

УДК 551.5:581.54 (477.75)

DOI: 10.25684/2712-7788-2023-2-167-84-95

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 90 ЛЕТ

Светлана Павловна Корсакова¹, Павел Борисович Корсаков^{1,2}

¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: korsakova2002@mail.ru

²Крымское УГМС агрометеостанция Никитский сад,
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита
E-mail: nikita.meteo@gmail.com

В статье представлены расчеты климатических параметров за временной ряд 1931-2020 гг., включающий три последовательных опорных тридцатилетних периода (1931-1961, 1961-1990 и 1991-2020 гг.) для выявления климатических изменений на Южном берегу Крыма. Выполнен анализ тенденций температуры воздуха и атмосферных осадков, относительной влажности, испаряемости, коэффициентов увлажнения, характеристик теплого и безморозного периодов. В ходе исследования выявлено значительное повышение температуры в последние десятилетия в ранневесенний и летний периоды. Установлено отсутствие значимого роста продолжительности периода активной вегетации с температурами выше 10°C и сохранение риска повреждения растений поздними весенними заморозками вследствие сохранения уровня температур в апреле и ноябре. Выявлен значительный рост сумм активных температур воздуха выше 10°C, ускорение темпов вегетации и созревания растений. В летние месяцы обнаружено увеличение в 2-3 раза числа дискомфортных для человека и растений жарких дней с максимальной температурой воздуха 30°C, а также усиление засушливых явлений, вызывающих у растений температурный и водный стресс. Анализ трендов осадков с использованием теста Манна-Кендалла показал их значимую тенденцию к снижению в апреле и августе за последнее тридцатилетие и роста – в январе. При этом статистических подтвержденных тенденций за весь 90-летний период, как в отдельные месяцы, так и в целом за год не выявлено. Приведенные климатические данные за 30-летний опорный период 1991-2020 гг. содержат устойчивую тенденцию к потеплению, объективно характеризуют актуальную специфику климата исследуемого региона и могут считаться современной климатической нормой метеозаписей для Южного берега Крыма.

Ключевые слова: температура воздуха; атмосферные осадки; теплообеспеченность; испаряемость; коэффициент увлажнения; изменение климата

Введение

В настоящее время климатические изменения входят в число проблем, которые затрагивают каждый участок нашей планеты и практически все аспекты жизнедеятельности на земле. Однако в зависимости от локальных физико-географических условий степень их изменчивости различна. Поэтому особую актуальность приобретают исследования динамики и величин изменения основных климатических показателей на региональном уровне. Наиболее важными и часто используемыми индикаторами изменения климата являются температура воздуха и атмосферные осадки. Именно эти два параметра определяют условия тепло- и влагообеспеченности периода вегетации, от которых зависит биологическая продуктивность природных и антропогенных экосистем.

Для оценки климатических условий в заданном районе применяются стандартные климатологические нормы, характеризующие средние значения климатических параметров, рассчитанные для 30-летних периодов по рекомендации Всемирной метеорологической организации (ВМО) (Руководящие указания ВМО, 2017). Эти нормы широко используются в качестве критериев, в сопоставлении с которыми оцениваются климатические аномалии, изменчивость и изменение климата.

Для долгосрочной оценки изменения климата используется стандартный опорный период с 1961 по 1990 гг. (Руководящие указания ВМО, 2017).

На сегодняшний день система инструментальных наземных метеорологических наблюдений основывается на осреднении значений климатических параметров и их сравнении за несколько опорных тридцатилетних периодов (1931–1960 гг., 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг.) (Братков и др., 2022). По результатам обобщения первого временного отрезка был опубликован «Справочник по климату СССР», на основе которого составлялись карты климатического районирования и пространственного распределения метеорологических и климатических параметров. Во второй временной период все большее внимание общественности начала привлекать исключительно научная проблема климатических изменений. В последнее тридцатилетие (1991–2020 гг.) климатическая тематика приобрела широкую популярность не только у специалистов и широкой общественности, но и у политического руководства большинства стран мира.

Оценка климатических условий и изменений на Южном берегу Крыма (ЮБК) в зоне сухих субтропиков, вызывает интерес в связи с целым рядом факторов. Во-первых, здесь распространены средиземноморские и субсредиземноморские ландшафты с элементами средиземноморской флоры, находящейся на границе ареала своего существования (Гаркуша и др., 2012; Корсакова и др., 2019). Во-вторых, климатические изменения могут изменить сроки, степень тяжести стрессов и нарушений во многих экосистемах, предоставить новые возможности для инвазии. В-третьих, наличие значительного ресурсного потенциала привело к формированию его растениеводческой и курортно-рекреационной специализации. И наконец, – это один из наиболее благоприятных регионов среди стран Средиземноморско-Черноморского бассейна по степени комфортности климатических условий для проживания населения (Ярош и др., 1998).

Целью данного исследования является выявление и изучение региональных особенностей изменения норм основных климатических параметров на территории Южного берега Крыма за последние 90 лет.

Объекты и методы исследования

Проведенный анализ опирается на 90-летний (1931–2020 г.) ряд значений приземной температуры воздуха и осадков по данным инструментальных измерений, выполненных на агрометеорологической станции «Никитский сад». Агрометеостанция расположена в центральной части Южного берега Крыма (44°31' северной широты, 34°15' восточной долготы) на высоте 208 м над уровнем моря и по статусу является реперной климатической станцией (РД 52.04.720-2009), то есть ее гидрометеорологическая информация репрезентативна для территории приморской зоны ЮБК.

Отсутствие переносов метеоплощадки с 1931 г. обеспечивает однородность временных рядов метеорологических наблюдений. При анализе данных средняя суточная температура воздуха, рассчитанная из трех и четырех сроков наблюдений (1931–1965 гг.), была приведена к средней температуре за 24 ч путем введения поправок (Научно-прикладной справочник..., 1990). К среднесуточным температурам, вычисленным по восьмисрочным наблюдениям (с 1966 г.), поправка не вводилась.

