

УДК 504.38

А. В. Дрыгваль^{1,2,3}

П. В. Дрыгваль^{1,2,4}

А. А. Келип³

В. А. Табунщик³

Т. Ю. Горбунова³

Пространственно-временная оценка аномалий приземной температуры воздуха Юго-Восточного Крыма

¹ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Феодосия, пгт Курортное
e-mail: drygval95@mail.ru, anu-poly@mail.ru

² ФГБОУ ВО Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

³ ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

e-mail: kelip@ibss-ras.ru, tabunshchik@ya.ru, gorbunovaty@gmail.com

⁴ ФГУП НТЦ Радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, г. Москва

Аннотация. В статье проведен анализ распространения аномалий на территории Юго-Восточного Крыма за период 1916–2020 гг. Рассчитаны значения аномалий температуры воздуха в пределах циркуляционных эпох и периодов по Б.Л. Дзердзеевскому: 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха), 1982–2004 гг. и 2005–2023 гг., 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи), а также их пространственное распределение в пределах исследуемой территории. Получены карты аномалий среднемноголетних значений температуры воздуха за зимний, весенний, летний, осенний сезоны и в целом за год. Статистический анализ температурных данных в Юго-Восточном Крыму выявил зоны с аномально низкими температурами, наблюдающимися как в отдельные сезоны, так и в течение всего года. Эти зоны сосредоточены преимущественно в Демерджи-Ускутском ландшафте. Зеленогорский ландшафт характеризуется исключительно аномально низкими температурами. Несмотря на то, что на Судакско-Меганомском ландшафте отмечается самая большая площадь с высокими температурами, эти значения не отличаются от нормы и не считаются аномальными. В этом регионе не зафиксированы ни аномально высокие, ни экстремально высокие температуры.

Ключевые слова: аномальная температура, экстремальная температура, стандартизированные аномалии, Крымский полуостров, z-анализ, изменение климата, ландшафты Юго-Восточного Крыма, среднемноголетние температуры

Введение

Изучению пространственно-временной динамики температуры воздуха на территории Крымского полуострова посвящено много работ [1, 2, 3, 4], в

частности на территории равнинного [5] и горного Крыма [6, 7]. Изучению именно аномалий температуры приземного воздуха в Крыму посвящены работы [8, 9].

Аномалии температуры приземного воздуха представляют из себя некоторые отклонения значений температуры от нормы или от ожидаемого значения в определенное время года или на определенной территории. Аномалиями могут считаться различные категории температурных данных:

- значения выше/ниже определенного порога;
- как минимум один случай выше/ниже определенного порога за выбранный период времени; самые экстремальные значения за выбранный период времени;
- несколько последующих дней ($n > 1$) со значениями суточной температуры воздуха выше/ниже определенного порога;
- число дней ($n > 1$, необязательно последующих) со значениями суточной температуры воздуха выше/ниже определенного порога [10].

Также применяемым порогом, относительного которого определяется аномалия может служить:

- определенная температура;
- постоянный предел отклонений от нормы;
- стандартное отклонение, зависящее от отклонений от нормы;
- точка смены в хвосте эмпирического распределения вероятностей температуры (например, последние процентиля в распределении данных);
- особые значения эмпирического распределения вероятностей аномальной температуры [10].

Эти отклонения от нормы могут быть вызваны различными природными и антропогенными факторами, такими как изменение климата, вулканическая активность, солнечные вспышки. Аномалии температуры могут быть как положительными (температура выше нормы), так и отрицательными (температура ниже нормы). Они могут иметь существенные последствия для окружающей природной и природно-антропогенной среды, и сильно влиять на различные сферы жизнедеятельности человека (сельское хозяйство, здравоохранение и т.д.). Положительные аномалии температуры приземного воздуха могут привести к нетипичным для конкретной территории тепловым волнам, засухам, лесным пожарам и таянию ледников, а отрицательные аномалии приземной температуры могут привести к заморозкам, снегопадам и другим неблагоприятным и опасным метеорологическим явлениям.

Изучение аномалий температуры воздуха актуально в связи с тем, что долговременные тенденции изменения температурных параметров влияют на многие природные явления и процессы: от частоты возникновения пожаров (при положительных температурных аномалиях) до изменения фенологических реакций у биоты. Сами значения аномалий температуры и их локализация в определенной зоне могут давать нам представление о том, как изменяется климат в различных регионах, а также каковы причины и дальнейшие тенденции этого изменения.

Данная статья посвящена анализу статистических параметров пространственных рядов температурных данных во времени для выявления аномалий приземной температуры воздуха Юго-Восточной части Горного Крыма для возможной оценки тенденции регионального изменения климатических условий.

Материалы и методы

Для характеристики климатических параметров была выбрана территория Юго-Восточной части горного Крыма, где расположены следующие ландшафтные зоны согласно Л.А. Багровой [11]: Зеленогорский ландшафт, Пречемско-Карадагский ландшафт, Судакско-Меганомский ландшафт, Туакский ландшафт и Демерджи-Ускутский ландшафт (Рисунок 1). Рассматриваемый район характеризуется наименьшим количеством осадков (максимум их выпадения приходится на летний сезон) и наибольшей сухостью воздуха, что отличает его от остальной части Горного Крыма.

