DOI: 10.21513/2410-8758-2017-1-5-19 УДК 551.524.3

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ И ЭКСТРЕМУМОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Б.А. Ашабоков [1),2)], А.А. Ташилова [1)], Л.А. Кешева [1)], Н.В. Теунова [1)], З.А. Таубекова [2)]*

[1)] ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
Россия, 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2; * *tashilovaa@mail.ru*

[2)]Институт информатики и проблем регионального управления
Кабардино-Балкарского научного центра РАН,
Россия, 360000, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Резюме. В статье приводятся результаты анализа изменений средней, максимальной и минимальной температуры воздуха в различные сезоны года и за год на временном отрезке 1961- 2011 гг. Анализ проведен с использованием данных 20 метеостанций, представляющих равнинную, предгорную, горную и высокогорную климатические зоны юга Европейской части территории России. Определены схожие и различающиеся характеристики изменений температурного режима воздуха в разных климатических зонах. Показано, что в летние сезоны происходит повышение температуры воздуха примерно с одинаковой скоростью во всех климатических зонах. Стабильностью среднегодового хода температуры отличаются высокогорная метеостанция Терскол и причерноморская метеостанция Сочи. В остальных климатических зонах наблюдается рост среднегодовой температуры. По результатам анализа изменений температурных экстремумов наибольший рост «горячих» экстремумов наблюдается в летние и осенние сезоны в равнинной и предгорной климатических зонах. Отмеченные тенденции имеют достаточно устойчивый характер.

Ключевые слова. Изменение климата, средняя температура, абсолютные максимумы, абсолютные минимумы, тренды, аномалии, экстремумы, климатические зоны, юг Европейской России.

CLIMATIC CHANGES OF MEAN AND EXTREME VALUES OF SURFACE AIR TEMPERATURE IN THE SOUTH OF EUROPEAN RUSSIA

B.A. Ashabokov [1),2)], A.A. Tashilova [1)], L.A. Kesheva [1)], N.V. Teunova [1)], Z.A. Taubekova [2)]*

[1)]High-Mountain Geophysical Institute,
2, pr. Lenina, 360030, Nalchik, Russia; * *tashilovaa@mail.ru*

[2)] Institute of Computer Science and Problems of Regional Management
of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
37-a, I.Armand str., 360030, Nalchik, Russia

Summary. Results of the analysis of changes in annual and seasonal temperatures (means, absolute maxima, absolute minima) in 1961-2011 are presented. The analysis is carried out with the use of 20 weather stations representing flat, foothill, mountain and high-mountain climatic zones of the South of European Russia. Similar and different characteristics of changes in temperature conditions are identified for various climatic zones. It is shown that for summer the rates of air temperature increase are roughly equal in all climatic zones under consideration. The average annual course of temperature is stable at Terskol (high mountains) and Sochi (sea coast) meteorological stations. Average annual temperature increases in other climatic zones. The results of a research of change of quantity of extrema of temperatures on climatic zones and seasons showed that the largest growth of «hot» extrema is observed in flat and foothill zones during summer and autumn seasons. Assessment of stability of climatic changes, which is carried out by method of the fractal analysis, shows persistence of the studied ranks. As it follows from our analysis of changes in temperature extremes, the most intensive growth of 'hot' extremes is observed in flat and foothill climatic zones in summer and fall. The trends are rather robust.

Keywords. Climate change, average temperature, absolute maxima, absolute minima, trends, anomalies, extremes, climatic zones**,** South of European Russia.

Введение

Изменение климата является одной из важнейших проблем 21 века, при этом «особенную обеспокоенность вызывает беспрецедентно высокая скорость глобального потепления, наблюдаемая в течение последних десятилетий» (Климатическая доктрина…, 2009). Территория России существенно более чувствительна к воздействиям на климат, чем Северное полушарие и Земной шар в целом. Размах аномалий среднегодовых температур в Российской Федерации достигает 3-4°С, в то время как для Земного шара и суши Северного полушария он лишь несколько превосходит 1.0-1.5°С (Клименко и др., 2013).

В статье (Булыгина и др., 2000) указывается, что «факт значительного потепления климата в последние десятилетия подтверждает и уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами воздуха, преобладающее на большей части страны во все сезоны года, что в сочетании с наблюдающимся ростом числа дней с аномально высокой температурой воздуха свидетельствует об увеличении экстремальности климата».

В статье (Hansen et al., 2012) приводятся результаты исследования температурных аномалий за последние десятилетия. В современный период кривая распределения температур становится шире, смещаясь в сторону более высоких значений (правосторонняя асимметрия). Отклонение от среднеарифметического значения температуры на три и более стандартные единицы (3σ) сейчас охватывает примерно 10% планеты. Исследователи климата не пришли к единому мнению по поводу антропогенного влияния на тенденцию

изменения глобальной температуры. Дж. Хансен (Hansen et al., 2012) пишет, что с высокой степенью уверенности можно утверждать, что жара, будь то в Техасе или в Москве, вызвана влиянием на климат человека. Российские климатологи (Груза, Ранькова, 2011; Груза, Ранькова, 2012) пишут о необходимости помнить, что естественное и антропогенное влияние на ход климатической изменчивости пока следует рассматривать как дискуссионные.

