



## ОЦЕНИВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Е.А. Рыбак<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем, РФ, г. Сочи, Курортный проспект, 99/18

<sup>2</sup>ФИЦ СНЦ РАН, РФ, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28

E-mail: [elena.rybak@gmail.com](mailto:elena.rybak@gmail.com)

Исследована динамика временных рядов среднегодовых и сезонных значений температуры воздуха на Черноморском побережье Краснодарского края на временном отрезке 1960–2021 гг. Анализ проведен с использованием данных прибрежных метеорологических станций. Исследования показали, что на всем побережье наблюдается увеличение среднегодовых температур воздуха на побережье от Анапы до Сочи. Рассчитанные десятилетние индексы позволили выделить многолетнюю изменчивость сезонных и годовых температур воздуха. Самым теплым на побережье в среднем по году оказался период, начиная с 2011 по 2021 гг. Проведено сравнение аномалий температуры воздуха на побережье с аналогичными в Южном федеральном округе и по России в целом.

**Ключевые слова:** температура воздуха, региональный климат, климатообразующие факторы, линейный тренд, Черноморское побережье Краснодарского края.

Поступила в редакцию: 31.07.2023. После доработки: 08.08.2023.

**Введение.** Наблюдения за климатом и погодой - это не только и не столько научная задача, они также имеют чисто практический интерес. Анализ климатических процессов позволит оценить происходящие изменения и наметить пути взаимодействия представителей науки, управления, бизнеса, общественности для предотвращения кризисных явлений, связанных с последствиями климатических изменений. Особенно актуально исследование общих тенденций, анализ региональных проявлений в различных регионах мира и России, современные модели и прогнозные сценарии, вопросы совершенствования региональных систем экологического мониторинга и загрязнения атмосферы урбанизированных территорий.

В XX–XXI вв. процессы глобального потепления климата имеют различные региональные проявления: процессы неоднозначны и порой разнонаправлены. Современное глобальное потепление на территории России имеет ряд важных особенностей. Если темп роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры (суша и море) составляет за период 1976–2020 гг. 0,179°C за десятилетие, а температуры над сушей – более

чем в полтора раза выше – 0,295°C за десятилетие, то территория России теплее еще почти вдвое быстрее, чем суша в целом: 0,51°C за десятилетие, причем каждое десятилетие с 1981–1990 гг. теплее предыдущего, а из 10 самых теплых лет 9 наблюдались в XXI веке [1, с. 22]. Заметим, что в этом документе Росгидромет уделит изменениям климата куда меньше внимания, чем их влиянию на инфраструктуру и способам адаптации. Особенно это касается разделов, посвященных федеральным округам: 4/5 текста занимают оценки влияния климата на различные сферы человеческой деятельности. Естественно, что температура атмосферы нашей планеты подвержена естественным колебаниям различного характера, интенсивности и длительности, и в ее истории происходило чередование периодов потепления и похолодания. Это подтвердили в том числе результаты палеоклиматических исследований осадочных пород, анализ соотношений изотопов кислорода в ископаемых морских раковинах, а также изотопный анализ содержимого воздушных пузырьков в кернах, полученных при бурении глубоких скважин в ледяных шитах Антарктиды и Гренландии. В

нашем исследовании мы не будем касаться причин изменения температуры воздуха на побережье.

Учитывая особенности и специализацию экономики, рассматриваемый регион (побережье Черного моря Краснодарского края) является одним из производителей сельскохозяйственной продукции (садоводство, виноградарство) и обладает значительным рекреационным потенциалом. Опыт многих стран мира показал, что туристский потенциал региона определяется не только наличием естественных и искусственных достопримечательностей, но и в значительной мере климатическими характеристиками. Климат не только определяет при-

влекательность региона, но и позволяет расширить сферу деятельности в различные сезоны года. Показателем климатических изменений, и даже ответственным за происходящие особо опасные явления, выступает аномальное проявление температуры воздуха.