Для анализа временной изменчивости температурного режима были рассчитаны его характеристики за разные базовые периоды: средняя (климатологическая норма) температура воздуха, угловой коэффициента наклона линейного тренда (КНЛТ), выявлены максимальные и минимальные значения величин. Изменения температур

вычислены на основе линейного тренда методом наименьших квадратов с оценкой значимости трендов при p -уровне 0,01.

При проведении расчетов использована следующая дискретность временных рядов: срочные – для определения экстремумов ($t_{\max}$, $t_{\min}$) и их средних ($t_{\text{av.}\max}$, $t_{\text{av.}\min}$) величин, суточные – для выявления дат и дополнительных отдельных метеовеличин, месячные и годовые – для анализа изменчивости и трендов.

Для оценки атмосферного увлажнения использованы коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова-Г.Н. Высоцкого (КУ) и гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова (Плугатарь и др., 2015).

Выявление наличия трендов во временных рядах значений атмосферных осадков выполнено с помощью непараметрического критерия Манна-Кендалла, оценка их величин – с помощью непараметрического метода Сена в приложении MAKESENS (Salmi et al., 2002). Критерий Манна-Кендалла является одним из наиболее часто используемых непараметрических тестов для оценки наличия статистически значимых тенденций в выпадении осадков (Patakamuri et al., 2020).

Статистический анализ полученных данных проведен с помощью программ Statistica10 и MS Excel 2010.

Результаты и обсуждение

За исследуемый 90-летний период на ЮБК прослеживается несколько периодов потеплений и похолоданий (рис. 1).

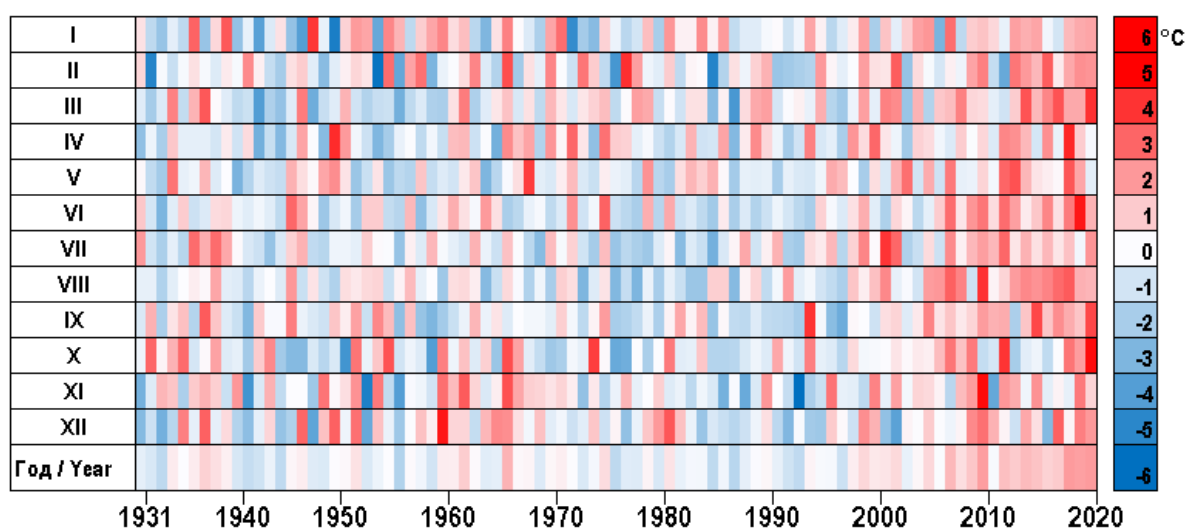


Рис. 1 Тепловая карта аномалий температуры воздуха (°C) на Южном берегу Крыма за каждый месяц и год (относительно средних значений за 1931–2020 гг.)

Fig. 1 Heat-map of air temperature anomalies (°C) on the Southern coast of Crimea per each month and year (relative to the average values for 1931–2020)

В середине 1930-х были аномально теплые годы во всех сезонах и в среднем за год. В начале 1940-х годов наступает некоторое похолодание, особенно заметное в зимний и весенний сезоны, которое сменяется потеплением в 1950-х годах и достигает максимума в 1960-х. С середины 1970-х наступает новое похолодание, а в конце XX века – «современное» потепление, которое наиболее ярко проявляется в последние два десятилетия. Начало «современного» потепления для года в целом можно отнести к середине 1990-х.

В многолетней изменчивости температурного режима на Южном берегу Крыма чередуются периоды потепления и похолодания, однако при этом общая тенденция изменения среднемесячных и среднегодовой температур за весь исследуемый период с

1931 по 2020 гг. остается положительной (табл. 1). При рассмотрении среднемесячных значений температур наибольшее увеличение отмечено в марте ($0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет), августе ($0,23^{\circ}\text{C}/10$ лет) и апреле-июне ($0,16-0,18^{\circ}\text{C}/10$ лет). Указанные тренды статистически значимы на уровне 0,01.

При сравнении трех опорных климатических периодов выявлено, что статистически значимые тренды роста температур установлены преимущественно только в 1991-2020 гг. (табл. 1). Численные значения коэффициентов среднемесячных и годового линейных трендов для этого периода в 4-8 раз, а в отдельные месяцы (сентябрь) – в 11 раз превышают соответствующие характеристики для всего исследуемого периода.