Потепление климата становится способным оказать колоссальное влияние на окружающую среду и на все сферы человеческой деятельности. Отсюда «…пополнение знаний о климатической системе является необходимой предпосылкой формирования и реализации независимой, научно и социально обоснованной политики в области климата» (Климатическая доктрина…, 2009), дающей возможность адаптации к этим изменениям. Это делает исследование регионального климата таким же актуальным как и исследование глобального климата.

Материалы и методы исследования

Последствия потепления климата могут быть обусловлены: «медленными» изменениями параметров окружающей среды и опасными природными явлениями, интенсивность и частота появления которых повышаются. Особенно тяжелыми последствия потепления климата могут быть для горных территорий Северного Кавказа, что непосредственным образом отразится на социально-экономической и политической ситуации в стране. Для снижения последствий изменения климата необходимо получение и эффективное использование информации об изменениях климата. Это делает проблемы анализа и прогноза изменений климата юга России и особенно горных территорий Северного Кавказа актуальными.

В работах (Ашабоков и др., 2008; Доклад об особенностях климата…, 2016; Ташилова и др., 2016), посвященных изменению климата на юге европейской территории России, анализировались статистические характеристики эмпирических рядов средних, максимальных и минимальных температур метеостанций Прохладная, Нальчик, Ахты, Теберда, Терскол, представляющих равнинную, предгорную, горную и высокогорную зоны Северного Кавказа.

Целью данной работы явилось продолжение исследований изменений климата, включая динамику экстремальных сезонных и годовых значений, на базе расширенных данных климатических переменных.

В настоящей работе на основе данных климатических переменных 20 метеостанций за период 1961-2011 гг., полученных от Северо-Кавказского Управления гидрометеослужбы, были исследованы ряды средних, максимальных и минимальных сезонных и годовых температур на юге европейской территории России. Зимний сезон включал декабрь предыдущего года. Ряды абсолютных максимумов и минимумов сезонных температур формировались из наибольших и наименьших значений, выбранных из трех месяцев для каж-

дого сезона. Физико-географическое местоположение исследованных двадцати метеостанций представлено в табл. 1 и на рис.1.

Таблица 1. Физико-географические характеристики метеостанций на юге ЕТР

№ п/п	Метеостанция	Географические координаты	Высота над уровнем моря (н.у.м.), м
Равнинные станции (< 500 м н.у.м.)			
1	Сочи (Краснодарский край)	43.35° N; 39.73° E	57
2	Краснодар	43.03° N; 38.58° E	26
3	Изобильный (Ставропольский край)	45.22° N; 32.42° E	194
4	Моздок (РСО- Алания)	43.44° N; 44.39° E	126
5	Прохладная (Кабардино-Балкария)	43.46° N; 44.05° E	198
6	Ростов-на-Дону	47.14° N; 39.44° E	64
7	Дербент (Дагестан)	42.04° N; 48.17° E	30
8	Кизляр (Дагестан)	43.51° N; 46.43° E	-17
9	Махачкала (Дагестан)	42.59° N; 47.31° E	173
10	Изберг (Дагестан)	42.34° N; 47.45° E	21
Предгорные станции (500-1000 м н.у.м.)			
11	Ставрополь (Ставропольский край)	45.03° N; 41.58° E	540
12	Майкоп (Краснодарский край)	44.37° N; 40.05° E	532
13	Черкесск (Карачаево-Черкесия)	44.17° N; 42.04° E	526
14	Кисловодск (Ставропольский край)	43.54° N; 42.43° E	819
15	Нальчик (Кабардино-Балкария)	43.22° N; 43.24° E	500
16	Владикавказ (РСО- Алания)	43.21° N; 44.40° E	680
17	Буйнакск (Дагестан)	42.49° N; 47.07° E	560
Горные станции (1000-2000 м н.у.м.)			
18	Теберда (Карачаево-Черкесия)	43.45° N; 41.73° E	1280
19	Ахты (Дагестан)	41.28° N; 47.44° E	1054
Высокогорная станция (> 2000 м н.у.м.)			
20	Терскол (Кабардино-Балкария)	43.15° N; 42.30° E	2144

Характеристики линейных трендов за полный период исследования с 1961 г. по 2011 г. и с 1976 г. по 2011 г. представлены через угловой коэффициент b (°C/10 лет), значимость тренда за исследуемый период 1961-2011 гг. определялась величиной вклада в объясненную дисперсию (D, %) (соответствующая Т-статистика выражается через D и длину ряда). Стандартное отклонение σ использовалось в качестве меры типичной изменчивости сезонной и годовой температур за период 1961-2011 гг. Аномалии температуры ΔT определялись как отклонения наблюдаемого значения от климатической нормы (среднее многолетнее значение рассматриваемой климатической переменной за 1961-1990 гг.) за эти же годы.