Настоящее исследование не ставит своей задачей рассмотрение изменений экстремальности температурного режима в исследуемых регионах.

**Материалы и методы.** Для проведения настоящего исследования использовались данные инструментальных измерений на репрезентативных метеостанциях, расположенных на побережье Черного моря (от Анапы до Сочи) (табл. 1).

**Таблица 1.** Локализация точек наблюдения

№	Пункт наблюдения	Координаты (°с.ш., °в.д.)		Высота н.у.м.	Анализируемый период
1	Сочи	43,58	39,77	132	1960–2021
2	Туапсе	44,10	39,07	62	1960–2021
3	Анапа	44,88	37,28	32	1960–2021

Территория из-за своего географического положения получает много тепла. Приблизительная продолжительность солнечного сияния составляет 2200–2400 часов в год, годовая суммарная радиация колеблется от 115 до 120 ккал/см<sup>2</sup> [2].

Для анализа динамики среднегодовых и сезонных показателей температуры воздуха использованы рекомендации ВМО по составлению рядов и расчету средних показателей [3].

Результаты многолетних инструментальных измерений характеристик атмосферы на метеостанциях дают наиболее объективный материал для анализа их динамики в изучаемом регионе. В качестве климатических переменных взяты временные ряды среднегодовых и сезонных температур воздуха, абсолютных и относительных аномалий для этих рядов, рассчитанных к базовому периоду для мониторинга климата 1961–1990 гг. [4, 5]. В качестве критерия однородности изменения рядов среднегодовой и сезонной температуры были использованы значения парной корреляции [6, с. 22].

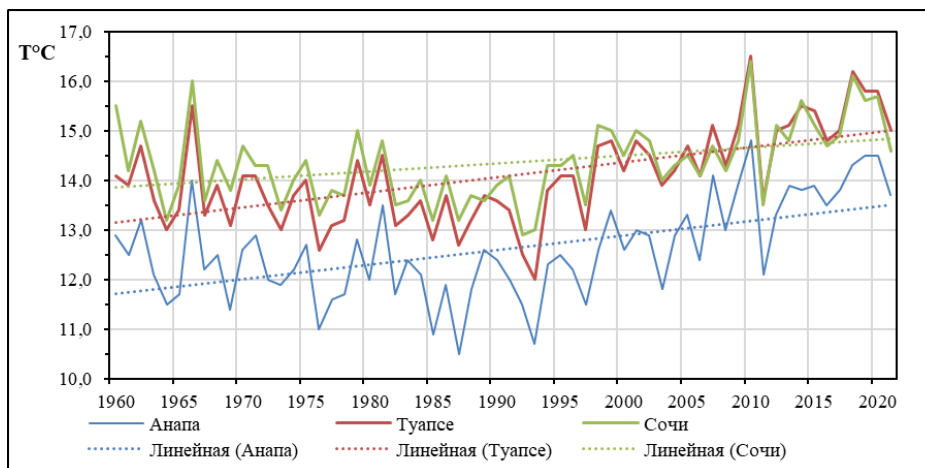
Район исследований однородный по отношению к современным изменениям выбранных климатических параметров - коэффициент парной корреляции более 0,85. Выбранный критерий однородности климатических изменений не является абсолютным, поскольку результирующая оценка зависит от выбранного периода для анализа.

Десять лет – минимальный срок для вычисления значений элементов климата. Рассчитанные индексы  $p(t)$  по десятилетиям позволили оценить изменение исследуемого параметра (в нашем случае температуры воздуха) по отношению к климатической норме.