Таблица 1

Климатические характеристики температурного режима на ЮБК (Никитский сад) в разные опорные периоды

Table 1

Climatic characteristics of the temperature regime at the Southern coast of Crimea (Nikitsky Garden) in different base periods

Характеристика, период / Parameter, period	Месяц / Month												Год / Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$t_{1931-2020}$	3,3	3,3	5,3	10,2	15,5	20,3	23,4	23,4	18,8	13,4	8,8	5,4	12,6
$t_{1931-1960}$	3,0	2,9	4,4	9,6	15,1	20,0	23,3	23,1	18,7	13,4	8,7	5,3	12,3
$t_{1961-1990}$	3,1	3,3	5,3	10,5	15,4	19,9	22,7	22,6	18,4	13,0	8,9	5,5	12,4
$t_{1991-2020}$	3,7	3,6	6,0	10,7	16,0	20,9	24,2	24,4	19,3	14,0	9,0	5,5	13,1
КНЛТ/SCLT $t_{1931-2020}$	0,14	0,13	0,25	0,18	0,16	0,16	0,13	0,23	0,11	0,08	0,04	0,08	0,14
КНЛТ/SCLT $t_{1931-1960}$	0,54	0,04	-0,57	0,01	-0,13	-0,01	-0,22	0,09	-0,36	-0,51	-0,04	0,70	-0,04
КНЛТ/SCLT $t_{1961-1990}$	0,14	-0,32	-0,14	-0,18	-0,02	-0,58	-0,21	-0,20	-0,30	-0,36	-0,95	-0,46	-0,30
КНЛТ/SCLT $t_{1991-2020}$	0,46	0,98	1,03	0,58	0,70	1,21	0,46	1,01	1,18	0,47	0,85	0,99	0,83
$t_{\text{av. max}} 1931-2020$	12,8	13,6	17,1	21,6	25,9	29,4	32,1	31,8	27,9	23,2	19,0	15,4	33,1
$t_{\text{av. max}} 1931-1960$	12,6	12,7	16,7	21,1	25,2	29,1	31,6	31,1	27,5	22,9	18,8	15,5	32,2
$t_{\text{av. max}} 1961-1990$	12,5	13,8	16,8	21,9	25,7	28,6	31,2	30,6	27,4	22,4	18,9	15,3	32,3
$t_{\text{av. max}} 1991-2020$	13,4	14,3	18,0	21,6	26,7	30,4	33,3	33,8	28,7	24,2	19,2	15,3	34,8
$t_{\text{max}} 1931-2020$	17,0	25,2	28,3	27,5	31,6	35,6	37,8	39,0	33,4	32,2	24,7	20,4	39,0
$t_{\text{max}} 1931-1960$	16,5	18,2	28,3	25,7	30,2	32,7	35,2	35,1	32,4	28,3	22,5	20,1	35,2
$t_{\text{max}} 1961-1990$	16,6	18,4	22,6	27,2	28,8	31,8	37,0	33,5	30,5	26,4	24,5	19,6	37,0
$t_{\text{max}} 1991-2020$	17,0	25,2	23,2	27,5	31,6	35,6	37,8	39,0	33,4	32,2	24,7	20,4	39,0
$t_{\text{av. min}} 1931-2020$	-6,0	-5,8	-3,2	1,9	7,3	12,2	15,8	15,6	10,4	4,3	-0,2	-3,6	-7,9
$t_{\text{av. min}} 1931-1960$	-6,1	-6,5	-4,5	1,4	7,0	11,9	15,8	15,6	10,0	4,7	-1,1	-4,0	-8,7
$t_{\text{av. min}} 1961-1990$	-6,5	-5,6	-3,2	2,3	7,3	12,1	15,1	14,8	9,9	3,9	0,0	-3,3	-7,9
$t_{\text{av. min}} 1991-2020$	-5,5	-5,2	-1,9	2,0	7,6	12,5	16,5	16,5	11,3	4,2	0,6	-3,5	-7,1
$t_{\text{min}} 1931-2020$	-13,2	-14,5	-11,1	-5,7	1,4	7,1	9,9	10,1	3,7	-0,8	-9,2	-10,3	-14,5
$t_{\text{min}} 1931-1960$	-13,2	-13,8	-11,1	-4,4	1,4	7,1	11,3	10,1	4,5	-0,1	-9,2	-10,3	-13,8
$t_{\text{min}} 1961-1990$	-11,6	-14,5	-8,5	-5,7	3,2	9,0	9,9	11,6	3,7	-0,8	-5,6	-7,0	-14,5
$t_{\text{min}} 1991-2020$	-12,4	-11,9	-5,3	-5,5	4,0	8,8	11,6	13,0	8,0	-0,3	-6,3	-8,4	-12,4

Примечание: t – средняя температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; КНЛТ – угловой коэффициент наклона линейного тренда, $^{\circ}\text{C}/10$ лет; $t_{\text{av. max}}$, t_{max} , $t_{\text{av. min}}$, t_{min} – соответственно, средняя максимальная, максимальная, средняя минимальная и минимальная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Note: t – average air temperature, $^{\circ}\text{C}$; SCLT – angular slope coefficient of a linear trend, $^{\circ}\text{C}/10$ years; $t_{\text{av. max}}$, t_{max} , $t_{\text{av. min}}$, t_{min} – respectively, the average maximum, maximum, average minimum and minimum air temperature, $^{\circ}\text{C}$.

Наиболее интенсивный рост температур в 1991-2020 гг. характерен для июня ($1,21^{\circ}\text{C}/10$ лет) и сентября ($1,18^{\circ}\text{C}/10$ лет). Также в этот базовый период значительные КНЛТ обнаружены в марте ($1,03^{\circ}\text{C}/10$ лет) и в августе ($1,01^{\circ}\text{C}/10$ лет), восходящие, но

менее существенные – в декабре, феврале и в целом за год. В сравнении со стандартным опорным периодом с 1961 по 1990 гг., значительно выросли температуры в самые жаркие летние месяцы – августе (на 1,9°C) и июле (на 1,4°C). На 0,9-1,0°C повысились среднемесячные температуры в июне, сентябре и октябре, и незначительно (на 0,0-0,2°) – в апреле, ноябре и декабре. Средняя годовая температура воздуха выросла на 0,8°C. Отсутствие значимого роста температур в апреле и ноябре свидетельствует о сохранении опасности повреждения растений поздними весенними заморозками на ЮБК, несмотря потепление климата. Это также говорит о стабильности продолжительности периода активной вегетации с температурами выше 10°C, как в среднем за 1931-2020 гг., так и за отдельные опорные периоды (табл. 2). Данный факт необходимо принимать во внимание при проведении селекционных и агротехнических работ.

