

Температурный режим Воронежской области в условиях меняющегося климата

В. А. Дмитриева¹ ✉, А. И. Сушков²

¹Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

²Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, ул. Платонова, 1)

Аннотация. Целью исследования является изучение современных тенденций в приземной атмосфере и количественных изменений среднегодовой температуры воздуха за 1951-2020 годы по наблюдениям на метеостанциях Воронежской области.

Методы исследования. Расчет характеристик и анализ многолетней динамики выполнены с применением методов математико-статистических, географической интерполяции, сравнительного анализа, графических, тенденций.

Результаты и обсуждение. В многолетней динамике среднегодовой температуры воздуха установлен переломный год (1987) с наименьшей среднегодовой температурой по области, от которого следует постоянное повышение температуры. Многолетние изменения носят скачкообразный характер при неуклонном росте среднегодовой температуры. Самым теплым десятилетием стали 2001-2010 годы, в которое средняя по области температура повысилась на 0,8-1,0 °С. Наиболее высокая в ряду наблюдений средняя годовая температура воздуха сформировалась в 2020 году и составила в среднем по области 9,5 °С, что на 3,1 °С выше, чем норма за 1961-1990 годы.

Заключение. Анализ пространственной и временной изменчивости среднегодовой температуры воздуха показал, что за период 1951-2020 годов отмечается постоянный рост показателя. Повышение температуры варьировало по десятилетиям, причем в текущем столетии рост ее в северо-западной, северной и северо-восточной частях области происходил более интенсивно, чем на остальной территории. Годовое превышение в 2001-2010 годах составило в среднем по области 0,09 °С/год. Для успешного и стабильного развития региона необходимо учитывать текущие и прогнозируемые изменения в термическом режиме путем разработки и принятия адаптивных мер и направлений, снижающих экономические риски природопользования.

Ключевые слова: Воронежская область, термический режим, региональное повышение температуры.

Для цитирования: Дмитриева В. А., Сушков А. И. Температурный режим Воронежской области в условиях меняющегося климата // *Вестник Воронежского университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/56-63>

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные изменения климата характеризуются стремительным ростом температуры воздуха, наиболее существенным в северном полушарии. Современное прогревание атмосферы характерно и для территории России. Как отмечается в [13], температура воздуха над сушей (далее «температура») за одно десятилетие в период 1976-2020 годов

повысилась на 0,51 °С, а текущий век отличается и самым большим количеством теплых лет (9 из 10) и высокими (экстремальными) температурами на фоне сложившейся тенденции потепления. На компактной территории, как, например, Воронежская область, региональное повышение температуры проявляется более рельефно. При этом температура воздуха выступает драйвером нарушений от-