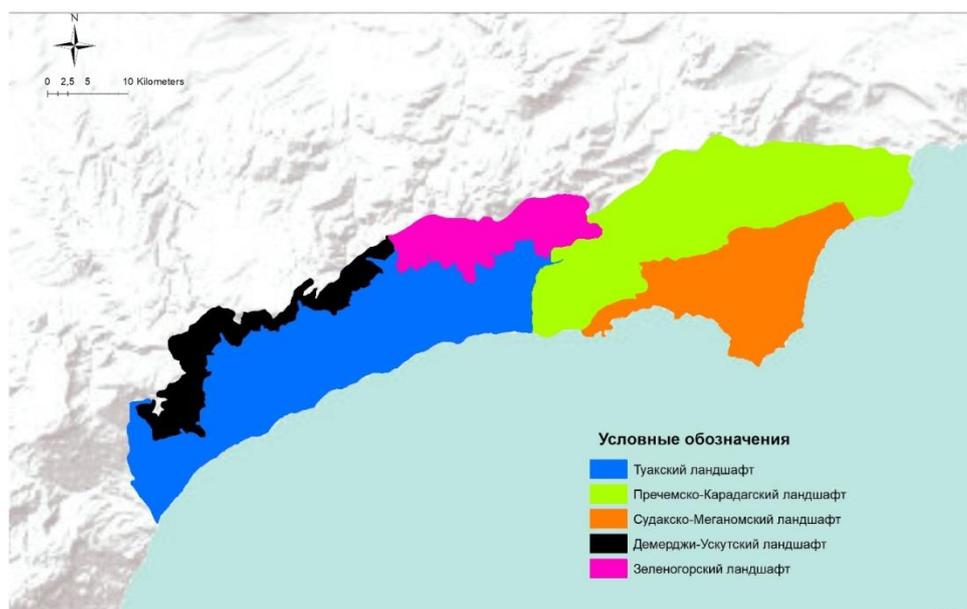


Рис. 1. Ландшафты Юго-Восточной части горного Крыма по Л.А. Багровой [11]

В качестве временных промежутков в рассмотрении тенденций аномальных значений температур все ряды изучаемых данных были разделены на промежутки, входящие в рамки групп циркуляционных эпох. По направлению циркуляции атмосферы в Северном полушарии выделяются 4 группы циркуляции: зональная (без блокирующих процессов), нарушения зональности (один блокирующий процесс на полушарии), меридиональная северная (2–4 блокирующих процесса и столько же выходов южных циклонов) и меридиональная южная (циклоническая циркуляция над Арктикой без блокирующих процессов). В соответствии с этими 4-мя группами циркуляционных механизмов в атмосфере, были выделены Б.Л. Дзержевским циркуляционные эпохи, которые имеют названия: Меридиональная северная, Зональная и Меридиональная южная [12]. По доступным для настоящего анализа временным промежуткам рассматриваемые данные входят в зональную и меридиональную южную циркуляционные эпохи.

Ряды данных о режиме температуры над исследуемой частью Крымского полуострова были взяты из ресурса программы ClimateEU [13]. В программе ClimateEU содержатся исторические и прогнозируемые данные по более чем 50 параметрам сезонных и годовых климатических и биологических переменных. Непрерывные ряды метеоданных для исследования представляют из себя

среднемесячные значения данных метеопараметров. Для характеристики условий климатической обстановки территории была проведена статистическая обработка температурных данных, в частности анализ выявления аномалий, которые присутствовали в определенный сезон за рассматриваемые периоды времени.

В настоящем исследовании для определения аномальных значений метеопараметров в качестве аномалий принимались предельные значения температур (выше и ниже которых величины уже считаются аномальными), а порогом для выявления аномальных значений было использовано стандартное отклонение (статистический параметр). Для выявления аномалий метеопараметров проведен статистический анализ рядов данных т.е. проведен расчет стандартизированных аномалий (z-анализ).

Стандартизированная оценка (z-анализ, англ.: Standard score, z-score) - это мера относительного разброса, наблюдаемого или измеренного значения, которая показывает, сколько стандартных отклонений составляет его разброс относительно среднего значения.

Одним из важных шагов, перед проведением статистической оценки является необходимость проверки рядов непрерывных данных на соответствие их закону распределения. Если распределение данных приблизительно соответствует Гауссовскому распределению, то для этой выборки есть смысл проводить z-анализ для выявления аномалий. Если выборка данных не соответствует закону Гауссовского распределения, то необходимо либо увеличить выборку (и проверить распределение еще раз), либо взять натуральный логарифм от значений параметров в выборке данных и проводить z-анализ уже для логарифмированных значений (что справедливо при очень большой дисперсии в выборке данных).

После нахождения всех значений z появится две выборки данных: первая со значениями метеопараметра, вторая – со стандартизированными z-оценками. То есть для каждого значения температуры есть свое значение z. Рассчитанный параметр позволяет сравнивать аномалии в точках регулярной сетки координат.

Так как каждому значению температуры соответствует свое z значение, необходимо определить именно температурные пределы перехода к аномальным значениям приземной температуры.

В работе [14] предложено распределять значения температуры на 7 интервалов: норма, холодно, тепло, аномально холодно, аномально тепло, экстремально холодно, экстремально тепло.

- Норма ($z=$ от -1 до 1);
- Холодно ($z=$ от -2 до -1): $\bar{x} - 1\sigma$
- Тепло ($z=$ от 1 до 2): $\bar{x} + 1\sigma$
- Аномально холодно ($z=$ от -3 до -2): $\bar{x} - 2\sigma$
- Аномально тепло ($z=$ от 2 до 3): $\bar{x} + 2\sigma$
- Экстремально холодно ($z=$ менее -3): $\bar{x} - 3\sigma$
- Экстремально тепло ($z=$ более 3): $\bar{x} + 3\sigma$

В соответствии с рассчитанными значениями z-оценок и определении конкретных пределов значений аномалий приземной температуры воздуха, появляется возможность оценить пространственное и временное распределение аномальных значений температур на территории Юго-Восточной части горного Крыма. Зная предельные значения аномалий, можно выделить в выборке данных конкретные года или места аномальных значений температуры.

Для формирования карт аномалий необходимо сформировать принцип того, на основе каких данных они будут строиться. В связи с этим в данной работе:

1) для интерполяции данных был создан слой точек на исследуемой территории с расстоянием между ними $0,01^\circ$.

2) были получены значения среднемноголетних температур января, апреля, июля, октября, и средние за год за период с 1916–2020 гг. с помощью программы ClimateEU [13].

3) были выбраны следующие временные интервалы в соответствии с периодами циркуляционных эпох по Б.Л. Дзердзеевскому [12]: 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпохи), 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи, который длится по настоящее время), в соответствии с которыми были рассчитаны средние значения температуры воздуха января, апреля, июля, октября, и их среднемноголетние значения.