Таблица 2

Изменения климатических показателей на ЮБК (Никитский сад)

Table 2

Changes in climatic indicators at the YBK (Nikitsky Garden)

Период, гг. / Period, years	Теплый период					Безморозный период			Число дней с морозом ≤ 0°C / Number of days with frost ≤ 0°C
	Дата перехода температур через 10°C / Temperature transition date through 10°C			Сумма та>10°C / Sum ta>10°C	Число дней с t≥30°C / Number of days from t≥30°C	Дата заморозка в воздухе / Date of freezing in the air			
	Весной / In spring	Осе- нью / In autum n	Продолжи- тельность / Duration			Последнего весной / The last one in the spring	Первого осенью / The first in the fall	Продолжи- тельность / Duration	
1931-2020	15.IV	8.XI	207	3771	12	18.III	29.XI	255	40
1931-1960	16.IV	10.XI	208	3732	8	24.III	01.XII	251	44
1961-1990	13.IV	5.XI	206	3625	8	15.III	25.XI	254	39
1991-2020	15.IV	9.XI	208	3956	20	14.III	02.XII	262	37

Примечание: та>10°C – активные температуры воздуха выше 10°C; t – максимальная суточная температура воздуха.

Note: ta>10 °C – active air temperatures above 10°C; t – maximum daily air temperature.

Не менее значимым показателем потепления является повышение средней максимальной и минимальной температур воздуха (табл. 1), которое наиболее ярко выражено при сравнении между вторым (1961-1990 гг.) и третьим (1991-2020 гг.) опорными периодами. Наибольший рост средних максимальных температур в последнее тридцатилетие на ЮБК отмечается в июне-октябре, а средних минимальных – в марте и июле-сентябре. Самые высокие значения синхронного повышения, как средних максимальных (на 2,1 и 3,2°C), так и средних минимальных (на 1,4 и 1,7°C) температур выявлены в июле и августе, т.е. лето становится все жарче. Также следует отметить, что рост средних максимальных температур воздуха в мае-августе и в октябре более значительный (в 2-5 раз), чем средних минимальных, что обуславливает увеличение амплитуд суточных колебаний температур. Несмотря на общую тенденцию повышения средних экстремальных температур воздуха, в отдельные месяцы (апрель, декабрь) нет никаких существенных изменений, и даже наблюдается их снижение.

Аналогичные тенденции выявлены при анализе изменений абсолютных максимальных и минимальных температур. Расчет амплитуд температуры воздуха показал, что наибольшие их значения характерны для февраля и марта, наименьшие – для июля и августа.

В результате интенсивного роста температур летне-осенних месяцев, в 1991-2020 гг., а особенно в первых десятилетиях XXI века, произошел значительный рост (на 330°C) сумм активных температур воздуха выше 10°C за период активной вегетации растений (табл. 2). Повышенный температурный режим вызывает ускорение вегетации и созревание культурных и дикорастущих растений (Корсакова и др., 2019; Korsakova, Korsakov, 2021; Plugatar et al., 2021). Необходимо отметить, что после 1991 г. в летние месяцы наблюдается рост дискомфортных жарких дней с максимальной температурой воздуха 30°C и выше, вызывающих сильное и чрезмерное напряжение систем терморегуляции человека, а также гидротермический стресс у растений. По сравнению с предшествующими тридцатилетиями (1931-1960 гг. и 1961-1990 гг.), их число на ЮБК в среднем за год выросло в 2,5 раза (табл. 2), в июне-июле – в два раза, а в августе – почти в три раза.

Повышение средних и абсолютных минимальных температур воздуха в 1931-2020 гг. на ЮБК в марте и ноябре, обусловило увеличение длительности безморозного периода в 1991-2020 гг., по сравнению с 1931-1960 гг., на 11 суток и сокращение числа морозных дней на 7 суток (табл. 2).

Как и на всей территории Крыма, осадки на ЮБК характеризуются высокой временной изменчивостью (рис. 2). Сезон наименьшего количества осадков приходится на апрель-сентябрь, а фактический сезон дождей – на декабрь-февраль.