носительного равновесия в природных системах, вариаций ее показателей. Природные процессы, прямо или косвенно связанные с климатическими процессами, реагируют на текущее состояние атмосферы изменением своих свойств, характерных черт, показателей, формируются особенности и аномалии. В работах ряда авторов указывается на трансформацию водного и ледового режима, изменение состояния растительного покрова и биоты, термического режима воды в водных объектах, русловые преобразования, ландшафтные изменения поверхности водосборов и так далее [1-4, 7-9, 11]. Перспективными оценками сценарных изменений климата предполагается дальнейшее нагревание приземной атмосферы, прогнозируется замедление роста максимальной температуры и увеличение минимальной температуры, что в результате ведет к внутрисуточному выравниваю показателей и сглаживанию внутрисуточного хода температуры. Очевидно, что динамические процессы в приземной атмосфере будут вызывать необходимость их учета в различных сферах экономической деятельности, потребуют разработки адаптивных мер и направлений, необходимых для прогрессивного ведения экономики, стабилизации и эффективности различного рода человеческой деятельности. Стратегические планы развития Воронежской области могут быть успешными лишь при полном представлении о современных климатических процессах, тенденциях в основных климатических показателях и возможности их учета при составлении долгосрочных планов развития. Исследование современных тенденций и количественных изменений температуры воздуха за 70-летний период наблюдений на метеостанциях Воронежской области является целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Источниками базовой информации служат материалы наблюдений на метеорологических станциях Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за полный период наблюдений, от начала открытия метеостанций до настоящего времени, а в расчеты приняты сведения за 1951-2020 годы, то есть 70 лет. В настоящее время на территории области функционирует 10 метеостанций стационарной сети Роскомгидромета, расположенные на Среднерусской (станция Нижнедевицк) и Калачской (станция Калач) возвышенностях, а остальные (Воронеж, Нововоронеж, Анна, Борисоглебск, Каменная Степь, Лиски, Павловск, Богучар) – на Окско-Донской низменной равнине. Плотность метеорологической сети составляет 1 станция на 5240 км², что почти в 2 раза выше, чем в среднем по России [5]. Пространственное размещение метеостанций относительно равномерное, что позволяет данные наблюдений интерполировать по пространству и характеризовать изменчивость показателей по площади области. Ряды среднемесячных, среднегодовых, максимальных и минимальных температур сформированы за весь период стационарных наблюдений. Самые ранние наблюдения стали проводиться на метеостанциях Воронеж и Каменная Степь, с 1919 и 1921 годов соответственно, а массовое открытие приходится на 1930-е годы, но для анализа статистических параметров метеорологических характеристик в нашем исследовании рассматриваются ряды с 1951 по 2020 годы, однородные по временному признаку, а также в них отсутствуют пропуски в измерениях. Продолжительность рядов, равная 70 годам, достаточна для оценки средних многолетних характеристик с требуемой статистической точностью вычислений (табл. 1).

Таблица 1

Статистические характеристики рядов средней многолетней годовой температуры воздуха
 [Table 1. Statistical characteristics of the average long-term annual air temperature series]

Метеостанция / Weather station	Нижнедевицк / Nizhnedevitsk	Воронеж / Voronezh	Анна / Anna	Борисоглебск / Borisoglebsk	Каменная Степь / the Kamennaya Steppe	Лиски / Liski	Павловск / Pavlovsk	Калач / Kalach	Богучар / Boguchar
Tcp °C	6,4	6,6	6,5	6,7	6,5	7,3	7,0	7,2	7,8
Cv	0,19	0,19	0,21	0,18	0,19	0,17	0,17	0,16	0,15
±σ °C	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
δ %	2,24	2,31	2,52	2,18	2,26	2,00	2,00	1,94	1,78

Обозначения: Tcp. °C – средняя многолетняя годовая температура воздуха для ряда; Cv – коэффициент вариации; ±σ °C – среднее квадратичное отклонение; σ - ошибка расчета средней многолетней годовой температуры.

[Notes: T°C – average long-term annual air temperature for the series; Cv – coefficient of variation; ±σ °C – mean square deviation; σ - error in calculating the average long-term annual temperature].

Как следует из таблицы 1, максимальная погрешность определения среднего многолетнего значения температуры составляет 2,52 %, а среднее квадратичное отклонение не превышает 1,4 °С, что вполне приемлемо для дальнейших рассуждений и анализа.

В таблице 1 и последующих расчетах, опирающихся на средние значения по периодам, не используются данные метеостанции Нововоронеж, открытие которой состоялось 1 октября 1991 года, и вследствие этого ряд не отвечает однородности по продолжительности. Экстремальные (наивысшие и наименьшие) значения, рассматриваются за весь период фактических наблюдений по всем станциям.