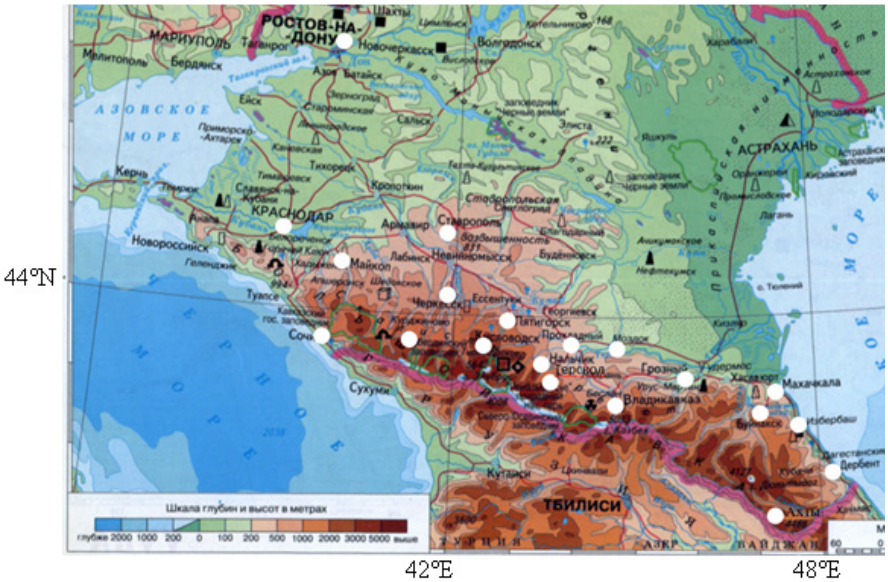

Рисунок 1. Физико-географическое местоположение метеостанций на юге ЕТР

Согласно определению в (Глоссарии терминов…, 2001), климатический экстремум (экстремальное метеорологическое или климатическое значение) – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной. При исследовании экстремальности рядов средних, абсолютных максимумов и абсолютных минимумов температур строился ранжированный ряд, разбивался на квантили (25, 50, 75%) и находилась разность Δ между квантилями 75 и 25%. Значения более 1.5Δ являются выбросами, а более 3Δ — экстремумами (Бююль А. и др., 2002). Назовем экстремумы, превышающие верхнее пороговое значения температуры исследуемого ряда – «горячими» экстремумами, меньше нижнего порогового значения температуры – «холодными» экстремумами. На основе этой методики были выявлены экстремальные значения для каждого ряда за весь исследованный период 1961-2011 гг., а также повторяемость экстремальных значений, приходящихся на 1961-1990 гг. (базовый период) и на 1991-2011 гг. (современный период) для каждой из зон.

Анализ результатов

Во многих работах (Hansen et al., 2010; Гусакова, Карлин, 2014; Груза и др., 2015) приводятся различные оценки изменения глобальной приповерхностной температуры воздуха. Со второй половины 20 в. и в первом десятилетии 21 в. в среднем скорость варьировалась в диапазоне 0.17±0.01°С. По нашим оценкам тренд потепления на юге европейской территории России соответствует общей направленности изменения глобальной температуры за этот же

период. Скорость роста среднегодовой температуры воздуха с 1961 года составила 0.2°С/10 лет, с 1976 года происходило усиление скорости роста среднегодовой температуры до 0.43°С/10 лет (табл.2). Величина вклада объясненной дисперсии тренда увеличилась с *D*=13% (1961-2011 гг.) до *D*=31.5% (1976-2011 гг.).

На отрезке времени 1961-2011 гг. наблюдается рост средней температуры воздуха во все сезоны года и за год в целом. Из табл. 2 видно, что средняя зимняя температура увеличивалась с 1961 года на 0.22°С/10 лет, а с 1976 года скорость ее роста достигла 0.38°С/10 лет. Средняя температура воздуха в весенние сезоны увеличивалась с 1961 года со скоростью 0.08°С/10 лет, с 1976 года скорость увеличилась до 0.21°/10 лет. Скорости роста температуры воздуха в летние сезоны на этих временных отрезках соответственно были равны 0.33°С/10 лет и 0.65°С/10 лет, что заметно превышает скорости роста в остальные сезоны.

Таблица 2. Характеристики динамики средней температуры воздуха на юге ЕТР

Температура, °С	**год**	**зима**	**весна**	**лето**	**осень**
Средняя температура, 1961-2011 гг.	10.1	-0.5	9.4	20.8	10.8
Стандартное отклонение, 1961-2011 гг.	0.8	1.5	0.9	1.0	1.1
Осредненные аномалии, 1961-2011 гг.	0.2	0.3	0.1	**0.4**	0.1
Угловой коэффициент тренда (1961-2011 гг.), *b*, °С/10 лет (*D*,%)	0.2 (13%)	0.22 (4.4%)	0.08 (1.6%)	**0.33 (23%)**	0.15 (4.1%)
Угловой коэффициент тренда (1976-2011 гг.), *b*, °С/10 лет (*D*,%)	0.43 (31.5%)	0.38 (9.3%)	0.21 (6.1%)	**0.65 (41%)**	0.47 (18.4%)

Максимальное значение осредненных сезонных аномалий (ΔT=0.4°С) за период 1961-2011 гг. наблюдалось также для летних температур. С середины 90-х годов 20-го столетия наблюдаются исключительно положительные аномалии летних температур. Значительно увеличивалась скорость роста температуры воздуха и в осенние сезоны: от 0.15°С/10 лет с 1961 г. и до 0.47°С/10 лет с 1976 г.