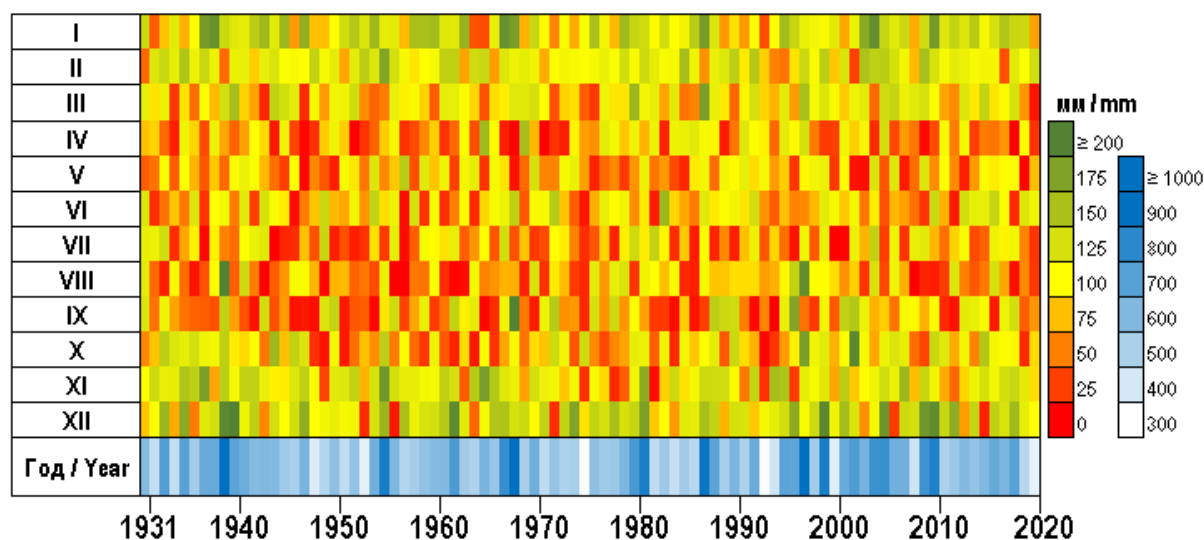


Рис. 2 Тепловая карта суточных сумм осадков (мм) на Южном берегу Крыма за каждый месяц и год с 1931 по 2020 гг. Цветовая шкала представляет количество осадков в мм

Fig. 2 Heat-map of daily precipitation amounts (mm) on the Southern coast of Crimea per each month and year from 1931 to 2020. The color scale represents the precipitation in mm

Анализ трендов многолетней динамики осадков за 90-летний период с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла (Test Z) и наклона Сена (Sen's estimate) показал отсутствие тенденции изменения на ЮБК как годового количества осадков (рис. 3), так по отдельным месяцам на уровне значимости 90%, 95% и 99% (табл. 3).

Однако результаты тестов для месячных трендов осадков в последние два 30-летия показали тенденцию к увеличению в августе и октябре в период 1961-1990 гг., а также в январе 1991-2020 гг. При этом, в последнее тридцатилетие статистически подтверждена на 95% уровне значимости тенденция к их снижению в апреле и в августе (табл. 3).

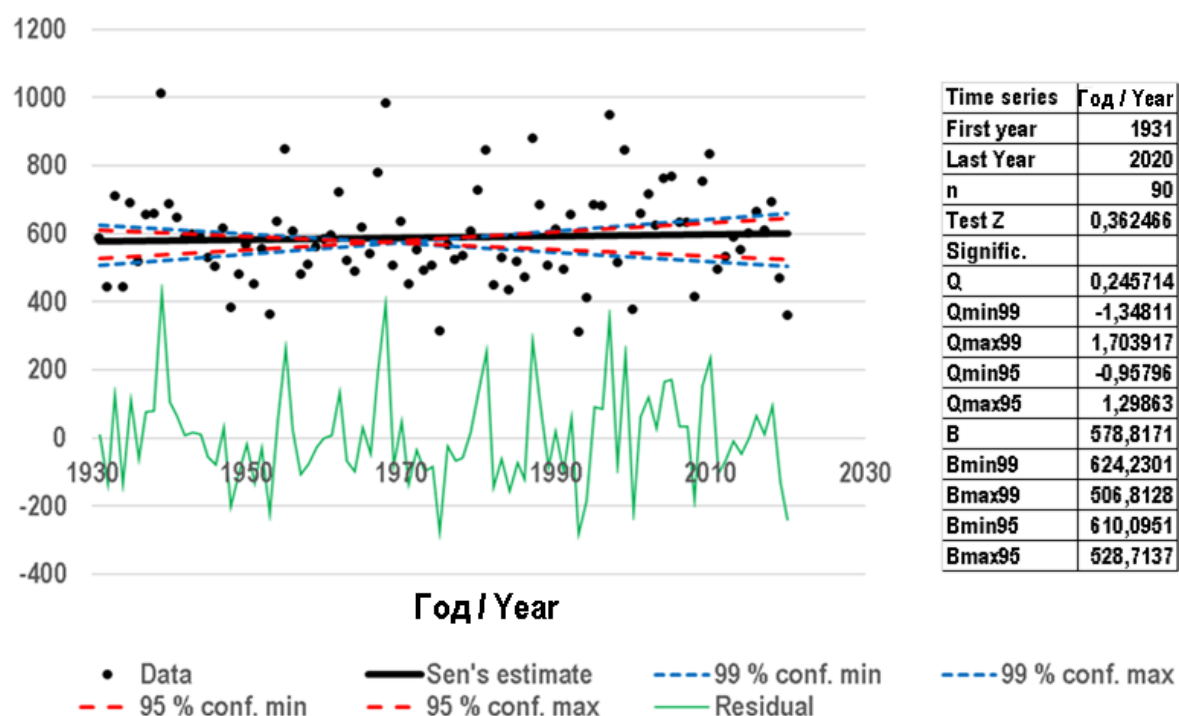


Рис. 3 Временной ряд и трендовая статистика годовых сумм осадков на Южном берегу Крыма (Никитский сад) в 1931-2020 гг.

Fig. 3 Time series and trend statistics of annual precipitation amounts on the Southern Coast of Crimea (Nikitsky Garden) in 1931-2020

Таблица 3

Анализ трендов атмосферных осадков по критерию Манна-Кендалла (Test Z) и оценкам наклона Сена (Q)

Table 3

Analysis of precipitation trends by the Mann-Kendall (Test Z) criterion and Hay slope estimates (Q)

Период, гг. / Period, years	Параметр / Parameter	Месяц / Month												Год / Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1931-2020	Test Z	0,29	-0,27	1,10	0,33	0,29	0,59	0,35	0,57	0,98	0,13	-1,58	0,64	0,36
	Q	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s
1931-1960	Test Z	0,96	-0,14	-0,75	-0,79	0,77	0,71	-0,84	-0,66	-1,04	-2,02*	-0,82	0,00	-1,43
	Q	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	-1,46*	n/s	n/s	n/s
1961-1990	Test Z	0,11	0,11	-0,32	1,14	-0,29	0,87	-1,18	+1,70	0,00	+1,86	-1,14	-0,80	-0,39
	Q	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	+0,59	n/s	+0,89	n/s	n/s	n/s
1991-2020	Test Z	+1,82	0,18	-0,64	-2,03*	-0,43	0,68	0,21	-2,28*	0,46	0,32	0,27	0,29	-0,39
	Q	+1,62	n/s	n/s	-1,02*	n/s	n/s	n/s	-0,97*	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s

Примечание: n/s – тренд не значим для $p \geq 0,1$; выделено жирным – тренд значим на уровне $p < 0,10$; жирным и * – на уровне $p < 0,05$.