Математико-статистические методы использовались для оценки статистических параметров рядов среднегодовой температуры воздуха за период 1951-2020 годы. Метод географической интерполяции, сравнительного анализа, тенденций нашли применение в анализе пространственной и внутрирядной изменчивости температуры, в решении поставленной цели. Расчеты выполнены в программных продуктах MS Excel, Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В многолетних изменениях региональной температуры прослеживается устойчивая тенденция постоянного увеличения температуры воздуха. Процесс потепления последовательно направленным становится в конце прошлого века и продолжает быть таковым в текущем столетии. Последнее резкое снижение среднегодовой температуры произошло в 1987 году. На всей территории Воронежской области установился аномально низкий температурный режим, причиной которого стало господствующее преобладание меридиональных воздушных масс в течение зимы и первого весен-

ного месяца марта. Месяцы январь – март стали самыми холодными, с глубокой отрицательной аномалией среднемесячной температуры в марте не только в 1987 году, но и за весь 70-летний период с 1951 по 2020 годы. Среднемесячная температура марта по области была достаточно однородной, в диапазоне минус 8,0 °С (станция Воронеж) – минус 9,0 °С (станция Каменная Степь), за исключением метеостанции Борисоглебск с температурой минус 7,2 °С. Возможно, защищенность метеостанции Борисоглебск лесным массивом создало обогревающий эффект. Следует отметить, что метеостанциями Анна и Каменная Степь нередко фиксируются отрицательные аномалии температуры, чему способствует особенность рельефа, а именно, его ложбинный характер, благодаря которому холодный воздух стекает и застаивается, выхолаживая земную поверхность и приземный слой атмосферы.

В последующие, после 1987, годы формируется температурный режим, который отличается от всех предыдущих лет ускоренным ростом температуры и вариативностью колебаний. В многолетних изменениях метеорологической характеристики 1987 год стал переломным, разделившим весь 70-летний период на два полупериода, охвативших 1951-1987 (37 лет) и 1988-2020 (33 года) годы, что вполне четко прослеживается на графиках многолетних изменений средней годовой температуры по всем метеостанциям, в том числе и по метеостанциям Нижнедевицк и Калач (рис. 1а, б). Метеостанция Нижнедевицк расположена на крайнем северо-западе области, на Среднерусской возвышенности, в лесостепной зоне, а метеостанция Калач – на юго-востоке, на Калачской возвышенности, в пограничье между лесостепью и степью /по Ф. Н. Милькову (1977)/.

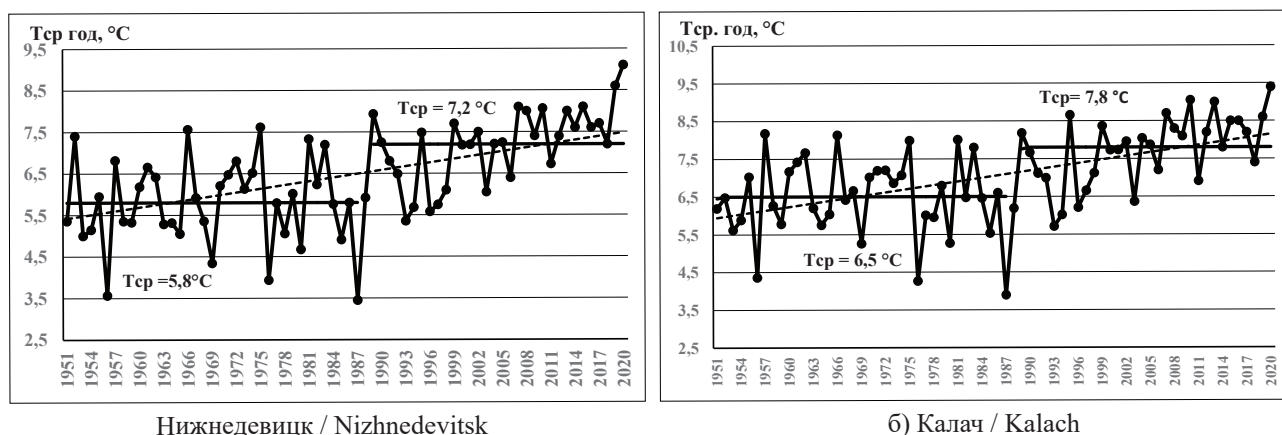


Рис. 1. Многолетние колебания среднегодовой температуры воздуха за 1951-2020 годы по метеостанциям Воронежской области

[Fig. 1. Long-term variations of the average annual air temperature for 1951-2020 by weather stations in the Voronezh region]

Аналогичный ход многолетних колебаний температуры наблюдается и на других метеостанциях, к примеру, Воронеж и Богучар, рас-

положенных на Окско-Донской низменной равнине в границе лесостепи и степи соответственно (рис. 2).