4) были рассчитаны значения z-оценок для каждой точки пространства, для каждого временного периода в программной среде R, которые в последствии были интерполированы в программном комплексе ArcGIS 10.2 для визуализации карт аномалий приземной температуры воздуха на территории.

Результаты и обсуждение

В результате статистического анализа были получены диапазоны среднемноголетних значений температуры в целом за год и отдельно среднемноголетние значения температуры за месяцы: январь, апрель, июль и октябрь в период с 1916 по 2020 гг. и отдельно по циркуляционным эпохам и периодам по Б.Л. Дзердзеевскому [12].

В таблице 1 представлены пределы среднегодовых значений температуры за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 1.

Классификация среднемноголетних диапазонов приземных годовых температур в соответствии с z-оценками в различные временные промежутки (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [10])

	Классификация диапазонов температур						
	ЭХ	АХ	Х	Норма	Т	АТ	ЭТ
Пределы z-критерия	$z < -3$	$-3 < z < -2$	$-2 < z < -1$	$-1 < z < 1$	$1 < z < 2$	$2 < z < 3$	$3 < z$
Диапазон среднегодовых температур, °С	1916-2020 гг. (весь временной период)						
	$x < 7,2$ 3	$7,23 < x < 8,4$ 3	$8,43 < x < 9,6$ 3	$9,63 < x < 12,0$ 2	$12,02 < x < 13,2$ 1	$13,21 < x < 14,4$ 1	$14,41 < x$
	1916-1956 гг. (зональная циркуляционной эпохи)						
	$x < 6,8$ 4	$6,84 < x < 8,0$ 4	$8,04 < x < 9,2$ 4	$9,24 < x < 11,6$ 4	$11,64 < x < 12,8$ 4	$12,84 < x < 14,0$ 4	$14,04 < x$
Диапазон среднегодовых температур, °С	1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)						
	$x < 7,2$ 5	$7,25 < x < 8,4$ 4	$8,44 < x < 9,6$ 3	$9,63 < x < 12,0$ 1	$12,01 < x < 13,2$ 1	$13,21 < x < 14,4$ 0	$14,40 < x$

1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)						
$x < 7,0$ 7	$7,07 < x < 8,2$ 6	$8,26 < x < 9,4$ 6	$9,46 < x < 11,8$ 4	$11,84 < x < 13,0$ 4	$13,04 < x < 14,2$ 3	$14,23 < x$ x
1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)						
$x < 6,9$ 1	$6,91 < x < 8,1$ 1	$8,11 < x < 9,3$ 1	$9,31 < x < 11,7$ 1	$11,71 < x < 12,9$ 0	$12,90 < x < 14,1$ 0	$14,10 < x$ x
1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)						
$x < 8,2$ 3	$8,23 < x < 9,4$ 3	$9,43 < x < 10,$ 62	$10,62 < x < 13,$ 01	$13,01 < x < 14,2$ 0	$14,20 < x < 15,4$ 0	$15,40 < x$ x

Примечание: ЭХ/ЭТ – экстремально холодно/тепло; АХ/АТ – аномально холодно/ тепло; Х/Т – холодно/тепло; x – среднее значение температуры за период

В рамках следующего шага были получены карты аномалий среднегодулетних значений годовых приземных температур (Рисунок 2).

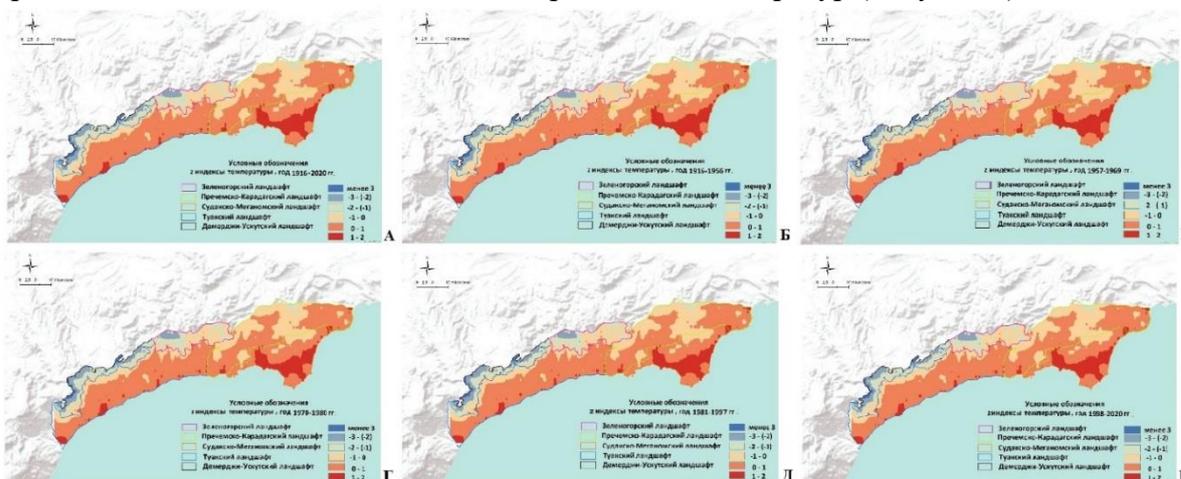


Рис. 2. Аномалии среднегодулетних значений годовых приземных температур: А – 1916-2020 гг. (весь период); Б – 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г – 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д – 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е – 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено авторами

Оценивая полученные при статистическом анализе карты аномалий приземной температуры за весь период времени, отмечается, что рисунок аномалий среднегодовых значений температур практически не менялся (Рисунок 2). Во все периоды циркуляционных эпох среди среднегодулетних значений температур встречаются только аномалии холода, расположенные в северных и северо-западных частях Зеленогорского (аномально холодные температуры) и Демерджи-Ускутского ландшафтов (аномально и экстремально холодные температуры) во все рассматриваемые временные периоды.

Самая большая площадь теплых температур отмечается на территории Судакско-Меганомского ландшафта, но они не относятся к аномальным. Аномально теплых и экстремально теплых температур не отмечается.

В таблице 2 представлены температурные пределы среднегодулетних значений температуры января за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 2.

