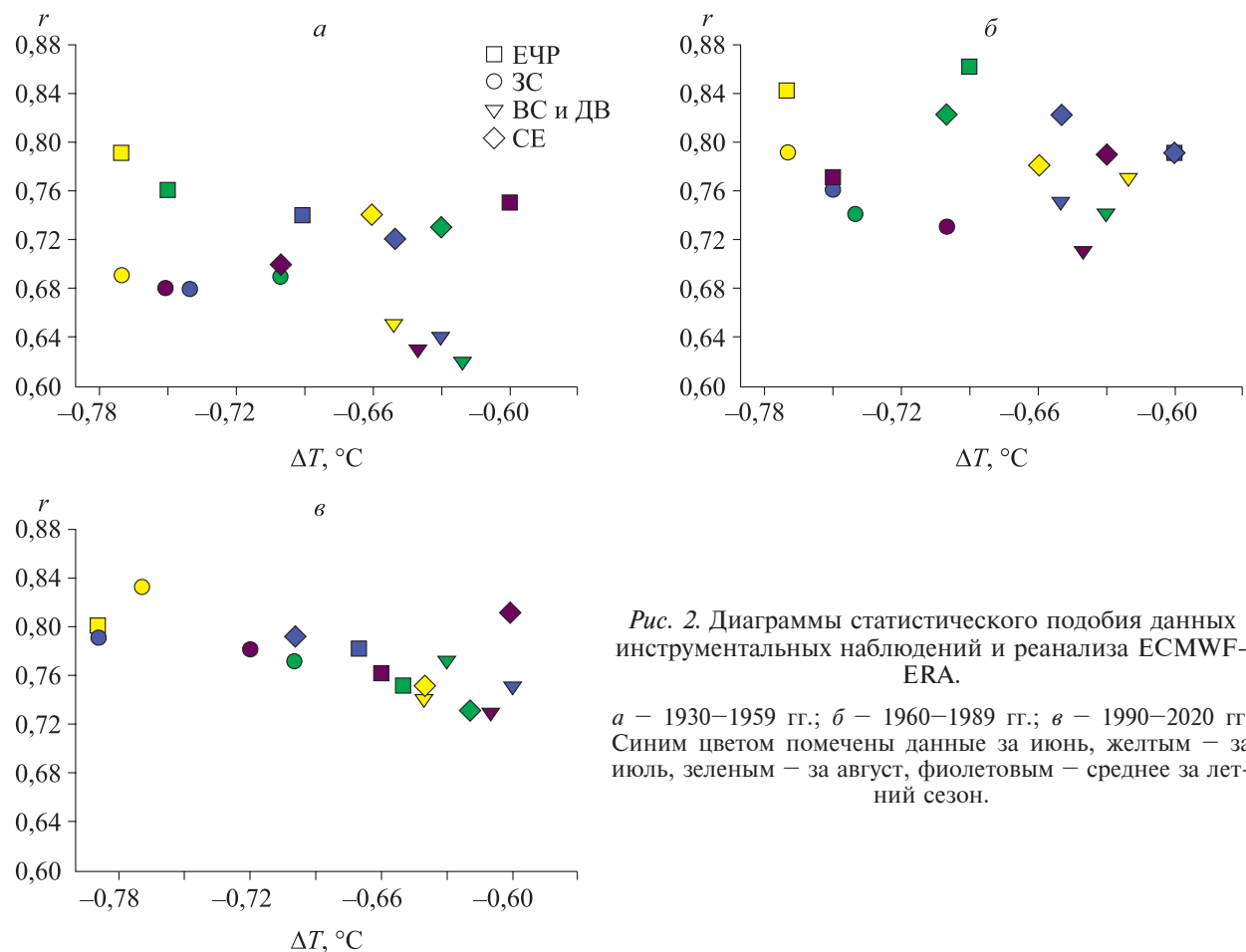


Рис. 2. Диаграммы статистического подобиия данных инструментальных наблюдений и реанализа ECMWF-ERA.

a — 1930–1959 гг.; *б* — 1960–1989 гг.; *в* — 1990–2020 гг. Синим цветом помечены данные за июнь, желтым — за июль, зеленым — за август, фиолетовым — среднее за летний сезон.