**Результаты и обсуждение.** Климатические изменения могут обнаруживаться по-разному, однако важнейшими показателями являются режим атмосферных осадков и приземной температуры воздуха. Со второй половины XX в. значительно расширился круг исследований, посвященных анализу изменчивости режима приземной температуры воздуха в различных регионах России

(Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Семенов С.М., Переведенцев Ю.П., Лавров А.С. и др.), на юге России, в т.ч. на Черноморском побережье России (Школьник И.М., Волкова Е.В., Бердников С.В., Каплан Г.Л., Бадахова Г.Х. и др.).

На рис. 1 представлено распределение среднегодовых температур воздуха на исследуемых станциях побережья.



**Рис. 1.** Среднегодовые температуры воздуха на Черноморском побережье Краснодарского края за период с 1960 года по 2021 год

**Fig. 1.** Annual average air temperatures at the Black Sea Coast of Krasnodar Region during the period from 1960 to 2021

На всем побережье наблюдается практически синхронное изменение среднегодовых температур воздуха, хотя и с различной скоростью. При смещении с запада на восток среднегодовая температура воздуха повышается: от 12,61 (Анапа) до 14,35 (Сочи). Коэффициент линейного тренда характеризует среднюю скорость изменения температуры на рассматриваемом интервале времени.

1976 год выбран условно в качестве начала современного потепления в соответствии с ходом глобальной температуры.

Тренд был рассчитан согласно [7] как для всего периода, так и для сравнения с РФ в целом за 1976–2021 гг. (так называемый период интенсивного потепления) (табл. 2). Отметим, что во всех случаях тренд статистически значим.

**Таблица 2.** Характеристики линейных трендов среднегодовых значений температуры воздуха на Черноморском побережье Краснодарского края за периоды: 1960–2021 гг. и 1976–2021 гг.

Пункт наблюдения	1960–2021			1976–2021		
	b	R <sup>2</sup>	Интегральный тренд	b	R <sup>2</sup>	Интегральный тренд
Анапа	0,026	0,287	1,58	0,049	0,554	2,24
Туапсе	0,026	0,326	1,63	0,048	0,582	2,21
Сочи	0,014	0,134	0,86	0,032	0,416	1,47

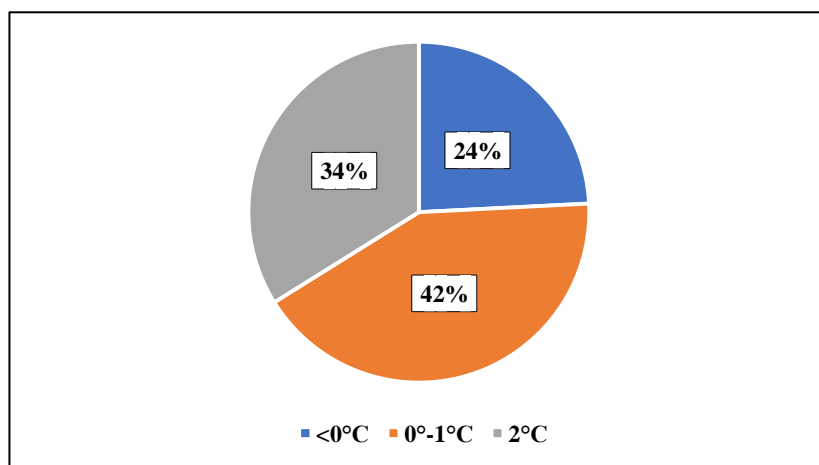
В целом по Российской Федерации и Южному федеральному округу тренд составил 0,49 °C/10 лет и 0,56 °C/10 лет

[8, с.15]. Отметим, медленнее всего изменялась среднегодовая температура воздуха в Сочи. Несмотря на количест-

венные изменения значений трендов за два рассматриваемых периода, картина качественно не изменилась: направления трендов, статистическая значимость полностью соответствуют периоду 1960–2021 гг. По данным [9, 10] во всех климатических зонах юга России, за исключением высокогорной зоны, наблюдалось статистически значимое увеличение среднегодовых температур воздуха. Таким образом, прибрежная зона Черно-

морского побережья Краснодарского края в этом случае не исключение.