Классификация среднемноголетних диапазонов приземных температур января в соответствии с z-оценками в различные временные промежутки (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [10])

		Классификация диапазонов температур						
		ЭХ	АХ	Х	Норма	Т	АТ	ЭТ
Пределы z-критерия		$z < -3$	$-3 < z < -2$	$-2 < z < -1$	$-1 < z < 1$	$1 < z < 2$	$2 < z < 3$	$3 < z$
	Диапазон среднегодовых температур, °С	1916-2020 гг. (весь временной период)						
	$x < -3,41$	$-3,41 < x < -2,19$	$-2,19 < x < -0,98$	-	$0,98 < x < 1,45$	$1,45 < x < 2,67$	$2,67 < x < 3,88$	$3,88 < x$
	1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпохи)							
	$x < -3,95$	$-3,95 < x < -2,72$	$-2,72 < x < -1,50$	-	$1,50 < x < 0,94$	$0,94 < x < 2,17$	$2,17 < x < 3,39$	$3,39 < x$
	1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < -3,45$	$-3,45 < x < -2,22$	$-2,22 < x < -0,99$	-	$0,99 < x < 1,47$	$1,47 < x < 2,70$	$2,70 < x < 3,93$	$3,93 < x$
	1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < -4,19$	$-4,19 < x < -2,99$	$-2,99 < x < -1,80$	-	$1,80 < x < 0,60$	$0,60 < x < 1,80$	$1,80 < x < 3,00$	$3,00 < x$
	1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < -2,86$	$-2,86 < x < -1,64$	$-1,64 < x < -0,43$	-	$0,43 < x < 2,00$	$2,00 < x < 3,22$	$3,22 < x < 4,43$	$4,43 < x$
	1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < -2,46$	$-2,46 < x < -1,26$	$-1,26 < x < -0,06$	-	$0,06 < x < 2,35$	$2,35 < x < 3,56$	$3,56 < x < 4,76$	$4,76 < x$

Примечание: ЭХ/ЭТ – экстремально холодно/тепло; АХ/АТ – аномально холодно/ тепло; Х/Т – холодно/тепло; x – среднее значение температуры за период

В рамках следующего шага были получены карты аномалий среднемноголетних значений приземных температур в январе (Рисунок 3).

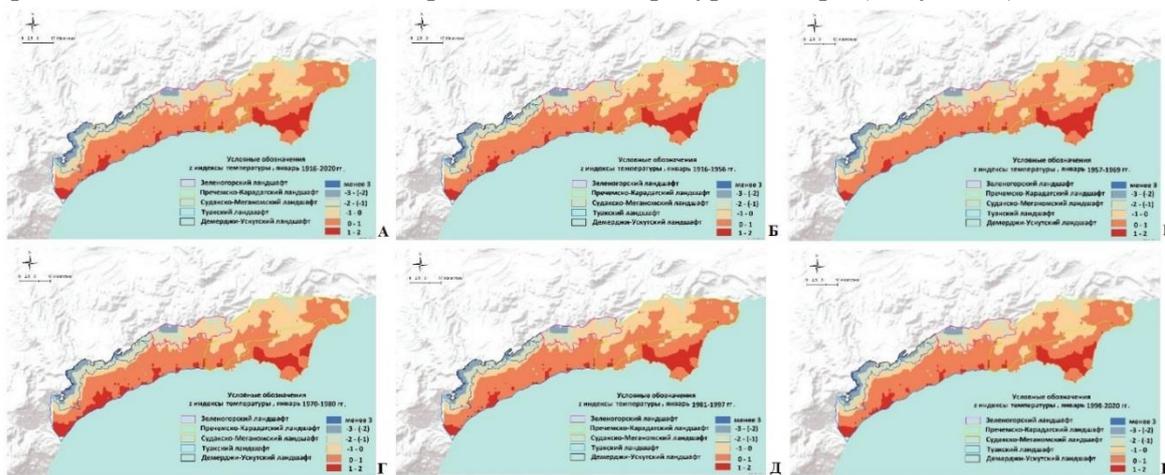


Рис. 3. Аномалии среднемноголетних значений приземных температур в январе: А – 1916-2020 гг. (весь период); Б – 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г – 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д – 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е – 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено авторами

В январе характерно наличие отрицательных температурных аномалий, распространенных в северных и северо-западных частях Зеленогорского и Демерджи-Ускутского ландшафтов, причем в Зеленогорском встречаются только аномально холодные температуры, когда как в Демерджи-Ускутском ландшафте и аномально, и экстремально холодные температуры во все рассматриваемые временные периоды (Рисунок 3). Аномально теплых и экстремально теплых температур не отмечается.

Самая большая площадь теплых температуры отмечается на территории Судакско-Меганомского ландшафта, но они не относятся к аномальным. Аномально теплых и экстремально теплых температур не отмечается.

В таблице 3 представлены температурные пределы среднемноголетних значений температуры апреля за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 3.

Классификация среднемноголетних диапазонов приземных температур апреля в соответствии с z-оценками в различные временные промежутки (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [10])

		Классификация диапазонов температур						
		ЭХ	АХ	Х	Норма	Т	АТ	ЭТ
Пределы z-критерия		$z < -3$	$-3 < z < -2$	$-2 < z < -1$	$-1 < z < 1$	$1 < z < 2$	$2 < z < 3$	$3 < z$
Диапазон среднегодовых температур, °С	1916-2020 гг. (весь временной период)							
	$x < 5,86$	$5,86 < x < 7,0$ 1	$7,01 < x < 8,1$ 5	$8,15 < x < 10,4$ 5	$10,45 < x < 11,6$ 0	$11,60 < x < 12,7$ 4	$12,74 < x$	
	1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)							
	$x < 5,45$	$5,45 < x < 6,6$ 0	$6,60 < x < 7,7$ 4	$7,74 < x < 10,0$ 4	$10,04 < x < 11,1$ 8	$11,18 < x < 12,3$ 3	$12,33 < x$	
	1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < 5,68$	$5,68 < x < 6,8$ 3	$6,83 < x < 7,9$ 7	$7,97 < x < 10,2$ 6	$10,26 < x < 11,4$ 1	$11,41 < x < 12,5$ 6	$12,56 < x$	
	1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < 6,50$	$6,50 < x < 7,6$ 4	$7,64 < x < 8,7$ 8	$8,78 < x < 11,0$ 7	$11,07 < x < 12,2$ 1	$12,21 < x < 13,3$ 6	$13,36 < x$	
	1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
$x < 5,65$	$5,65 < x < 6,8$ 0	$6,80 < x < 7,9$ 5	$7,95 < x < 10,2$ 5	$10,25 < x < 11,4$ 0	$11,40 < x < 12,5$ 6	$12,56 < x$		
1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
$x < 6,54$	$6,54 < x < 7,69$ 69	$7,69 < x < 8,8$ 4	$8,84 < x < 11,1$ 4	$11,14 < x < 12,2$ 9	$12,29 < x < 13,4$ 4	$13,44 < x$		