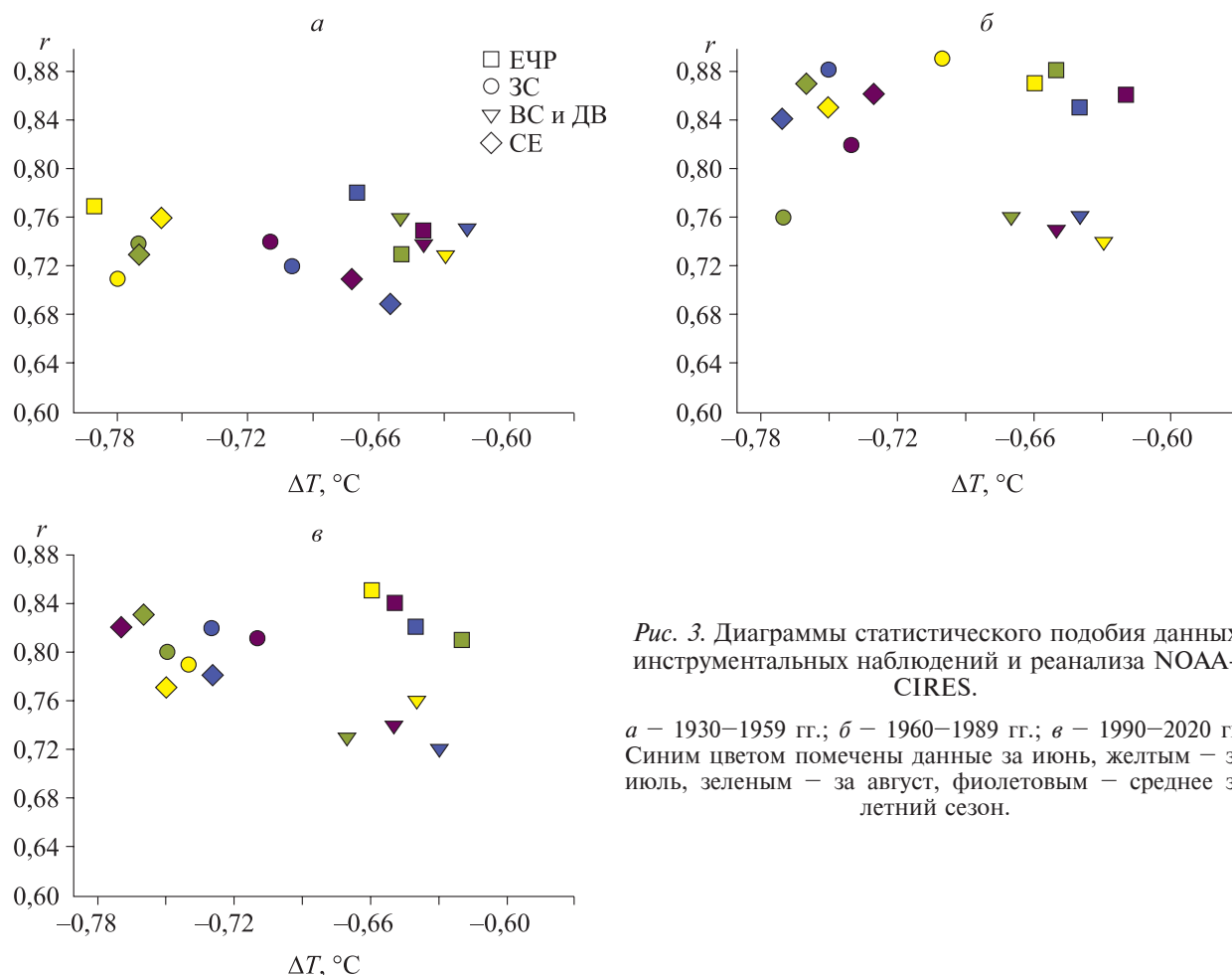


Рис. 3. Диаграммы статистического подобия данных инструментальных наблюдений и реанализа NOAA-CIRES.

a – 1930–1959 гг.; *б* – 1960–1989 гг.; *в* – 1990–2020 гг. Синим цветом помечены данные за июнь, желтым – за июль, зеленым – за август, фиолетовым – среднее за летний сезон.