Note: n/s – trend is not significant for $p \geq 0,1$; highlighted in bold – trend is significant at p-level $< 0,10$; bold and * – at p-level $< 0,05$.

О тенденциях изменения условий влагообеспеченности территории ЮБК, можно судить по значениям месячных и годовых сумм осадков, потенциального испарения (испаряемости), относительной влажности воздуха, коэффициенту увлажнения Н.Н. Иванова и ГТК Г.Т. Селянинова, рассчитанных для трех последовательных периодов – 1931-1960, 1961-1990 и 1991-2020 гг. (табл. 4).

Во всех анализируемых временных периодах и за весь 90-летний ряд наблюдений доля осадков теплого периода (апрель-октябрь) является меньшей (43% - 257 мм) по сравнению с долей холодного периода (ноябрь-март), которая составляет 57% (338 мм). В разных временных отрезках прослеживается небольшой рост годового количества осадков за счет их увеличения, как в теплом, так и в холодном периодах. Вследствие этого их соотношение изменяется незначительно: 1931–1960 гг. – 41 и 59%, 1961–1990 гг. – 44 и 56%, 1991–2020 гг. – 44 и 56%. В настоящее время наибольшая сумма осадков характерна для декабря (87 мм/мес), в период 1931–1960 гг. – для января (83 мм/мес). Минимальная сумма осадков отмечена в апреле (31 мм/мес) и в июле (34 мм/мес), в период 1961–1990 гг. – в июле и в августе (31 мм).

Таблица 4

Климатические характеристики режима увлажнения на ЮБК (Никитский сад) в разные опорные периоды

Table 4

Climatic characteristics of the humidification regime at the Southern coast of Crimea (Nikitsky Garden) in different base periods

Параметр / Parameter	Период, гг. / Period, years	Месяц / Month												Год / Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
R, мм	1931-2020	78	63	50	32	33	41	32	33	41	45	65	82	596
	1931-1960	83	64	45	26	32	40	31	32	32	48	74	77	583
	1961-1990	73	64	50	38	33	42	31	31	51	37	62	83	595
	1991-2020	78	61	54	31	33	41	34	37	41	51	60	87	609
E, мм	1931-2020	35	36	47	75	99	140	183	187	137	83	53	41	1116
	1931-1960	34	35	46	72	94	138	183	182	142	82	51	40	1099
	1961-1990	36	37	47	75	100	142	181	183	134	85	54	43	1118
	1991-2020	34	37	49	77	102	140	185	197	134	82	53	39	1129
f, %	1931-2020	76	75	72	67	67	62	57	56	60	69	74	76	68
	1931-1960	76	75	71	67	68	62	57	56	59	69	75	76	68
	1961-1990	74	74	72	67	66	61	56	55	61	67	74	74	67
	1991-2020	77	75	72	67	67	63	58	56	62	70	74	77	68
KY / HC	1931-2020	2,42	1,84	1,15	0,48	0,39	0,31	0,19	0,20	0,34	0,59	1,32	2,13	0,54
	1931-1960	2,63	1,98	1,02	0,38	0,43	0,32	0,20	0,19	0,24	0,64	1,55	2,10	0,54
	1961-1990	2,10	1,76	1,23	0,60	0,36	0,31	0,18	0,18	0,43	0,45	1,23	1,96	0,53
	1991-2020	2,54	1,77	1,19	0,47	0,37	0,30	0,19	0,23	0,34	0,69	1,18	2,34	0,55
ГТК / НТС	1931-2020	-	-	-	1,10	0,72	0,67	0,46	0,47	0,75	1,10	-	-	0,75
	1931-1960	-	-	-	0,91	0,75	0,67	0,47	0,45	0,58	1,14	-	-	0,71
	1961-1990	-	-	-	1,33	0,70	0,70	0,45	0,45	0,92	0,93	-	-	0,78
	1991-2020	-	-	-	1,05	0,70	0,64	0,46	0,50	0,73	1,24	-	-	0,76

Примечание: R – осадки; E – испаряемость; f – относительная влажность воздуха; KY – коэффициент увлажнения; ГТК – гидротермический коэффициент.

Note: R – precipitation; E – evaporation; f – relative air humidity; HC – humidification coefficient; НТС – hydrothermal coefficient.

Средняя относительная влажность воздуха за год и отдельные месяцы характеризуется достаточно стабильными показателями и уменьшается от декабря-января к августу от 74-77 до 55-56% (табл. 4). В июле-сентябре на ЮБК ее значения находятся преимущественно в зоне комфорта для человека, которая охватывает диапазон 30-60% (Ярош и др., 1998), и в среднем составляют 55-62%.

Годовая испаряемость (табл. 4) превышает годовое количество осадков в среднем на 520 мм. Однако, если рассматривать отдельно теплый период, когда происходит активная вегетация растений, отрицательный баланс между осадками и

испаряемостью составляет 640-650 мм, при этом максимальных месячных величин (150-160 мм) он достигает в июле и в августе.