Примечание: ЭХ/ЭТ – экстремально холодно/тепло; АХ/АТ – аномально холодно/тепло; Х/Т – холодно/тепло; х – среднее значение температуры за период

В рамках следующего шага были получены карты аномалий среднемноголетних значений приземных температур в апреле (Рисунок 4).

Картина распространения температурных аномалий такая же, как и в январе: в Зеленогорском ландшафте встречаются только аномально холодные температуры, когда как в Демерджи-Ускутском ландшафте и аномально, и экстремально холодные температуры во все рассматриваемые временные периоды (Рисунок 4).

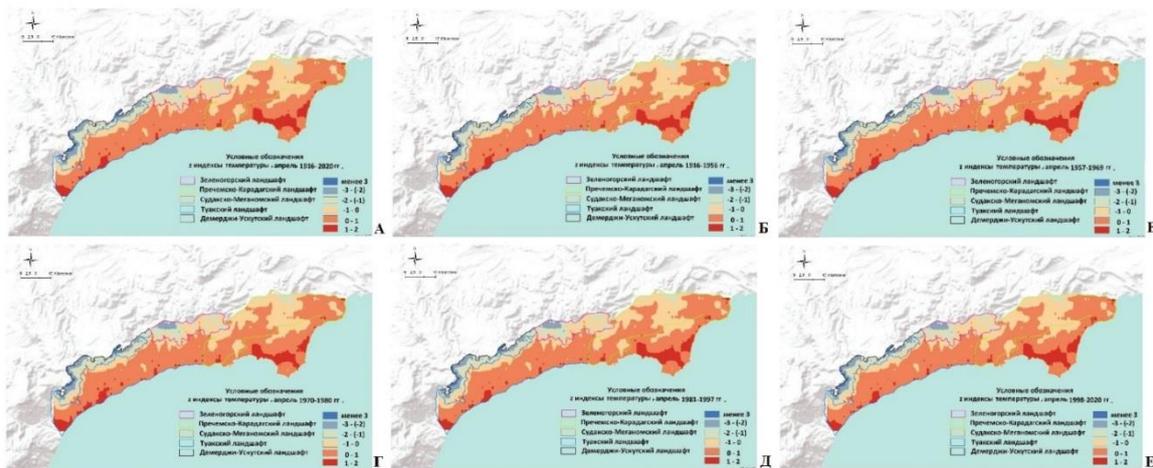


Рис. 4. Аномалии среднееголетних значений приземных температур в апреле: А – 1916-2020 гг. (весь период); Б – 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г – 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д – 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е – 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено авторами

Самая большая площадь теплых температуры отмечается в пределах Судакско-Меганомского ландшафта, но они не относятся к аномальным. Аномально теплых и экстремально теплых температур не отмечается.

Самые теплые температуры отмечаются в пределах Судакско-Меганомского ландшафта, но они также не относятся к аномальным.

В таблице 4 представлены температурные пределы среднееголетних значений температуры июля за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 4.

Классификация среднееголетних диапазонов приземных температур июля в соответствии с z-оценками в различные временные промежутки (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [10])

		Классификация диапазонов температур						
		ЭХ	АХ	Х	Норма	Т	АТ	ЭТ
Пределы z-критерия		$z < -3$	$-3 < z < -2$	$-2 < z < -1$	$-1 < z < 1$	$1 < z < 2$	$2 < z < 3$	$3 < z$
	Диапазон среднееголетних температур, °С	1916-2020 гг. (весь временной период)						
		$x < 18,2$ 8	$18,28 < x < 19,56$	$19,56 < x < 20,84$	$20,84 < x < 23,39$ 39	$23,39 < x < 24,6$ 7	$24,67 < x < 25,9$ 5	$25,95 < x$
1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)								
		$x < 18,0$ 7	$18,07 < x < 19,35$	$19,35 < x < 20,62$	$20,62 < x < 23,18$ 18	$23,18 < x < 24,4$ 5	$24,45 < x < 25,7$ 3	$25,73 < x$
1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
		$x < 18,0$ 2	$18,02 < x < 19,28$	$19,28 < x < 20,54$	$20,54 < x < 23,06$ 06	$23,06 < x < 24,3$ 2	$24,32 < x < 25,5$ 8	$25,58 < x$
1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
	$x < 17,5$ 9	$17,59 < x < 18,89$	$18,89 < x < 20,18$	$20,18 < x < 22,76$ 76	$22,76 < x < 24,0$ 5	$24,05 < x < 25,3$ 4	$25,34 < x$	
1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								

	$x < 17,8$ 1	$17,81 < x < 19,09$	$19,09 < x < 20,38$	$20,38 < x < 22,$ 94	$22,94 < x < 24,2$ 3	$24,23 < x < 25,5$ 1	$25,51 < x$
1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)							
	$x < 19,4$ 9	$19,49 < x < 20,77$	$20,77 < x < 22,05$	$22,05 < x < 24,$ 60	$24,60 < x < 25,8$ 8	$25,88 < x < 27,1$ 6	$27,16 < x$

Примечание: ЭХ/ЭТ – экстремально холодно/тепло; АХ/АТ – аномально холодно/ тепло; Х/Т – холодно/тепло; x – среднее значение температуры за период

В рамках следующего шага были получены карты аномалий среднеголетних значений приземных температур в июле (Рисунок 5).