XXI в.) инструментальные наблюдения и массивы обоих реанализов качественно согласуются между собой по сравнению с предыдущими периодами. Поскольку рассматриваемые ряды станционных наблюдений и реанализов представлены на разных сетках с различным разрешением, все данные были интерполированы на сетку $2 \times 2^\circ$. При реализации процедуры интерполирования для северных районов брались данные из массивов NOAA-CIRES и станционных измерений, для районов с высокой плотностью метеостанций использовались инструментальные наблюдения и архив ECMWF-ERA.

В целом полученные значения коэффициента корреляции позволяют с высокой надежностью производить дальнейший анализ на основе произведенной пространственной интерполяции с пространственным разрешением $2 \times 2^\circ$. В 1930–1959 гг. (рис. 4, *a*) летом на территории России отмечалось в среднем менее 20 дней с максимальными температурами, превышающими пороговое значение (табл. 1). Максимальное количество таких дней наблюдалось на юге ЕЧР и в Прикаспийской низменности. При этом на данной территории в аномально теплые дни температура воздуха была около 25°C .

В последующий период – 1960–1989 гг. (см. рис. 4, *б*) – с увеличением интенсивности потепления число дней с аномально высокими температурами возросло практически по всей территории России, за исключением отдельных «островов холода», приуроченных к высокогорным областям Алтая и Дальнего Востока. Сокращение числа дней с аномально высокими температурами наблюдалось на Кольском полуострове, архипелаге Новая Земля, п-ове Таймыр, в Поморском регионе. Самые значительные изменения (увеличение на 11 дней числа летних экстремумов) (см. рис. 4, *б*) наблюдаются в ЕЧР, Забайкалье (более чем на семь дней) и на п-овах Чукотском и Камчатском (более чем на пять дней). В конце XX в. рост температурных аномалий летом отмечался в основном на юге ЕЧР, ЗС и ДВ, тогда как на севере этих регионов число таких дней уменьшалось.