Следует отметить, что для всех климатических зон региона получены синхронные во времени изменения среднегодовых температур (рис. 2). Видимо, это можно объяснить влиянием одних и тех же центров низкочастотной изменчивости (или центров дальнодействия), которые посредством объектов синоптического масштаба (циклоны, антициклоны, и т.п.) оказывают удалённое влияние на климат в определённых районах Евразии и являются источниками аномалий различных метеорологических полей.

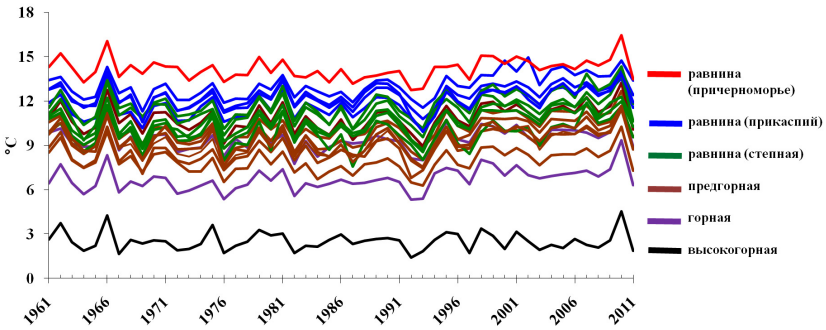

Рисунок 2. Ход среднегодовых температур по данным 20 м/станций на юге ЕТР за 1961-2011 гг.

Широкий диапазон разброса средних температур и скорости их изменения в различных климатических зонах также определяются особенностями местоположения м/станций (от Ростова-на-Дону на севере до Дербента на юге и от Сочи на западе до Изберга на востоке). На рисунке 2 и из таблицы 3 видно, что среднегодовая температура максимальна в Сочи (красная линия, t_{cp}=14.18°С) и минимальна в Терсколе (черная линия, t_{cp} =2.5°С). Среднегодовая температура воздуха по данным горной м/станции Ахты (1054 м н.у.м., t_{cp} = 9.4°С) и м/станций предгорной зоны (t_{cp} = 9.24°С) примерно одинаковы. Видимо, это можно объяснить тем, что горный климат Ахты смягчается близостью Каспийского моря.

Таблица 3. Характеристики температурного режима приземного воздуха в климатических зонах юга ЕТР

Среднегодовая температура, 1961-2011 гг.	Причерноморская (Сочи)	Прикаспийская	Степная	Предгорная	Горная	Высокогорная (Терскол)
Средняя температура $t_{ср}$, °С	14.18	12.38	10.82	9.24	8.05	2.5
Стандартное отклонение σ, °С	0.72	0.82	0.92	0.91	0.78	0.64
Верхняя граница*	15.62	14.02	12.67	11.05	9.6	3.78
Нижняя граница*	12.74	10.73	8.98	7.43	6.49	1.22
Угловой коэффициент тренда *b*, °С/10 лет(*D*,%)	0.06 (2%)	0.21 (16.9%)	0.25 (14.1%)	0.23 (16.5%)	0.17 (10.6%)	-0.01 (0%)

* Верхняя (нижняя) граница средней температуры ($t_{ср}$ ±2 σ) при 95%-ном доверительном интервале

Анализ скорости изменения температуры воздуха по данным метеостанций, расположенных в различных климатических зонах (табл. 3), показал, что:

1. Во всех климатических зонах юга России, за исключением причерноморской (Сочи) и высокогорной (Терскол), за период 1961-2011 гг. наблюдалось увеличение *средних годовых* температур: в степной зоне на 0.25°С/10 лет, в прикаспийской зоне на 0.21°С/10 лет, в предгорной зоне на 0.23°С/10 лет, в горной

зоне на 0.17°С/10 лет. В причерноморской зоне (Сочи) скорость изменения среднегодовой температуры составила 0.06°С/10 лет, а в высокогорной зоне (Терскол) 0.01°С/10 лет, что характеризует достаточно стабильный термический режим в этих зонах. По данным метеостанций в гг. Кисловодск (предгорная зона) и Махачкала (прикаспийская зона) также получены незначительные скорости изменения среднегодовой температуры – 0.07°С/10 лет и 0.08°С/10 лет соответственно. Вероятно, это объясняется региональными особенностями рельефа – наличием больших водоемов и снежных массивов, которые сглаживают амплитуды изменения средней годовой температуры. Наиболее значимые тренды (от D=26% до D=29% вклада объясненной дисперсии в тренд) среднегодовой температуры получены по данным метеостанций Махачкала, Нальчик, Кисловодск, Черкесск.