На побережье в среднем в 68% случаев были отмечены положительные аномалии среднегодовой температуры воздуха. Наиболее ярко процесс потепления наблюдался в районе Туапсе (рис. 2). При этом, наибольшее количество положительных аномалий наблюдалось летом (76%) и осенью (77%). Осенью были отмечены аномалии более 3°C.



**Рис. 2.** Аномалии среднегодовой температуры воздуха в Туапсе за период 1960–2021 гг.  
**Fig. 2.** Anomalies of the annual average air temperature during the period of 1960–2021

Основным фактором изменчивости и регионального распределения температуры является крупномасштабная атмосферная циркуляция. Смена направлений переноса воздушных масс, циклонов и антициклонов, их интенсивность и продолжительность действия вызывает погодные аномалии, которые при осреднении проявляются как климатические

аномалии различного временного и пространственного масштаба и проявляются в региональной структуре климатических изменений [11].

Согласно методике, описанной в [12], нами были рассчитаны индексы температуры воздуха: годовые (табл. 3) и сезонные (табл. 4), на Черноморском побережье Краснодарского края России.

**Таблица 3.** Индексы среднегодовых температур воздуха  $p(t)$  на Черноморском побережье Краснодарского края России

Сезон		1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2021
год	Анапа	1,02	0,99	0,99	1,00	1,09	1,13
	Туапсе	1,04	1,01	1,01	1,02	1,10	1,14
	Сочи	1,02	0,99	0,98	1,00	1,04	1,07

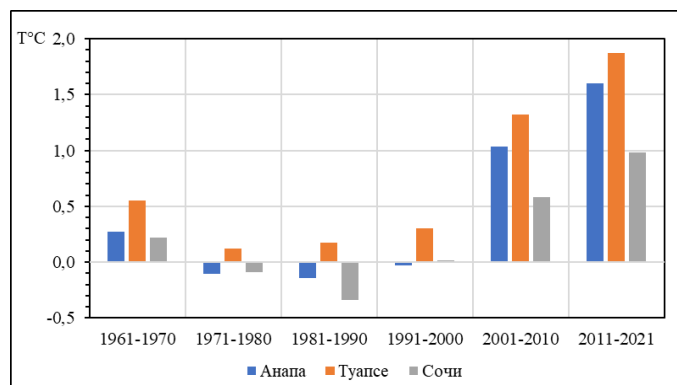
**Таблица 4.** Индексы сезонных температур воздуха  $p(t)$  в прибрежном регионе Краснодарского края

Сезон		1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2021
зима	Анапа	1,42	0,90	1,25	1,07	1,39	1,73
	Туапсе	1,19	0,91	1,06	0,98	1,15	1,30
	Сочи	1,11	0,92	0,97	0,93	1,02	1,11
весна	Анапа	1,01	1,03	0,97	0,99	1,05	1,12
	Туапсе	1,02	1,03	0,98	1,01	1,06	1,12
	Сочи	1,04	1,00	0,96	0,99	1,00	1,05
лето	Анапа	1,00	1,00	0,99	1,02	1,07	1,11
	Туапсе	1,00	1,01	1,02	1,04	1,09	1,12
	Сочи	1,00	1,01	0,99	1,02	1,05	1,08
осень	Анапа	0,99	0,97	0,95	0,95	1,08	1,06
	Туапсе	1,06	1,03	1,01	1,02	1,13	1,13
	Сочи	1,02	1,00	0,99	1,00	1,06	1,06

Условные обозначения:  -  $\leq 0,95$ ,  -  $\geq 1,1$ .