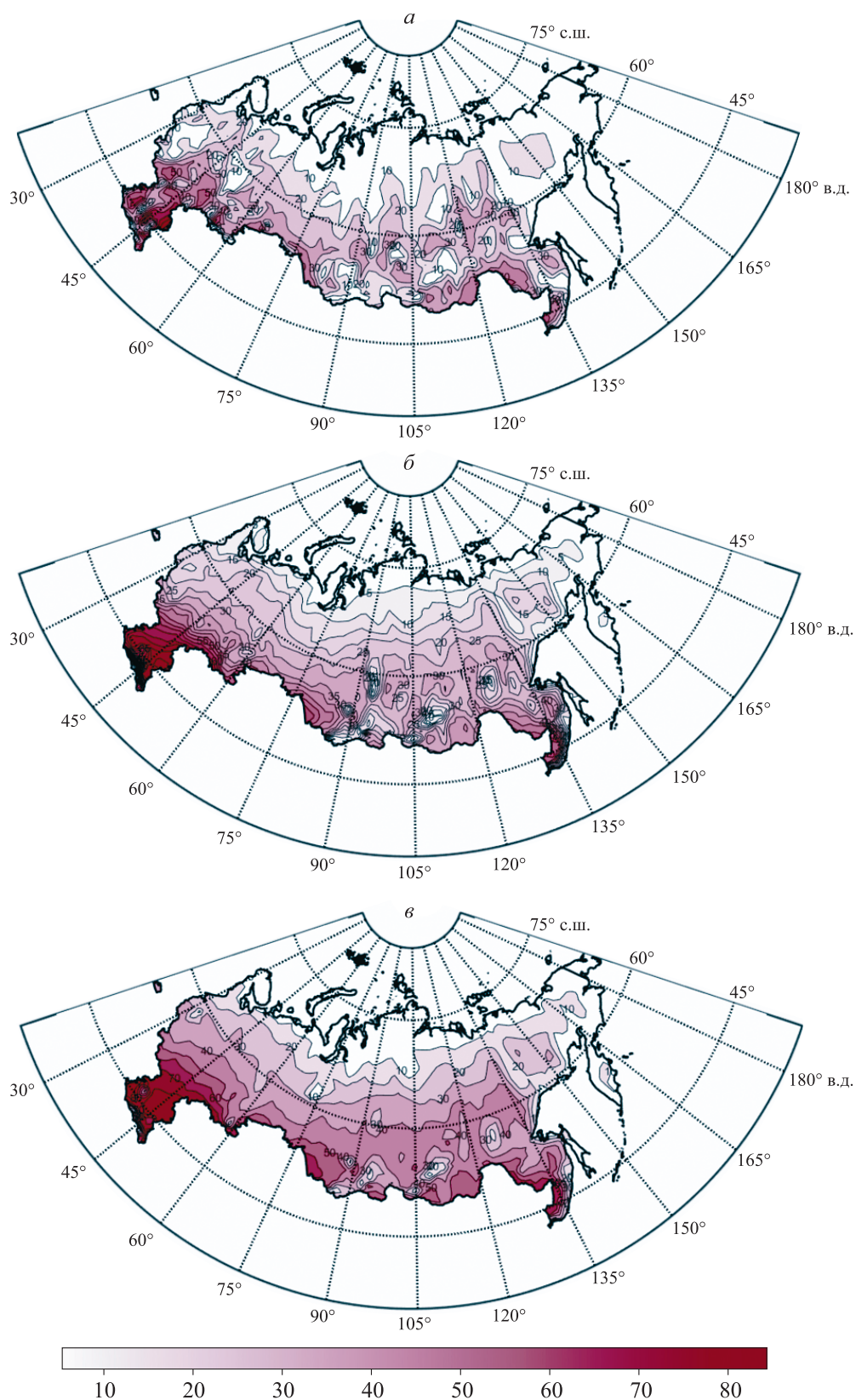


Рис. 4. Число дней летнего сезона со значениями температуры выше 25 °C за 1930–1959 гг. (*а*), 1960–1989 гг. (*б*), 1990–2020 гг. (*в*).

Таблица 1

Изменение количества дней с температурой выше 25 °С в географических регионах России

Регион	1930–1959 гг.				1960–1989 гг.				1990–2020 гг.			
	июнь	июль	август	лето	июнь	июль	август	лето	июнь	июль	август	лето
ЕЧР	9	10	8	27	15	17	14	46	12	16	11	39
ЗС	3	6	4	13	9	14	13	36	6	13	10	29
ВС и ДВ	3	5	4	12	8	13	12	33	6	9	9	24
Россия	5	7	5	21	11	16	13	40	8	13	10	31

Таблица 2

Сезонные и средние месячные оценки приземной температуры воздуха, °С

Регион	1930–1959 гг.				1960–1989 гг.				1990–2020 гг.			
	июнь	июль	август	лето	июнь	июль	август	лето	июнь	июль	август	лето
ЕЧР	14,7	16,8	15,1	15,5	17,5	20,3	19,5	19,1	17,0	18,6	18,9	18,2
ЗС	12,8	16,2	14,8	14,6	14,5	17,3	14,4	15,4	13,3	16,9	14,0	14,7
ВС и ДВ	13,0	15,5	14,6	14,4	21,2	21,8	21,6	21,5	18,1	15,7	19,5	17,8
Россия	13,5	16,2	14,8	14,8	17,7	19,8	18,5	18,7	16,1	17,1	17,5	16,9

В начале XXI в. (см. рис. 4, в) интенсивность потепления в большинстве регионов России ослабла, при этом заметный рост количества жарких дней на большей части Европейской России во многом связан с летними температурными аномалиями, так называемыми волнами тепла (особенно в 2010, 2016, 2019 гг.). Следует отметить, что при потеплении климата наблюдалось значимое увеличение числа длительных волн тепла (более трех дней) [27]. Продолжительность таких волн за последние два периода (1960–1989 и 1990–2020 гг.) существенно возросла во многих регионах. На территории ЕЧР, южнее 60° с. ш., максимальная их продолжительность увеличилась на 10–15 дней, а основной вклад в эти изменения внесли блокирующие антициклоны.

Также анализ полученных результатов показывает, что с началом потепления количество метеорологических станций, на которых регистрируются волны тепла, возрастает. В 1960–1989 гг. число станций, фиксирующих их в летний сезон, увеличилось на 16 %; потепление и волны тепла наблюдаются на 70 % станций. В конце XX–начале XXI в. (1990–2020 гг.) отмечалось существенное увеличение волн тепла в южных регионах России. По инструментальным данным метеорологических наблюдений и реанализа была выявлена пространственно-временная структура колебаний приповерхностной температуры воздуха для территории Северной Евразии и отдельных регионов. В табл. 2 представлены средние арифметические значения приземной температуры воздуха (нормы) по всем выделенным временным периодам.