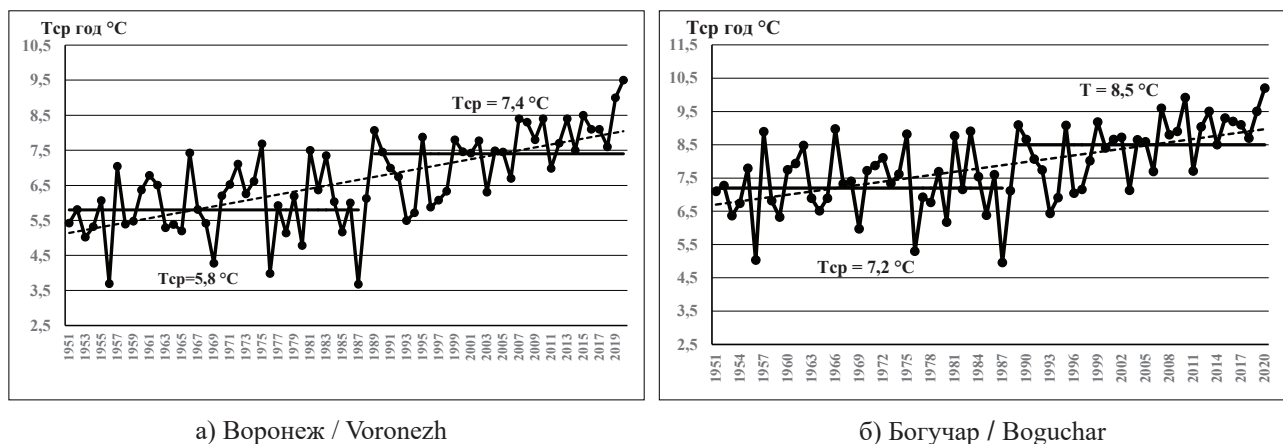


Рис. 2. Многолетние колебания среднегодовой температуры воздуха за 1951-2020 годы по метеостанциям Воронежской области
 [Fig. 2. Long-term variations of the average annual air temperature for 1951-2020 by weather stations in the Voronezh region]

Максимальная температура сформировалась в текущем столетии и отмечена в 2020 году. Высокая аномалия температуры характерна для всей территории области. Подобной однородности в образовании максимальной температуры в другие годы не наблюдается. К этим выводам подводит анализ многолетних колебаний температуры, представленных в виде непрерывных рядов.

Амплитуда между высокими и низкими значениями сокращается, вариация величин становится меньше. Это означает, что в годовом цикле температурные колебания становятся меньше, происходит выравнивание среднемесячной температуры по сезонам и месяцам внутри года.

Сравнительный анализ температурных рядов пометеостанциям Нижнедевицки Калач (см. рис. 1) показывает, что минимальная среднегодовая температура отмечается в 1987 году. Она характерна и для первого полупериода, а также и для второго полупериода территории области в целом. В Нижнедевицке она равна 3,5 °С, в Калаче – 3,9 °С. Наибольшая температура отмечается в Нижнедевицке в 1966 и 1975 годах с равным значением 7,6 °С. В Калаче в 1957 году показатель достиг значения 8,2 °С, а близким со значением 8,1 °С был 1966 год. Амплитуда температур в первом полупериоде составила 4,1 и 4,3 °С в Нижнедевицке и Калаче соответственно. Во втором полупериоде аналогичное сравнение обнаруживает максимальную среднегодовую температуру в 2020 году, равную 9,1 и 9,4 °С, а минимальную – в 1993 году, равную 5,4 и 5,7 °С соответственно. Ампли-

туда во втором полупериоде составила 3,7 °С для обоих пунктов. Годы 2020 и 1993 оказались характерными по экстремальной температуре для обеих метеостанций.