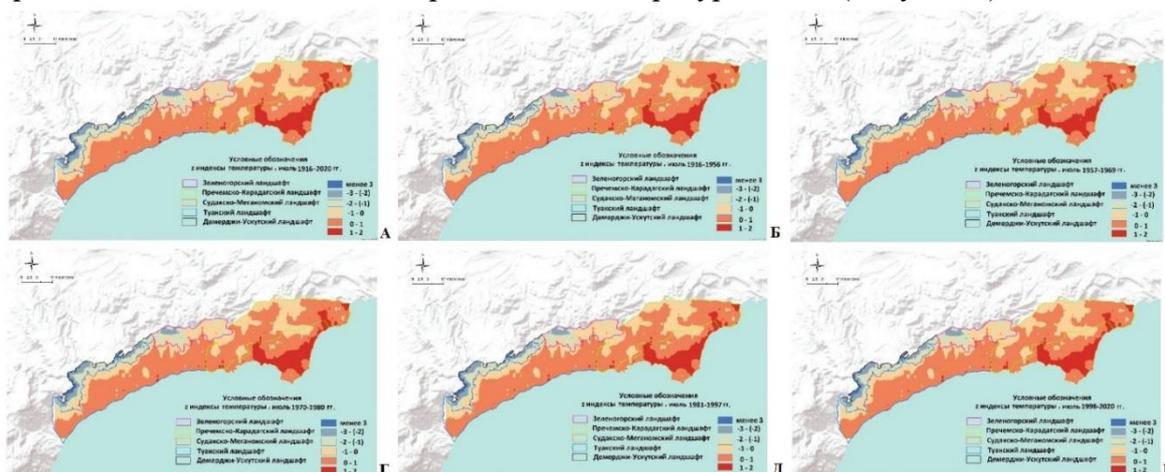


Рис. 5. Аномалии среднеголетних значений приземных температур в июле: А – 1916-2020 гг. (весь период); Б – 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г – 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д – 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е – 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено авторами

Рассматривая летний период распространения температурных аномалий по территории Юго-Восточного Крыма, отмечается, что присутствуют только отрицательные аномалии температур, которые распространены в северных и северо-западных частях Зеленогорского и Демерджи-Ускупского ландшафтов (Рисунок 5). Причем экстремально холодные для июля температуры на этой территории встречаются только в пределах Демерджи-Ускупского ландшафтного контура.

Самая большая площадь теплых температур отмечается в пределах Судакско-Меганомского ландшафта, но они не относятся к аномальным. Аномально и экстремально теплые температуры не отмечаются.

В таблице 5 представлены температурные пределы среднеголетних значений температуры октября за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 5.

Классификация среднегодовых диапазонов приземных температур октября в соответствии с z-оценками в различные временные промежутки (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [10])

		Классификация диапазонов температур						
		ЭХ	АХ	Х	Норма	Т	АТ	ЭТ
Пределы z-критерия		$z < -3$	$-3 < z < -2$	$-2 < z < -1$	$-1 < z < 1$	$1 < z < 2$	$2 < z < 3$	$3 < z$
	Диапазон среднегодовых температур, °С	1916-2020 гг. (весь временной период)						
$x < 8,21$		$8,21 < x < 9,37$	$9,37 < x < 10,53$	$10,53 < x < 12,84$	$12,84 < x < 14,00$	$14,00 < x < 15,16$	$15,16 < x$	
1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)								
$x < 8,24$		$8,24 < x < 9,41$	$9,41 < x < 10,57$	$10,57 < x < 12,91$	$12,91 < x < 14,08$	$14,08 < x < 15,24$	$15,24 < x$	
1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
$x < 7,93$		$7,93 < x < 9,09$	$9,09 < x < 10,26$	$10,26 < x < 12,58$	$12,58 < x < 13,75$	$13,75 < x < 14,91$	$14,91 < x$	
1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
$x < 7,48$		$7,48 < x < 8,62$	$8,62 < x < 9,76$	$9,76 < x < 12,05$	$12,05 < x < 13,19$	$13,19 < x < 14,34$	$14,34 < x$	
1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
$x < 7,81$	$7,81 < x < 8,96$	$8,96 < x < 10,12$	$10,12 < x < 12,44$	$12,44 < x < 13,59$	$13,59 < x < 14,75$	$14,75 < x$		
1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)								
$x < 8,95$	$8,95 < x < 10,10$	$10,10 < x < 11,25$	$11,25 < x < 13,56$	$13,56 < x < 14,71$	$14,71 < x < 15,86$	$15,86 < x$		

Примечание: ЭХ/ЭТ – экстремально холодно/тепло; АХ/АТ – аномально холодно/ тепло; Х/Т – холодно/тепло; x – среднее значение температуры за период

В рамках следующего шага были получены карты аномалий среднегодовых значений приземных температур в октябре (Рисунок 6).