В некоторых исследованиях (например, [13]) нормальными считались месяцы и соответственно годы, в которые отклонение средней температуры от климатической нормы не превышало  $1^{\circ}\text{C}$ . Это и предопределило выделение цветом индексов в табл. 3 и 4. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) объявила период 2001–2010 гг. самым теплым десятилетием на земном шаре за время инструментальных наблюдений и самым влажным, не считая 1951–1960 гг. [14]. На побережье устойчивое потепление началось с 90-х годов XX в. ( $1 \leq p(t) \leq 1,2$ ), а в районе

Туапсе – значительно раньше (табл.3, рис. 3). Потепление маскируется большой естественной изменчивостью температуры: в отдельные годы в некоторых регионах возможны и похолодания. Однако, при осреднении за большие интервалы времени (20 лет и более), потепление проявляется особенно отчетливо. Что касается сезонных значений температур воздуха, то на побережье два десятилетия XXI века они были выше климатической нормы: максимальные значения отмечены в зимний период в Анапе ( $1,01 \leq p(t) \leq 1,73$ ).



**Рис. 3.** Аномалии среднегодовой температуры воздуха по десятилетним периодам на Черноморском побережье Краснодарского края за период 1960–2021 гг.

**Fig. 3.** Anomalies of annual average air temperatures with respect to decadal periods on the Black Sea Coast of Krasnodar region during the period 1960–2021

Десятилетие 2011–2021 гг. оказалось самым теплым на побережье. Кроме того, это время отмечено незначительным дефицитом осадков [15].

Рассмотрим температурные характеристики этого десятилетия на побережье подробно, сравнивая его с более обширными регионами: Россия и Южный федеральный округ (рис. 4). По данным, отраженным в докладах Росгидромета,

известно, что рост приземной температуры воздуха в Южном федеральном округе (ЮФО), опережает средние значения по России [1].

Обращает на себя внимание практически синхронный рост аномалий во всех рассматриваемых областях; да и средние значения за это десятилетие примерно одного порядка (1,6–1,8°C), за исключением Сочи (0,96°C).

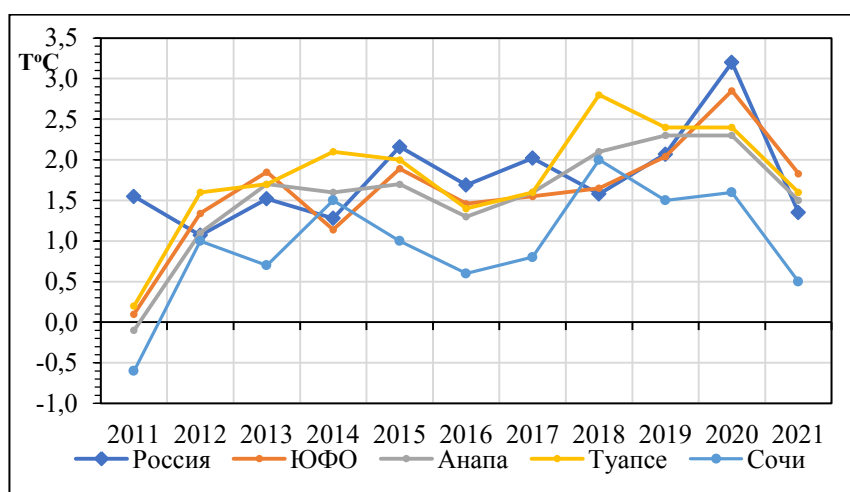


Рис. 4. Аномалии среднегодовой температуры воздуха с 2011 по 2021 гг.  
 Fig. 4. Anomalies of the annual average air temperature for 2011 to 2021

**Заключение.** Проанализирована динамика среднегодовых и сезонных температур воздуха на Черноморском побережье Краснодарского края за период с 1960 по 2021 год.

Основные результаты заключаются в следующем:

- На побережье устойчивое потепление началось с 90-х годов XX в. ( $1 \leq p(t) \leq 1,2$ ).
- На всем побережье за период 1960–2021 гг. наблюдается статистически значимое увеличение среднегодовых температур воздуха, хотя и с различной скоростью, что хорошо согласуется с тенденциями по России в целом.
- На побережье в среднем в 68% случаев были отмечены положительные

аномалии среднегодовой температуры воздуха.