Учитывая, что интенсивный рост температур в теплый период года отмечается именно в последние два десятилетия, отдельно было рассмотрено изменение показателей влагообеспеченности за 2001-2020 гг. Анализ данных показал, что за рассмотренный период суммарный дефицит увлажнения во время активной вегетации вырос на 40-50 мм. Наиболее выраженные ухудшения в режиме увлажнения на ЮБК проявились в апреле и в августе. По сравнению со стандартным опорным периодом (1961 по 1990 гг.), дефицит увлажнения в апреле возрос на 49% (до 55 мм), а в августе – на 17% (до 178 мм). Среднее значение КУ снизилось до 0,37 в апреле и до 0,15 – в августе, а средние показатели ГТК – до 0,81 (апрель) и 0,35 (август). Величины коэффициентов КУ и ГТК указывают на то, что в XXI веке происходит ухудшение условий увлажнения территории в апреле – до засушливых, а в августе – до очень сухих. Такое снижение водного баланса вызвано достоверным уменьшением количества атмосферных осадков в эти месяцы (табл. 3), а вместе с этим, быстрым потеплением воздуха в августе (табл. 1). Учитывая рост испаряемости в последние десятилетия в июле-августе, снижение водного баланса в летний период года на фоне повышения температуры приводит к значительному усилению засушливых явлений, вызывающих у растений температурный и водный стресс. В последние десятилетия практически ежегодно на ЮБК наблюдается одновременное проявление почвенной и воздушной засух (Плугатарь и др., 2015).

Результаты анализа многолетних данных показывают, что при общем увеличении количества осадков в 1931-2020 гг., наблюдается динамика роста числа дней с суточной суммой осадков 1 мм и более в среднем на 3-4 дня за тридцатилетие. Сравнивая последний и первый 30-летний период, увеличение числа таких дней произошло в каждом месяце и в целом за год с 75 в 1931-1960 гг. до 82 в 1991-2020 гг. (табл. 5). В течение года наибольшее число дней с осадками ≥ 1 мм отмечается в декабре и январе (10-11), в июле-сентябре оно уменьшается до 4-5.

Таблица 5

Среднее число дней с суточным количеством осадков выше определенного порога

Table 5

The average number of days with daily precipitation above a certain threshold

Параметр / Parameter	Период, гг. / Period, years	Месяц / Month												Год / Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
≥ 1 мм / mm	1931-2020	11	9	8	5	5	5	4	4	4	5	8	10	78
	1931-1960	11	10	7	5	5	5	3	3	3	6	9	9	75
	1961-1990	10	9	7	5	5	5	4	4	4	5	8	10	78
	1991-2020	11	9	8	6	6	6	4	5	4	6	8	10	82
≥ 5 мм / mm	1931-2020	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	4	5	35
	1931-1960	5	4	3	2	2	2	2	2	2	3	4	4	34
	1961-1990	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	4	5	34
	1991-2020	5	4	4	2	2	2	2	2	2	3	4	5	37
≥ 10 мм / mm	1931-2020	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	17
	1931-1960	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	17
	1961-1990	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	17
	1991-2020	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	3	18
Суточный max / Daily max	1931-2020	61	54	46	40	42	66	70	158	240	61	52	69	240
	1931-1960	61	47	43	30	42	61	51	158	92	50	52	47	158
	1961-1990	61	48	46	40	42	64	59	35	240	61	52	69	240

	1991-2020	57	54	30	36	37	66	70	43	58	51	34	69	70
--	-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

По сравнению с двумя первыми 30-летними периодами, в 1991-2020 гг. увеличилось число дней с осадками 5 мм и выше с 34 до 37. В то же время на фоне роста температур, особенно в последние десятилетия, на территории ЮБК не прослеживается динамика роста хозяйственно-полезных дождей, т.е. дождей с количеством осадков ≥ 10 мм. В среднем за год их бывает 18 и такие дожди чаще выпадают в осенне-зимние месяцы. Весенние и летние осадки отчасти компенсируют испарившуюся и потребленную растениями влагу, тем не менее, во второй половине лета и начале осени создаются засушливые условия. Недостаточность осадков в теплую часть года вызывает необходимость орошения плодовых, винограда и других культур.

Максимальное суточное количество осадков в течение года преимущественно составляет от 40 до 70 мм, и только в летний период иногда могут проходить необычно сильные ливни.

Заключение

В ходе проведенного исследования актуализированы климатические стандартные нормы на территории Южного берега Крыма, которые могут являться одним из показателей изменения современного климата региона.

Анализ климатических норм температуры и осадков за последовательные 30-летние опорные периоды с 1931 по 2020 гг. показал значительное повышение температуры в последние десятилетия. Наибольшее потепление происходит в ранневесенний и летний периоды. Установлено отсутствие значимого роста температур в апреле и ноябре, что свидетельствует о стабильности продолжительности периода активной вегетации с температурами выше 10°C и сохранении рисков повреждения растений поздними весенними заморозками, несмотря на потепление климата.

В результате интенсивного потепления летне-осенних месяцев выявлен значительный рост сумм активных температур воздуха выше 10°C в период активной вегетации, что вызывает ускорение темпов вегетации и созревания растений. В летние месяцы установлен рост в 2-3 раза числа дискомфортных для человека и растений жарких дней с максимальной температурой воздуха 30°C и выше, а также значительное усиление засушливых явлений, вызывающих у растений температурный и водный стресс.

Результаты анализа динамики месячных осадков на ЮБК показали значительный тренд к их снижению в апреле и в августе за последнее тридцатилетие, а также тенденцию к росту в январе. При этом не выявлено статистических подтверждений тенденций в изменениях количества осадков за весь 90-летний период, как в отдельные месяцы, так и в целом за год.

Таким образом, потепление климата на ЮБК преимущественно будет негативно сказываться на комфортности биоклиматических условий, как для проживания населения, так и для растительности, вследствие повышения тяжести гидротермических стрессов и новых возможностей для инвазии.

Приведенные климатические данные могут быть использованы как для общей характеристики климатических условий ЮБК, так и для решения конкретных вопросов технологии выращивания, интродукции и селекции растений, оценки возможности для инвазии.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ФГБУН «НБС-НИЦ» № FNNS-2022-0003.

Acknowledgements

The study was carried out within the framework of the State Task № FNNS-2022-0003 of FSFIS “NBG-NSC”.