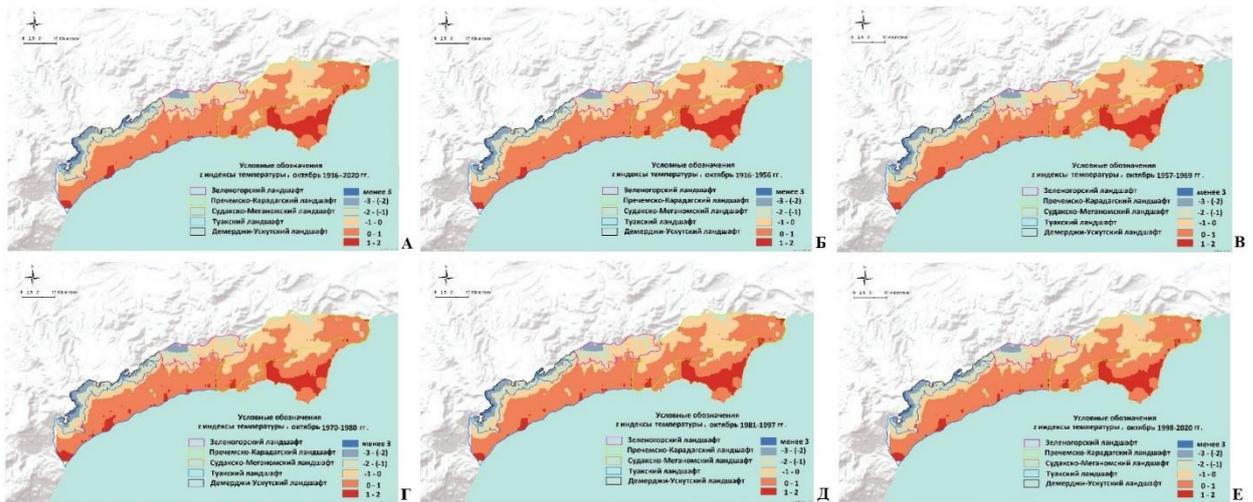


Рис. 6. Аномалии среднегодовых значений приземных температур в октябре: А – 1916-2020 гг. (весь период); Б – 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г – 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д – 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е – 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи). Составлено авторами

В осенний сезон картина распространения аномальных температур на территории Юго-Восточного Крыма не изменилась по сравнению с летним, весенним и зимним сезонами. В Зеленогорском ландшафте встречаются только аномально холодные температуры, а аномально и экстремально холодные температуры встречаются в северо-западной части Демерджи-Ускутского ландшафта во все рассматриваемые временные периоды (Рисунок 6).

Самая большая площадь теплых температур отмечается на территории Судакско-Меганомского ландшафта, но они не относятся к аномальным. Аномально теплых и экстремально теплых температур не отмечается.

В целом, на территории Юго-Восточного Крыма с 1916 по 2020 гг. картина распространения температурных аномалий не меняется ни в пределах циркуляционных эпох и периодов, ни в разные сезоны года.

Однако необходимо отметить, что заметно изменились среднегодовые и сезонные значения температур, которые считаются аномалиями для рассматриваемой территории. Так, среднегодовые значения аномально холодных и экстремально холодных температур, которые проявляются на территории Юго-Восточного Крыма повысились ровно на 1 °С, январские значения аномально холодных и экстремально холодных температур повысились на 0,93 °С и 0,95 °С, соответственно; апрельские значения повысились на 0,68 °С, июльские значения повысились на 1,21 °С, октябрьские значения повысились на 0,73 и 0,74 °С, соответственно. Прослеживается постепенное повышение среднегодовой температуры воздуха в период с 1916 по 2020 гг.

Выводы

На территории Юго-Восточной части горного Крыма по данным статистического анализа стандартизированных аномалий были выявлены участки, для которых характерно распространение аномальных и экстремально низких значений температур за рассматриваемые периоды (во все сезоны года, а также в целом – в году). Данные участки находятся в основном в пределах Демерджи-Ускутского ландшафтного контура. В пределах Зеленогорского ландшафта встречаются только аномально холодные температуры.

Самая большая площадь с теплыми температурами отмечается на территории Судакско-Меганомского ландшафта, но они не относятся к аномальным. Аномально теплых и экстремально теплых температур за рассматриваемый период с 1916 по 2020 гг. не отмечается.

В пределах Пречемско-Карадагского, Судакско-Меганомского и Туакского ландшафтов не отмечаются ни холодные, ни теплые аномальные и экстремальные температуры воздуха в период с 1916 по 2020 гг.

Отмечается планомерное повышение аномальных значений температур за рассматриваемые 104 года: средние многолетние температуры аномалий повысились на 1 °С.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания

научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0).

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Литература

1. Изменение температуры воздуха в Крыму / Горбунов Р. В. [и др.] // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10, № 3. С. 370-383.
2. Кононова Н. К. Циркуляция атмосферы в Европейском секторе Северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. С. 633-639.
3. Лемешко Н. А., Евстигнеев В. П., Наумова В. А. Изменения температуры воздуха в Азово-Черноморском бассейне и на территории Крыма // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2014. Вып. 4. С. 131-143.
4. Хаупшева М. Х., Шугунов Т. Л., Шугунов Л. Ж. Анализ и прогноз значений среднегодовой температуры Крыма с использованием компьютерных технологий // Успехи современного естествознания. 2017. №1. С. 100-104.
5. Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем равнинного Крыма / Горбунов Р. В [и др.] // Социально-экологические технологии. 2021. Т. 11, № 1. С. 121-138.
6. Динамика температуры воздуха в основных типах региональных экосистем горного Крыма / Горбунов Р. В [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29, № 1. С. 39-54.
7. Смирнов В. О. Анализ распределения температуры воздуха на территории заповедника «Мыс Мартьян» и его связь с геотопологическими параметрами территории // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2010. Вып. 1. С. 7-14.
8. Дрыгваль А. В., Келип А. А., Горбунов Р. В., Дрыгваль П. В., Табунщик В. А. Анализ стандартизированных аномалий температуры воздуха на территории Крымского полуострова // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения : материалы XIV Междунар. ландшафт. конф., 17–21 мая, 2023 г., Воронеж : в 2-х т. Воронеж : ВГУ, 2023. Т. 2. С. 219-221
9. Холопцев А. В., Астафьева Д. А. Изменения климатических норм месячных сумматмосферных осадков в юго-западном и западном Крыму, а также аномалий поверхностных температур регионов Черного моря в зимние месяцы, в 1950-2012 гг // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2014. Т. 27(66), №1. С. 95-105
10. Гечайте И. Колебания циркуляции атмосферы как фактор формирования сильных зимних похолоданий в восточной части Балтийского региона: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.30, 2016. 167 с.
11. Багрова Л. А. Особенности природы и освоения естественных рекреационных ресурсов юго-восточного Горного Крыма: дис. ... канд. геогр. наук: Симферопольский государственный университет им. М. В. Фрунзе, Симферополь, 1974. 206 с.

12. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзерdzeевскому / Н. К. Кононова: отв. ред. А. Б. Шмакин. Москва: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
13. Climate data for North America, South America, and Europe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html>.
14. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schule H., Siffert E. High resolution spatio-temporal reconstructions of past climate from direct meteorological observations and proxy-data. Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715 /Frenzel B (ed.). G. Fischer / . M.: Stuttgart, 1994. 329-375 pp.