За последние 60 лет в целом на территории России наблюдается устойчивое потепление. Так, его темпы с середины 1970-х гг. примерно в 2,5 раза превосходят среднеглобальные [28]. Температура воздуха в июне и августе в 1960–2020 гг. по сравнению с 1930–1959 гг. увеличилась на 5,2 °С, в июле — на 4,3 °С. В летний сезон в ЕЧР температура повысилась на 1,1 °С, в ВС и ДВ на 6,2 °С, в ЗС, наоборот, отмечена тенденция к понижению на 0,9 °С. Сравнение средних суточных и средних месячных значений температуры за 1960–1989 и 1990–2020 гг. с аналогичными данными на протяжении всего исследуемого интервала (1930–2020 гг.) позволило сделать вывод о существенном превышении вековых рекордных значений приземной температуры. В аномально жаркие годы (1998, 1999, 2010, 2013, 2014 и 2020 гг.) в отдельных регионах России температурные рекорды достигали 39 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов инструментальных измерений и данных реанализов приземной температуры воздуха летнего сезона установлено, что на большей части территории России в 1960–1989 и 1990–2020 гг. наблюдалось потепление климата. Южные области России характеризуются увеличением числа дней с экстремально высокими значениями приземной температуры воздуха (выше 30 °С), что особенно ярко проявилось в причерноморских районах, степных ландшафтах ЕЧР и ЗС, на Прикаспийской низменности, а также в Приморском крае.

В целом можно констатировать, что в конце XX—начале XXI в. в летний сезон на территории России увеличилась экстремальность климата, которая характеризуется усилением температурных экстремумов с длительностью более 40 дней за сезон. Это согласуется с оценками других исследователей [29]. Результаты работы позволяют заключить, что в настоящее время создаются предпосылки для перехода экстремальных климатических событий в разряд опасных гидрометеорологических явлений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (075–15–2020–776), обработка данных и расчет дней с экстремальными значениями приземной температуры воздуха выполнены в рамках госзадания (AAAA–A21–121011190016–1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 г. — М.: Росгидромет, 2021. — 104 с.
2. Мохов И.И., Акперов М.Г. Вертикальный температурный градиент в тропосфере и его связь с приповерхностной температурой по данным реанализа // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2006. — Т. 42, № 4. — С. 467–475.
3. State of the Global Climate 2020. — Geneva: WMO, 2021. — N 1264. — 52 p.
4. Jaox M.G., Hazen E.L., Zaba K.D., Rudnik D.L., Edwards C.A., Moore A.M., Bogdar S.J. Impacts of the 2015–2016 El Nino on the California current systems: early assessment and comparison to past events // Geophysical Research Letters. — 2016. — Vol. 43. — P. 7072–7080. — DOI: 10.1002/2016GL069716
5. Fomby T.B., Vogelsang T.J. The application of size-robust trend statistics to global warming temperature series // Journ. of Climate. — 2002. — Vol. 15, N 1. — P. 117–123. — DOI: 10.1175/1520-0442(2002)015<0117:TAOSRT>2.0.CO;2
6. Физико-географическое районирование СССР / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. — 574 с.
7. Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 204 с.
8. Осипов И.Л. Обобщение процедуры линейной интерполяции // Журн. вычислит. математики и матем. физики. — 1989. — Т. 29, № 5. — С. 780–783.
9. Michaelsen J. Cross-validation in statistical climate forecast model // Journ. of Climate and Applied Meteorology. — 1987. — Vol. 26–11. — P. 1589–1600.
10. Hersbach H., Peubey C., Simmons A., Berrisford P., Dee D. ERA-20CM: A twentieth-century atmospheric model ensemble // Quarterly Journ. of the Royal Meteorological Society. — 2015. — Vol. 141, N 691. — P. 2350–2375.
11. Poli P., Hersbach H., Dee D., Berrisford P., Simmons A., Vitart F., Tremolet Y. ERA-20C: An atmospheric reanalysis of the twentieth century // Journ. of Climate. — 2016. — Vol. 29, N 11. — P. 4083–4097.
12. Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D., Matsui N., Allan R.J., Yin X., Bronnimann S. The twentieth century reanalysis project // Quarterly Journ. of the Royal Meteorological Society. — 2011. — Vol. 137, N 654. — P. 1–28.
13. Бокучава Д.Д., Семёнов В.А. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2018. — № 1. — С. 28–51.
14. Переведенцев Ю.П., Вильфанд Р.М., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Николаев А.А., Исмагилов Н.В. Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. — 2019. — № 1. — С. 67–94.
15. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., Berg L. van de, Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hylm E.V., Isaksen L., Kellberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., Rosnay P. de, Tavolato C., Thépaut J.-N., Vitart F. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journ. of the Royal Meteorological Society. — 2011. — Vol. 137, Issue 656. — P. 553–597.
16. Liu L., Gu H., Xie J., Xu Yue-P. How well do the ERA-Interim, ERA-5, GLDAS-2.1 and NCEP-R2 reanalysis datasets represent daily air temperature over the Tibetan Plateau? // International Journal of Climatology. — 2020. — Vol. 41, N 2. — P. 1484–1505. — DOI: 10.1002/joc.6867
17. Семёнов В.А., Алешина М.А. Оценка прямого радиационного воздействия в изменения приземной температуры в современный период // Докл. РАН. Науки о Земле. — 2021. — Т. 497, № 2. — С. 155–160. — DOI: 10.31857/S2686739721040150
18. Попова В.В., Шмакин А.Б. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX—начале XXI веков // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2010. — Т. 46, № 2. — С. 161–175.
19. Outten S.D., Esau I. A link between Arctic sea ice and recent cooling trends over Eurasia // Climatic Change. — 2011. — Vol. 110, N 3–4. — P. 1069–1075. — DOI: 10.1007/s10584-011-0334-z