Разброс скорости роста максимальных температур в среднем составил R=0.35°С/10 лет: от минимального R=0.12°С/10 лет в причерноморской зоне до максимального R= 0.47°С/10 лет в горной зоне. Разброс скорости роста минимальных температур в среднем оказался более значительным R=0.58°С/10 лет: от минимального R=0.13°С/10 лет в прикаспийской зоне до максимального R=0.71 °С/10 лет в степной зоне.

Во всех климатических зонах в динамике *сезонных средних* температур наблюдалась общая закономерность – наибольшая скорость роста температуры имела место в *летние сезоны* (в причерноморской зоне b=0.28°С/10 лет, в степной b=0.34°С/10 лет, в прикаспийской b=0.26°С/10 лет, в предгорной b=0.37°С/10 лет, в горной b=0.35°С/10 лет, в высокогорной зоне b=0.3°С/10 лет).

2. Тенденции изменения сезонных *абсолютных максимумов* и *минимумов* температуры воздуха в различных климатических зонах имеют некоторые особенности. *Максимумы* температуры во всех зонах увеличивались с наибольшей скоростью в *осенние сезоны*. В г. Сочи, например, скорость роста осенних температур составила 0.42°С/10 лет, в степной зоне – 0.38°С/10 лет, в прикаспийской – 0.5°С/10 лет, в предгорной – 0.39°С/10 лет, в горной 0.6°С/10 лет. *Минимумы* температуры более быстрыми темпами увеличивались в *весенние сезоны*: в степной зоне на 1.05°С/10 лет, в прикаспийской на 0.64°С/10 лет, в предгорной зоне на 1.1°С/10 лет. При этом, как можно заметить, скорость увеличения весенних минимумов наибольшая и превышает 1°С/10 лет. В среднем скорость роста абсолютных минимумов температур опережала скорость роста ее абсолютных максимумов.

В табл. 3 представлены верхняя и нижняя границы интервалов значений среднегодовой температуры воздуха в различных климатических зонах: при 95%-ном уровне значимости ее значения находятся в интервале ± 2σ. Нижняя и верхняя границы диапазонов доверительных интервалов среднегодовой температуры по данным причерноморской, прикаспийских, степных, предгорных и горных метеостанций пересекаются. Значительно ниже остальных расположена среднегодовая температура в Терсколе (2.5°С с учетом межгодовой изменчивости от 1.22°С до 3.78°С), что объясняется высотной зональностью. Отличает эту станцию также стабильность изменения годовой температуры (0.01°С /10 лет).

Динамика изменения количества экстремальных температур в климатических зонах юга ЕТР

Изменение количества «холодных» и «горячих» экстремумов средней, максимальной и минимальной температуры воздуха в приземном слое атмосферы в периоды 1961-1990 гг. (базовый) и 1991-2011 гг. (современный) в равнинной, предгорной и горной зонах представлено на рис. 3. На рис. 3а видно, что количество «горячих» экстремумов средней температуры в равнинной зоне возросло с 5 в базовый период до 19 (в 4 раза; рост повторяемости с учетом различия длины периодов – в 2.7 раза) в современный период, а «холодных» уменьшилось с 12 в базовый период до 10 в современный период. Количество «горячих» экстремумов абсолютных максимумов возросло в два раза (с 16 до 32), при значительном уменьшении количества «холодных» экстремумов (с 35 до 21). Таким образом, основной вклад в увеличение количества «горячих» экстремумов средней температуры вносят изменения максимальной температуры и, возможно, (с меньшей уверенностью из-за меньшего различия повторяемости) в уменьшение количества «холодных» экстремумов – изменения минимальной температуры.

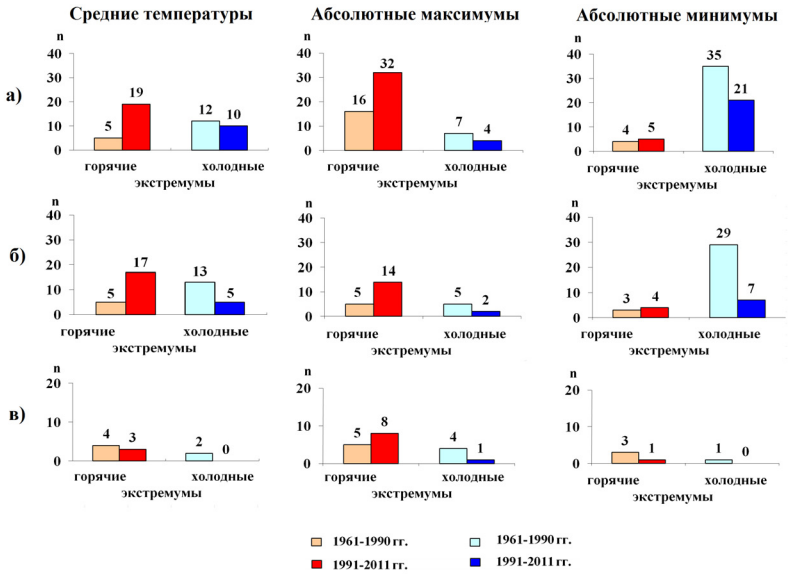

Рисунок 3. Динамика количества экстремумов температур в 1961-1990 гг. (базовый) и 1991-2011 гг. (современный) периоды:
а) - равнинная зона, б) - предгорная зона, в) - горная зона.