- Наиболее ярко процесс потепления наблюдался в районе Туапсе: наибольшее количество положительных аномалий наблюдались летом (76%) и осенью (77%); осенью были отмечены аномалии более 3°C.
- Десятилетие 2011–2021 гг. на побережье оказалось самым теплым и с незначительным дефицитом осадков.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки мер адаптации региона к климатическим изменениям.

*Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ ШЦ РАН FGRW-2021–0015 (№ госрегистрации 122032300363–3).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научно-технологические. 2022. 124 с.
2. Клещенко Л.К. Оценки межгодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 118–125.
3. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO. 2017. No. 1203. P.18.
4. Булыгина О.Н., Кориунова Н.Н., Разуваев В.Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. № 177. С. 136–148.
5. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Кориунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных о среднемесячной температуре воздуха на станциях России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 // URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 20.05.2023).
6. Анисимов О.А., Лобанов В.А., Ренева С.А. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века // Метеорология и гидрология. 2007. № 10. С.20–30.
7. Привальский В.Е. Климатическая изменчивость (стохастические модели, предсказуемость, спектры). М.: Наука. 1985. 183 с.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. Москва. 2023. 104 с.
9. Тащилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А. Анализ изменчивости температуры воздуха на горной территории Северного Кавказа за 1961–2013 гг. // Метеорология и гидрология. 2016. № 9. С. 16–26.
10. Ашабоков Б.А., Тащилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А. Климатические изменения средних значений и экстремумов приповерхностной температуры воздуха на юге европейской территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. № 1. С. 6–19.
11. Кононова Н.К. Особенности колебаний циркуляции атмосферы и температуры воздуха на европейской территории России в XXI веке // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 6. С. 17–25.
12. Корчагина Е.А. Исследование динамики приземной температуры воздуха и сезонных сумм осадков в Приэльбрусье (середина XX – начало XXI в.) // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2016. № 4(4). С. 34–40.
13. Хованова Н.В. Температурные аномалии на территории Южного федерального округа (1998–2007 гг.) // Известия ВУЗОВ. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. № 2. С. 69–71.
14. Глобальный климат 2001–2010 годы. Десятилетие экстремальных климатических явлений. Краткий доклад. Женева: Всемирная Метеорологическая Организация. WMO-1119. 2013. 18 с.
15. Рыбак Е.А. Исследование режима осадков на Черноморском побережье Краснодарского края // Системы контроля окружающей среды. 2023. Вып. 1(51). С. 38–45.

## ASSESSMENT OF CLIMATIC CHANGES IN THE AIR TEMPERATURE AT THE BLACK SEA COAST OF THE KRASNODAR REGION

E.A. Rybak<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sochi, Kurortny Av., 99/18

<sup>2</sup>FRC SSC RAS, RF, Sochi, Yana Fabritsiusa St., 2/28

E-mail: [elena.rybak@gmail.com](mailto:elena.rybak@gmail.com)

We present results of the examination of time series of average annual and seasonal air temperatures on the Black Sea coast of the Krasnodar Region in the time interval of 1960–2021. The research was carried

out using data from coastal weather stations. The analysis revealed that along the entire coast there was an increase of average annual air temperatures from Anapa to Sochi. The calculated ten-year indices allowed distinguishing the long-term variability of seasonal and annual air temperatures. We found that annual averages were the warmest during the period from 2011 to 2021. The air temperature anomalies on the coast were compared with those in the Southern Federal District and in Russia as a whole.

**Keywords:** air temperature, regional climate, climate forming factors, linear trend, Black Sea Coast of the Krasnodar Region.