20. Ukita J., Honda M., Nakamura H., Tachibana Y., Cavarieli D.J., Parkinson C.L., Koide H., Yamamoto K. Northern Hemisphere sea ice variability: Lag structure and its implications // *Tellus*. — 2007. — Vol. 59, N 2. — P. 261–272. — DOI: 10.1111/j.1600-0870.2006.00223.x
21. Васильев Д.Ю., Лукманов Р.Л., Ферапонтов Ю.И., Чувывров А.Н. Цикличность гидрометеорологических параметров на примере Башкирии // *Докл. АН*. — 2012. — Т. 447, № 3. — С. 331–334.
22. Васильев Д.Ю., Бабков О.К., Кочеткова Е.С., Семёнов В.А. Вейвлет и кросс-вейвлет анализ сумм атмосферных осадков и приповерхностной температуры на Европейской территории России // *Изв. РАН. Сер. геогр.* — 2017. — № 6. — С. 63–77.
23. Васильев Д.Ю., Павлейчик В.М., Семёнов В.А., Сивохиц Ж.Т., Чибилёв А.А. Многолетний режим температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Южного Урала // *Докл. АН*. — 2018. — Т. 478, № 5. — С. 588–592. — DOI: 10.7868/S0869565218050201
24. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Соколов К.И., Харюткина Е.В. Изменчивость составляющих теплового баланса поверхности азиатской территории России в период современного глобального потепления // *Оптика атмосферы и океана*. — 2011. — Т. 24, № 1. — С. 22–29.
25. Харюткина Е.В., Ипполитов И.И., Логинов С.В. Роль радиационных и циркуляционных факторов в изменении климата Западной Сибири в конце XX и начале XXI веков // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. — 2016. — Т. 52, № 6. — С. 651–659. — DOI: 10.7868/S0002351516060109
26. *Руководство по климатологической практике*. ВМО-№ 100. — Женева: Изд-во Всемирной метеорологической организации, 2018. — 168 с.
27. Локощенко М.А. Катастрофическая жара 2010 года в Москве по данным наземных метеорологических измерений // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. — 2012. — Т. 48, № 5. — С. 523–536.
28. *Доклад о научно-методических основах для разработки стратегии адаптации к изменениям климата в Российской Федерации*. — СПб.: Росгидромет, 2020. — 120 с.
29. Шамин С.И., Санина А.Т. Оценка частоты появления опасных гидрометеорологических явлений, нанесших ущерб субъектам Российской Федерации // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. — 2019. — Вып. 184. — С. 54–66.

Поступила в редакцию 06.09.2021

После доработки 19.05.2022

Принята к публикации 28.12.2022