В предгорной зоне (рис. 3б) тенденции изменения количества «горячих» и «холодных» экстремумов средних температур аналогичны, но более выражены в холодный период по сравнению с равнинной зоной. Наблюдается значительное уменьшение «холодных» экстремумов минимальной температуры (с 29 в базовый период до 7 в современный период) и значительное увеличение «горячих» экстремумов максимальной температуры (с 5 до 14). В результате наблюдается увеличение «горячих» экстрему-

мов (с 5 до 17) и уменьшение «холодных» экстремумов (с 13 до 7) средней температуры воздуха в современный период.

В горной зоне (рис. 3в) в современный период наблюдаются аналогичные тенденции изменения «горячих» экстремумов и уменьшение холодных» экстремумов средней температуры воздуха (при общем меньшем объеме данных – всего 2 станции).. По данным двух м/станций (Ахты и Теберда) получено уменьшение количества «горячих» экстремумов средней и минимальной температуры, что может быть связано и с ограниченностью статистического материала.

Динамику изменения количества экстремальных значений средней температуры воздуха на высокогорной м/станции Терскол проанализируем без иллюстрации. За период с 1961 по 2015 гг. в *летние и весенние* сезоны не было выявлено ни одного значения средней температуры воздуха, которое квалифицировалось бы как экстремальное. В *зимние* сезоны наблюдались один «горячий» экстремум (-2.7°С) в 1966 г. и один «холодный» экстремум (-11.5°С) в 2008 г. при климатической норме средней температуры -6.4°С, в *осенние* сезоны – один холодный экстремум (-0.8°С при норме среднеосенней температуры +3.8°С) в 2011 г. и один горячий экстремум (+7.2°С) в 1975 г.

Динамика изменения количества экстремальных температур по сезонам

На рис. 4 представлена динамика изменения количества «горячих» (рис. 4а) и «холодных» (рис. 4б) экстремумов температур (средних, абсолютных максимумов, абсолютных минимумов) по сезонам, из которой видно, что наблюдаются две взаимно обратные тенденции – количество «горячих» экстремальных средних температур растет, а количество «холодных» экстремумов средних температур уменьшается. Значительный рост «горячих» экстремумов характерен для максимальной температуры, а снижение количества «холодных» экстремумов наблюдается для минимальной температуры.

Значительный рост количества «горячих» экстремумов характерен для летних (для средних температур с 2 до 22, для максимальных температур с 3 до 14) и осенних (для средних температур с 6 до 20, для максимальных температур с 8 до 26) сезонов. Снижение количества «холодных» экстремумов происходит в зимние (для средних температур с 9 до 0, для минимальных температур с 8 до 26) и весенние (для средних температур с 6 до 1, для минимальных температур с 33 до 1) сезоны.

Из суммарного количеств «горячих» экстремумов за 1961-2011 гг. по данным всех 20 метеостанций был сформирован временной ряд. На рис. 5 приводится временной ряд динамики количества «горячих» экстремумов с трендами (в виде полиномов 1-й и 3-й степени). Можно заметить, что наблюдается рост количества «горячих» экстремумов температур на юге европейской территории России за 1961-2011 гг., значительно усилившийся с 2005 г. Ряд был исследован на экстремальность, получено пороговое значение количества

«горячих» экстремумов n=8. Превышение этого количества характеризует год как год с экстремально большим количеством «горячих» экстремумов (на диаграмме красные столбики соответствуют годам с количеством «горячих» экстремумов $n \geq 8$).

.

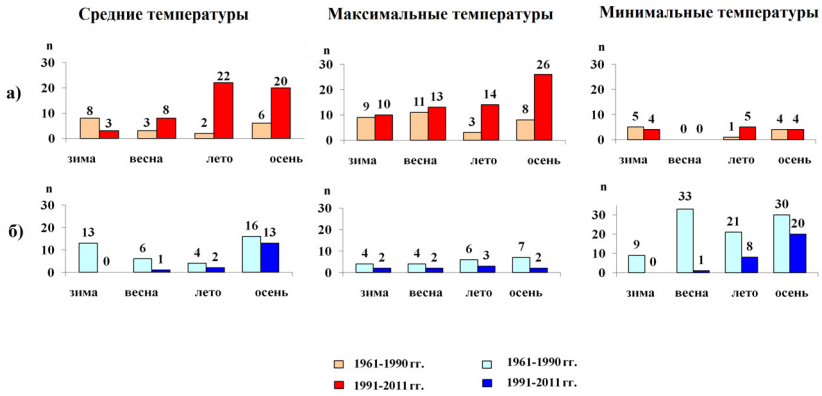

Рисунок 4. Динамика количества экстремумов температур по сезонам для всех м/станций на юге ЕТР в 1961-1990 гг. и 1991-2011 гг.:
а) - «горячие» экстремумы; б) - «холодные» экстремумы.

.