## REFERENCES

1. *Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezyume.* (The third assessment report about climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation). St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022, 124 p.
2. *Kleshchenko L.K.* Ocenki mezhdodovoj izmenchivosti prodolzhitel'nosti solnechnogo siyaniya na territorii Rossii (Evaluation of the interannual variability of the duration of insolation on the territory of Russia). *Trudy VNIIGMI-MCD*, 2020, Vol. 186, pp. 118–125.
3. *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals.* WMO, 2017, No. 1203, 18 p.
4. *Bulygina O.N., Korshunova N.N., and Razuvaev V.N.* Specializirovannye massivy dannyh dlya klimaticheskikh issledovanij (Special data arrays for the climate research). *Trudy VNIIGMI-MCD*, 2014, No. 177, pp. 136–148.
5. *Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., and Shvec N.V.* Opisaniye massiva dannyh o srednemesyachnoj temperature vozduha na stanciyah Rossii (Description of the data array of the monthly mean air temperature on the Russian stations). Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2014621485, URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (May 20, 2023).
6. *Anisimov O.A., Lobanov V.A., and Reneva S.A.* Analiz izmenenij temperatury vozduha na territorii Rossii i empiricheskij prognoz na pervuyu chetvert' XXI veka (The analysis of the air temperature change on the territory of Russia and empirical prediction on the first quarter of the XXI st century). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2007, No. 10, pp. 20–30.
7. *Prival'skij V.E.* Klimaticheskaya izmenchivost' (stohasticheskie modeli, predskazuemost', spektry) (Climatic variability (stochastic models, predictability, spectra). Moscow: Nauka, 1985, 183 p.
8. *Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2022 god* (Report on climate features in the Russian Federation for 2022). Moscow, 2023, 104 p.
9. *Tashchilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., and Taubekova Z.A.* Analiz izmenchivosti temperatury vozduha na gornoj territorii Severnogo Kavkaza za 1961-2013 gg. (Analysis of variability of the air temperature on the mountain territory of the North Caucasus during 1961-2013). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2016, No. 9, pp. 16–26.
10. *Ashabokov B.A., Tashchilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., and Taubekova Z.A.* Klimaticheskie izmeneniya srednih znachenij i ekstremumov pripoverhnostnoj temperatury vozduha na yuge evropejskoj territorii Rossii (Climatic variability of the averages and extremes of the air surface temperature at the South of the European territory of Russia). *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2017, No. 1, pp. 6–19.
11. *Kononova N.K.* Osobennosti kolebanij cirkulyacii atmosfery i temperatury vozduha na evropejskoj territorii Rossii v XXI veke (Peculiarities in variability of the atmospheric circulation and air temperature in the European territory of Russia in the XXI century). *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2018, No. 6, pp. 17–25.
12. *Korchagina E.A.* Issledovanie dinamiki prizemnoj temperatury vozduha i sezonnyh summ osadkov v Priel'brus'e (seredina XX – nachalo XXI v.) (The study of the air surface temperature dynamics and seasonal precipitation amounts in the Elbrus region (from the middle of the XXth century to the beginning of the XXI century). *Groznenskiy estestvennonauchnyj byulleten'*. 2016, No. 4(4), pp. 34–40.
13. *Hovanova N.V.* Temperaturnye anomalii na territorii Yuzhnogo federal'nogo okruga (1998–2007 gg.) (Temperature anomalies on the territory of the Southern Federal District (1998-2007). *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki*. 2009, No. 2, pp. 69–71.
14. *Global'nyj klimat 2001–2010 gody.* Desyatiletie ekstremal'nyh klimaticheskikh yavlenij. Kratkij doklad. Zheneva: Vsemirnaya Meteorologicheskaya Organizaciya, VMO-1119, 2013, 18 p.
15. *Rybak E.A.* Issledovanie rezhima osadkov na Chernomorskom poberezh'e Krasnodarskogo kraja (A study of the precipitation regime on the Black Sea coast of Krasnodar region). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2023. No. 1(51), pp. 38–45.