Аналогичное сопоставление максимальных и минимальных температур из среднегодовых значений, выполненное для метеостанций Воронеж и Богучар (см. рис. 2), обнаруживает, что в первом полупериоде максимальная температура 7,7 °С для метеостанции Воронеж отмечена в 1975 году, а для Богучара 9,0 °С в 1966 году. Минимальная среднегодовая температура 3,7 и 5,0 °С сформировалась в 1987 для Воронежа и Богучара в названной последовательности. Амплитуда температур в первом полупериоде составила 4,0 °С для обеих станций. Во втором полупериоде 1988-2020 годов наибольшие и наименьшие среднегодовые значения отмечены в 2020 году и 1993 году со значениями 9,5 и 5,5 °С (метеостанция Воронеж) и 10,2 и 6,4 °С (метеостанция Богучар). Амплитуда составляет 4,0 и 3,8 °С для метеостанций.

При почти неизменившейся амплитуде между максимальными и минимальными величинами существенно выросли среднегодовые значения в текущем столетии по сравнению с аналогичными данными предыдущего века. Наибольшее потепление характерно для северо-западной, северной и северо-восточной частей Воронежской области. По измерениям на метеостанциях Нижнедевицк, Воронеж, Каменная Степь, Анна, Борисоглебск среднегодовая температура повысилась на 1,4-1,6 °С за анализируемый период (табл. 2).

Средняя температура из среднегодовых значений по полупериодам
[Table 2. Average temperature from the annual average over half-periods]

Средняя температура по полупериодам (годы), Т _{сп} , °С / Average temperature by half-period (years), T _{sp} , °С	Нижедевицк / Nizhnedevitsk	Воронеж / Voronezh	Анна / Anna	Борисоглебск / Borisoglebsk	Каменная Степь / the Kamenная Steppe	Лиски / Liski	Павловск / Pavlovsk	Калач / Kalach	Богучар / Boguchar
1951-1987	5,8	5,8	5,7	6,0	5,8	6,7	6,6	6,5	7,2
1988-2020	7,2	7,4	7,3	7,5	7,3	8,0	7,9	7,8	8,5
ΔТ _{сп} , °С	1,4	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3

Средняя интенсивность увеличения температуры за 1988-2020 годы составила 0,05 °С /год, что сопоставимо со средней по России за 1976-2020 годы [5], а средняя за год составила 0,021 °С. Однако, потепление происходило не поступа-

тельно и последовательно, а пилообразно, с увеличением и снижением средних значений как по годам, так и по десятилетиям при сохранении общего тренда роста приземной температуры (табл. 3).

Таблица 3

Средняя годовая температура воздуха по десятилетиям
[Table 3. Average annual air temperature by decades]

Метеостанция / Weather station	Нижедевицк / Nizhnedevitsk	Воронеж / Voronezh	Анна / Anna	Борисоглебск / Borisoglebsk	Каменная Степь / the Kamenная Steppe	Лиски / Liski	Павловск / Pavlovsk	Калач / Kalach	Богучар / Boguchar
1951-1960	5,6	5,6	5,5	5,7	5,6	6,6	6,5	6,3	7,0
1961-1970	5,8	5,8	5,8	6,0	5,9	6,6	6,6	6,7	7,4
1971-1980	5,9	6,0	5,8	6,2	5,9	6,7	6,6	6,5	7,3
1981-1990	6,2	6,4	6,2	6,6	6,2	7,0	6,9	6,7	7,6
1991-2000	6,4	6,6	6,7	6,8	6,6	7,3	7,3	7,1	7,8
2001-2010	7,3	7,6	7,5	7,7	7,4	8,1	8,1	7,9	8,7
2011-2020	7,8	7,9	7,9	8,0	7,9	8,6	8,3	8,3	9,1