A.V. Drygval^{1,2,3}

P. V. Drygval^{1,2,4}

A. A. Kelip³

V. A. Tabunshchik³

T. Y. Gorbunova³

Spatial and temporal assessment of surface air temperature anomalies in Southeastern Crimea

¹ Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences – branch of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Feodosia, Kurortnoye village

e-mail: drygval95@mail.ru, any-poly@mail.ru

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

³ A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences", Sevastopol

e-mail: kelip@ibss-ras.ru, tabunshchik@ya.ru, gorbunovaty@gmail.com

⁴ Radiation and Chemical Safety and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow

Abstract. *The article analyzes the distribution of anomalies in the territory of Southeast Crimea for the period 1916-2020. The values of air temperature anomalies within the circulation epochs and periods according to B.L. Dzerdzevsky were calculated: 1916-1956 (zonal circulation epoch), 1982-2004 and 2005-2023, 1957-1969 (the first period of the meridional southern circulation epoch), 1970-1980 (the second period of the meridional southern circulation epoch), 1981-1997 (the third period of the meridional southern circulation epoch), 1998-2020 (the fourth period of the meridional southern circulation epoch), as well as their spatial distribution within the study area. Maps of anomalies of mean annual air temperature values for winter, spring, summer, and fall seasons and for the year as a whole were obtained. Statistical analysis of temperature data in Southeastern Crimea revealed zones with anomalously low temperatures observed both in some seasons and throughout the year. These zones are concentrated mainly in the Demerdzhi-Uskut landscape. The Zelenogorsky landscape is characterized exclusively by anomalously low temperatures. Despite the fact that the Sudak-Meganomsky landscape has the largest area with high temperatures, these values do not differ from the norm and are not considered anomalous. Neither abnormally high nor extremely high temperatures have been recorded in this region.*

Keywords: *anomalous temperature, extreme temperature, standardized anomalies, Crimean Peninsula, z-analysis, climate change, landscapes of South-Eastern Crimea, mean annual temperatures*

References

1. *Izmenenie temperatury vozduha v Krymu / Gorbunov R. V. [i dr.] // Social'no-ekologicheskie tekhnologii. 2020. T. 10, № 3. S. 370-383. (in Russian)*
2. *Kononova N. K. Cirkulyaciya atmosfery v Evropejskom sektore Severnogo polushariya v XXI veke i kolebaniya temperatury v Krymu // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2014. S. 633-639. (in Russian)*
3. *Lemeshko N. A., Evstigneev V. P., Naumova V. A. Izmeneniya temperatury vozduha v Azovo-Chernomorskom bassejne i na territorii Kryma // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. 2014. Vyp. 4. S. 131-143. (in Russian)*
4. *Haupsheva M. H., Shugunov T. L., Shugunov L. Zh. Analiz i prognoz znachenij srednegodovoj temperatury Kryma s ispol'zovaniem komp'yuternyh tekhnologij // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. №1. S. 100-104. (in Russian)*
5. *Dinamika temperatury vozduha v osnovnyh tipah regional'nyh ekosistem ravninnogo Kryma / Gorbunov R. V [i dr.] // Social'no-ekologicheskie tekhnologii. 2021. T. 11, № 1. S. 121-138. (in Russian)*
6. *Dinamika temperatury vozduha v osnovnyh tipah regional'nyh ekosistem gornogo Kryma / Gorbunov R. V [i dr.] // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2021. T. 29, № 1. S. 39-54. (in Russian)*
7. *Smirnov V. O. Analiz raspredeleniya temperatury vozduha na territorii zapovednika «Mys Mart'yan» i ego svyaz' s geotopologicheskimi parametrami territorii // Nauchnye zapiski prirodnogo zapovednika «Mys Mart'yan». 2010. Vyp. 1. S. 7-14. (in Russian)*
8. *Drygval' A. V., Kelip A. A., Gorbunov R. V., Drygval' P. V., Tabunshchik V. A. Analiz standartizirovannyh anomalij temperatury vozduha na territorii Krymskogo poluostrova // Teoreticheskie i prikladnye problemy landshaftnoj geografii. VII Mil'kovskie chteniya : materialy XIV Mezhdunar. landshaft. konf., 17–21 maya, 2023 g., Voronezh : v 2-h t. Voronezh : VGU, 2023. T. 2. S. 219-221. (in Russian)*
9. *Holopcev A. V., Astaf'eva D. A. Izmeneniya klimaticheskikh norm mesyachnyh summatmosferynyh osadkov v yugo-zapadnom i zapadnom Krymu, a takzhe anomalij poverhnostnyh temperatur regionov Chernogo morya v zimnie mesyacy, v 1950-2012 gg // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2014. T. 27(66), №1. S. 95-105. (in Russian)*
10. *Gechajte I. Kolebaniya cirkulyacii atmosfery kak faktor formirovaniya sil'nyh zimnih pohlodanij v vostochnoj chasti Baltijskogo regiona: dis. ... kand. geogr. nauk: 25.00.30, 2016. 167 s. (in Russian)*
11. *Bagrova L. A. Osobennosti prirody i osvoeniya estestvennyh rekreacionnyh resursov yugo-vostochnogo Gornogo Kryma: dis. ... kand. geogr. nauk: Simferopol'skij gosudarstvennyj universitet im. M. V. Frunze, Simferopol', 1974. 206 s. (in Russian)*
12. *Kononova N. K. Klassifikaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu / N.K. Kononova: otv. red. A.B. Shmakin. Moskva: Voentekhnizdat, 2009. 372 s. (in Russian)*

13. Climate data for North America, South America, and Europe. URL: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html>.
14. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schule H., Siffert E. High resolution spatio-temporal reconstructions of past climate from direct meteorological observations and proxy-data. Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715 /Frenzel B (ed.). G. Fischer / . M.: Stuttgart, 1994. 329-375 pp.

Поступила в редакцию 01.11.2024 г.