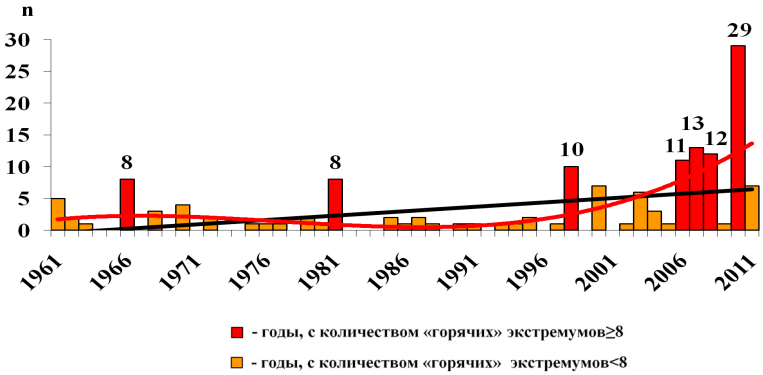

Рисунок 5. Динамика количества «горячих» экстремумов с трендами в 1961-2011 гг.

За базовый период лишь в 1966 г. и 1981 г. наблюдались по 8 экстремально высоких температур. Начиная с 1995 г., количество «горячих» экстремумов растет как по частоте, так и по значению экстремальной температуры: в 1997 г. – 10, в 2006 г. – 11, в 2007 г. – 13, в 2008 г. – 12, и, наконец, в 2010 году – 29 экстремально высоких температур. В рекордно большое количество «горячих» экстремумов, наблюдаемых в 2010 году, основной вклад внесли летние, осенние температуры и декабрь 2010 года по данным метеостанций во всех зонах, за исключением причерноморской зоны (Сочи).

Тенденцию изменения количества положительных экстремумов на рассматриваемом отрезке времени точнее описывает полином 3-й степени:

$$y = 1.5 + 0.24x - 0.022x^2 + 0.0004x^3 \quad (1)$$

Рост «горячих» экстремумов он описывает с высоким вкладом объясненной дисперсии D=41%.

Аналогично по данным всех метеостанций на отрезке времени 1961-2011 гг. был сформирован ряд из значений суммарного количества «холодных» экстремумов (рис. 6). Тенденцию изменения количества «холодных» экстремумов на рассматриваемом отрезке времени описывает полином 4-й степени:

$$y = -1.8 + 3.45x - 0.45x^2 + 0.023x^3 - 0.0005x^4 \quad (2)$$

Можно заметить циклический характер изменения количества «холодных» экстремумов (вклад объясненной дисперсии составил D=19%).

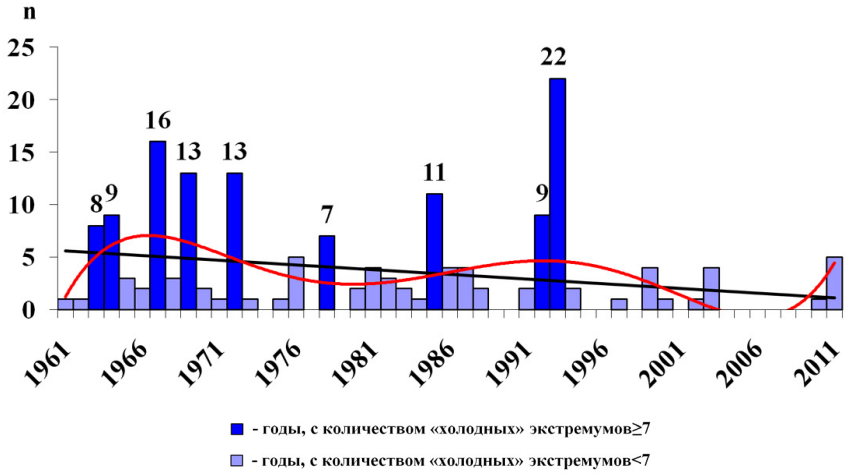

Рисунок 6. Динамика количества «холодных» экстремумов с трендами в 1961-2011 гг.

На рис. 6 видно, что в 1993 году наблюдался всплеск «холодных» экстремумов температур, общее количество которых составило 22 – наибольшее на рассматриваемом отрезке времени. Вероятно, это связано с извержением вулкана Пинатубо (Филлипины, 15°07′N; 120°21'E) в 1991 году, когда мощный выброс аэрозолей закрыл участок небосвода площадью 125000 км². Извержения повторялись, и последнее было зафиксировано в 1993 году. Последствия извержения Пинатубо были ощутимы по всему миру, было зарегистрировано падение глобальной температуры на 0.5°С, что могло привести к всплеску «холодных» экстремумов температур.

До середины 90-х годов изменение количества «горячих» и «холодных» экстремумов происходило синхронно, со второй половины 90-х годов 20-го столетия наблюдается значительное снижение количества «холодных» экстремумов (рис. 7). В период с 2006 по 2009 гг. «холодные» экстремумы отсут-

ствовали, при этом в эти же годы наблюдался значительный всплеск количества «горячих» экстремумов.

Рисунок 7. Совмещенная диаграмма количества «горячих» и «холодных» экстремальных температур за 1961-2011 гг.