Наибольший вклад в положительную динамику температуры и региональное потепление внесло первое десятилетие текущего столетия. За 2001-2010 годы средняя годовая температура повысилась на 0,8-1,0 °С за десятилетие, или 0,08-0,10 °С /год, и этот период оказался самым теплым в ряду наблюдений, согласуясь с изменениями в целом по России [13]. В 2011-2020 годах процесс потепления продолжается, но темпы его замедлились. За 10 лет температура повысилась на 0,2-0,5 °С, или на 0,02 - 0,05 °С /год, но 2020 год превысил по температуре аномально жаркий 2010 год и стал выдающимся в ряду инструментальных наблюдений. Среднегодовая температура достигла отметки 9,1 °С

(метеостанции Нижедевицк, Каменная Степь, Борисоглебск) – 10,2 °С (метеостанция Богучар). Осредненная по области температура равна 9,5 °С, что на 3,1 °С выше, чем осредненная за 1961-1990 годы, принятые Всемирной метеорологической организацией за норму. На текущее время 2020 год – самый теплый за весь период наблюдений в Воронежской области и в России [5].

Опираясь на современные прогнозные сценарии о дальнейшей экстраполяции потепления, можно предположить, что сложившаяся по среднегодовой температуре тенденция сохранится. Вследствие этого трансформация природных процессов, прямо или косвенно связанных с климатическими флуктуация-

ми, будет развиваться. В настоящее время в ответ на климатические вызовы меняются характеристики водного, ледового, термического и гидрохимического режимов водных объектов. Так, на реках Воронежской области, как и на реках европейской части России, уменьшаются объемы и максимумы половодья, увеличивается продолжительность половодья, сокращается склоновый поверхностный сток с речных водосборов, перераспределяется во времени и по объему сезонный сток, уменьшается продолжительность ледообразования, неоднозначно изменяется температура воды в водных объектах и вместе с ней гидрохимический состав вод и биота, формируется новое гидрологическое состояние водных объектов и новые гидрологические риски [4, 6, 10, 12]. С текущими и перспективными климатическими изменениями термического режима возможны различного рода последствия, в том числе и негативные, которые необходимо предвидеть, а отрасли экономики адаптировать к качественным и количественным колебаниям в природных системах. Например, исключительно низкое весеннее половодье 2020 года оставило без воды многочисленные пруды на территории области, резко снизило эффективность рыболовной отрасли, рекреационное водопользование. Дефицит речного стока и водных ресурсов негативно отразился на гидрохимическом состоянии тех водных объектов, которые принимают сточные воды, в частности, реки Дон и Воронеж, Воронежское водохранилище. При систематическом сокращении водных запасов потребуются принятие превентивных мер для обеспечения водопользователей необходимым объемом воды и стабилизации гидроэкологического состояния водных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика приземной среднегодовой температуры за 1951-2020 годы на территории Воронежской области в целом согласуется с характером ее изменений в Российской Федерации. Повышение среднегодовой температуры происходит скачкообразно, при сохранении общего тренда роста. В ряду наблюдений отмечаются годы экстремально низкой (1987) и экстремально высокой (2020) среднегодовой температуры, при этом 1987 год стал переломным в ряду событий, после которого отмечается резкий рост показателя и выход на новый уровень значений температуры. Осредненная для области за 2020 год температура, равная 9,5 °С, превысила норму 1961-1990 годов на 3,1 °С. В десятилетних периодах самым теплым оказалось первое десятилетие текущего века, то есть 2001-2010 годы, за которое средняя годовая температура увеличилась в среднем