Литература / References

Братков В.В., Астанин Д.С., Бекмурзаева Л.Р. Картографирование современных климатических изменений Северного Кавказа на основе данных дистанционного зондирования Земли низкого пространственного разрешения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66. № 6. С. 82–96.

DOI:10.30533/0536- 101X-2022-66-6-82-96

[Bratkov V.V., Astanin D.S., Bekmurzayeva L.R. Mapping of modern climatic changes in the North Caucasus on the basis of remote sensing data of the Earth of low spatial resolution // Izvestia vuzov "Geodesy and aerophotosurveying". 2022. 66(6):82-96

DOI:10.30533/0536- 101X-2022-66-6-82-96]

Гаркуша Л.Я., Багрова Л.А., Позаченюк Е.А. Разнообразие ландшафтов Крыма со средиземноморскими элементами флоры // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2012. Т. 25 (64). № 2. С. 36-47.

[Garkusha L.Ya., Bagrova L.A., Pozachenyuk E.A. Diversity of Crimean landscapes with Mediterranean flora elements // Scientific Notes of V.I. Vernadsky Tauride National University. Series "Geography". 2012. 25(64/2):36-47]

Корсакова С.П., Саркина И.С., Багрикова Н.А. Биология опыления *Juniperus excelsa* и *J. deltoides* (Cupressaceae) на Южном берегу Крыма // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 10. С. 1574–1587 DOI: 10.1134/S0006813619100077

[Korsakova S.P., Sarkina I.S., Bagrikova N.A. Biology of pollination of *Juniperus excelsa* and *J. deltoides* (Cupressaceae) on the Southern coast of Crimea // Botanical Journal. 2019. 104(10): 1574-1587 DOI: 10.1134/S0006813619100077]

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, выпуск 10, Украинская ССР. Книга 1. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 605 с.

[Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3, issue 10, Ukrainian SSR. Book 1. L.: Hydrometeoizdat, 1990. 605 p.]

Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. 164 с.

[Plugatar Yu.V., Korsakova S.P., Ilitsky, O.A. Ecological monitoring of the Southern Coast of the Crimea. Simferopol: PP «ARIAL», 2015. 164 p.]

Руководящий документ РД 52.04.720-2009. Положение о реперных климатических станциях. М.: Росгидромет, 2009. 23 с.

[Guidance document RD 52.04.720-2009. Regulations on reference climate stations. Moscow: Roshydromet, 2009. 23 p.]

Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО-№ 1203. Женева: ВМО, 2017. 21 с.

[WMO Guidelines on the calculation of climate norms. WMO-№ 1203. Geneva: WMO, 2017. 21 p.]

Ярош А.М., Коршунов Ю.П., Бессмертный А.Ф., Жукова З.Ф., Юркова О.Ф., Ефимова В.М., Фурса Д.И., Воскресенская Е.Н. Сравнительная медико-климатологическая характеристика основных курортных местностей Черноморско-Средиземноморского региона. Симферополь: Таврия, 1998. 88 с.

[Yarosh A.M., Korshunov Yu. P., Bessmertnyy A.F., Zhukova Z.F., Yurkova O.F., Efimova V.M., Fursa D.I., Voskresenskaya E.N. Comparative medical and climatological characteristics of the main resort areas of the Black Sea-Mediterranean region. Simferopol: Tavriya, 1998. 88 p.]

Korsakova S., Korsakov P. Features development of olive trees during the growing season in the Southern coast of the Crimea. BIO Web of Conferences. 2021. 38(00059).

DOI: 10.1051/bioconf/20213800060.

Patakamuri S.K., Muthiah K.; Sridhar V. Long-term homogeneity, trend, and change-point analysis of rainfall in the arid district of Ananthapuramu, Andhra Pradesh State, India. *Water*. 2020. 12(1): 211. DOI: 10.3390/w12010211.

Plugatar Yu.V., Kovalev M.S., Korsakova S.P. Seasonal development of aboveground phytomass of evergreen introduced plants on the Southern Coast of the Crimea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 843(012047). DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012047.

Salmi T., Mättä A., Anttila P., Ruoho-Airolaia T., Amnell T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the Excel template application MAKESENS. Helsinki: Finnish Meteorological Institute, 2002. 35 p.

Статья поступила в редакцию 04.06.2023 г.

Korsakova S.P., Korsakov P.B. Changes in climatic norms on the Southern coast of Crimea over the past 90 years // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2023. Vol. 2(167) P. 84-95

The article presents calculations of climatic parameters for the time series of 1931-2020, including three consecutive reference thirty-year periods (1931-1961, 1961-1990 and 1991-2020) to identify climatic changes on the Southern coast of Crimea. An analysis of trends in air temperature and precipitation, relative humidity, evaporation, humidification coefficients, characteristics of warm and frost-free periods is carried out. The study revealed a significant increase in temperature during the early spring and summer periods in recent decades. There was no significant increase in the duration of the active vegetation period with temperatures above 10°C, and the risk of plant damage due to late spring frosts persists due to the temperature levels in April and November. A significant increase in the sum of active air temperatures above 10°C, acceleration of vegetation growth and maturity of plants was observed. In summer months, there was a two to three-fold increase in the number of uncomfortable hot days for humans and plants with a maximum air temperature above 30°C, as well as an intensification of drought phenomena causing temperature and water stress in plants. Analysis of precipitation trends using the Mann-Kendall test showed a significant downward trend in April and August over the last thirty years and an upward trend in January. However, no statistically significant trends were identified for the entire 90-year period, either in individual months or over all for the year. The presented climate data for the 30-year reference period of 1991-2020 contain a stable warming trend, objectively characterize the actual specificity of the climate of the studied region, and can be considered as a modern climate norm for meteorological elements for the Southern coast of Crimea.

Key words: *air temperature; atmospheric precipitation; heat supply; evaporation; moisture coefficient; climate change.*