Выводы

1. За исследованный период 1961-2011 гг. на юге ЕТР происходит *устойчивый рост среднегодовой температуры* воздуха (b=0.2°С/10 лет, D=13%), с 1976 года скорость роста среднегодовой температуры *увеличивается* до 0.43°С/10 лет (D=31%): тренды значимы на 1%-м уровне.

2. В климатических зонах юга ЕТР за период 1961-2011 гг. наблюдалось *увеличение средних годовых* температур: от 0.17°С/10 лет в горной до 0.25°С/10 лет в степной зонах. Исключение составили причерноморская (Сочи, b=0.06°С/10 лет) и высокогорная (Терскол, b=0.01°С/10 лет) зоны, в которых термический режим воздуха был относительно *стабильным*. (Такая стабильность, вероятно, объясняется особыми региональными условиями рельефа: близостью моря и больших площадей снежных массивов, которые сглаживают амплитуды изменения ежегодной годовой температуры).

3. Во всех климатических зонах в изменении *сезонных средних* температур имелась общая закономерность – наибольшая скорость роста температуры наблюдалась в *летние сезоны* (в причерноморской зоне b=0.28°С/10 лет, в степной b=0.34°С/10 лет, в прикаспийской b=0.26°С/10 лет, в предгорной b=0.37°С/10 лет, горной b=0.35°С/10 лет, в высокогорной зоне (Терскол) b=0.3°С/10 лет). Скорость роста абсолютных минимумов температур опережала скорость роста абсолютных максимумов.

4. Выявлен *синхронный ход* изменения средних годовых температур на метеостанциях, представляющих все климатические зоны юга ЕТР.

5. В *равнинной и предгорной зонах* в современный период происходит значительное *увеличение* количества *«горячих»* экстремумов средних температур за счет увеличения экстремумов максимальных температур и уменьшение количества «холодных» экстремумов за счет экстремумов минимальных температур.

6. Из анализа динамики изменения количества экстремумов температур по *сезонам* следует, из всех сезонов наибольшее увеличение *«горячих»* экстремумов наблюдается в *летние и осенние* сезоны. Значительное снижение количества *«холодных»* экстремумов происходит в *зимний и весенний* сезоны.

7. В современный период наблюдается значительный нелинейный рост количества «горячих» экстремумов. Со второй половины 90-х годов 20-го столетия происходит снижение количества «холодных» экстремумов, а в период 2006-2009 гг. наблюдается их полное отсутствие.

Таким образом, с использованием комплекса климатических переменных и многолетних данных о них (50 лет) получены закономерности изменений климата юга европейской территории России для различных высотных поясов, проведен анализ аномалий сезонных и годовых характеристик температурного режима, что может послужить основой для дальнейших исследований возможных последствий изменений режима температуры воздуха для отраслей экономики, окружающей среды, объектов жизнеобеспечения и т.д. юга России.

Список литературы

Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Жеруков Б.Х., Калов Х.М. 2008. Анализ и прогноз климатических изменений режима осадков и температуры воздуха в различных климатических зонах Северного Кавказа. — Изд. КБНЦ РАН, Нальчик, 182 с.

Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н., Шаймарданов М.З., Швец Н.В. 2000. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 187, с. 16–31.

Бююль, А., Цефель, П. 2002 SPSS: искусство обработки информации. Пер с нем. Под ред. Момота В.Е. - М. и др., ДиаСофтЮП.

Глоссарий терминов. МГЭИК, 2001 г.: Специальный доклад Рабочей группы III МГЭИК. /Под редакцией Б. Метца, О.Р. Дэвидсона, и др. - Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 466 p.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2011. Оценка возможного вклада глобального потепления в генезис экстремально жарких летних сезонов на европейской территории РФ. — Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 47, № 6, с. 717– 721.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2012. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата Российской Федерации: температура воздуха. — Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 194 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. 2015. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления. — Фундаментальная и прикладная климатология, т. 2, с. 41-62.

Гусакова М.А., Карлин Л.Н. 2014. Оценка вклада парниковых газов, водяного пара и облачности в изменение глобальной приповерхностной температуры воздуха. — Метеорология и гидрология, № 3, с. 19–26.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год. 2016. — Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). http://www.meteorf.ru.

Климатическая доктрина Российской Федерации (КД РФ): Распоряжение Президента РФ от 17 декабря 2009 г. N 861-рп. http://kremlin.ru/news/6365.

Клименко В. В., Мацковский В. В., Дальманн Д..2013. Комплексная реконструкция температуры российской Арктики за последние два тысячелетия. — Арктика: экология и экономика, № 4, с. 84-95.

Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А., 2016. Анализ изменчивости температуры на горной территории Северного Кавказа за 1961-2012 гг. — Метеорология и гидрология, № 9, с. 16–26.

Hansen J., Ruedy R., Sato M., and Lo K. 2010. Global surface temperature change. - Rev. Geophys., 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.

Hansen J., Sato M. and Ruedy R. 2012. Perception of climate change. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1205276109.

Статья поступила в редакцию: 24.10.2016 *После переработки: 16.03.2017*