для области на 0,9 °С, то есть на 0,09 °С/год. Наибольший рост выявлен в северо-западной, северной и северо-восточной частях области. Эта характерная черта отмечалась и в другие десятилетия, наиболее отчетливо в период 1988-2020 годов. В десятилетие 2011-2020 годов приращение температуры замедлилось и составило 0,02-0,05 °С/год. Повышение температуры приземного слоя атмосферы зачастую выступает дестабилизирующим фактором природного равновесия. Поэтому, при сохранении тенденции роста температуры, необходима разработка и принятие адаптивных направлений и мер для обеспечения устойчивости функционирования природных геосистем и стабильной и эффективной социально-экономической деятельности на территории Воронежской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние* / Р.Г. Джамалов, М.Б. Киреева, А.Е. Косолапов, Н.Л. Фролова. Москва: ГЕОС, 2017. 205 с.
2. Вязилова А.Е., Алексеев Г.В., Харланенкова Н.Е. Влияние глобального потепления на приток речных вод в арктические моря // *Метеорология и гидрология*, 2022, № 6, с. 46-55.
3. Дмитриева В.А., Бучик С.В. Термический режим речных вод как ответная реакция на климатические процессы в бассейне Верхнего Дона // *Аридные экосистемы*, 2021, № 1, с. 128-135.
4. Дмитриева В.А., Сушков А.И., Закусилев В.П. Климатическая обусловленность современных гидроэкологических процессов в речных потоках бассейна Верхнего Дона // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 2, с. 118-127.
5. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год*. Москва: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ), 2021. 104 с.
6. *Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации* / под редакцией В.М. Катцова. Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. 2017. 106 с.
7. Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманов В.А. Водный и ледовый режим реки Майма в условиях современных изменений климата (горный Алтай) // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, 2019, № 5, с. 25-39.
8. Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Коронкевич Н.И. Весенний поверхностный склоновый сток на Русской равнине в годы различной водности // *Известия РАН. Серия географическая*, 2020, № 1, с. 37-46.
9. Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья // *Региональные геосистемы*, 2021, № 45 (4), с. 617-631.

10. Научно-прикладной справочник «Климат России». URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/faces/index0a.xhtml> (дата обращения: 03.02.2023). – Текст: электронный.

11. Пространственно-временная структура полей речного стока в бассейне Дона в условиях изменения климата / М. В. Болгов, Е. А. Коробкина, И. А. Филиппова, М. Д. Трубецкова // Метеорология и гидрология, 2022, № 5, с. 54-63.

12. Румянцев В. А., Коронкевич Н. И. Стратегические ресурсы природных вод России. Стратегические

ресурсы и условия устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов. Москва, 2014. 166 с.

13. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Научно-емкие технологии, 2022. 124 с.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 06.02.2023

Принята к публикации 05.06.2023

ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

UDC 551.583: 551.524 (470.324)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/56-63>

Thermal Regime in the Voronezh Region in a Changing Climate

V.A. Dmitrieva¹✉, A.I. Sushkov²

¹Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018)

²Voronezh Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring,
Russian Federation
(1, Platonov Str., Voronezh, 394018)

Abstract. The purpose of the study is to investigate modern trends in the surface atmosphere and quantitative changes in the mean annual air temperature for 1951-2020 according to observations at weather stations in the Voronezh region.

Materials and methods. Calculation of characteristics and analysis of long-term dynamics were carried out using mathematical-statistical, geographical interpolation, comparative analysis, graphical, trend methods.

Results and discussion. In the long-term dynamics of mean annual air temperature, a turning point year (1987) with the lowest mean annual temperature for the region has been established, from which a steady increase in temperature follows. The long-term changes have a discontinuous character with a steady increase in the annual average temperature. The warmest decade was 2001-2010, when the average temperature for the region increased by 0,8-1,0°C. The highest average annual air temperature in the observation series was formed in 2020 and averaged 9.5°C for the region, which is 3.1°C higher than the norm for 1961-1990.

Conclusion. Analysis of the spatial and temporal variability of the mean annual air temperature showed that there was a steady increase in the indicator for the period 1951-2020. Temperature increase varied by decades, with more intense increase in the northwestern, northern and north-eastern parts of the region in the current century than in the rest of the territory. The annual increase in 2001-2010 was on average 0.09°C/year for the region. For successful and stable development of the region it is necessary to take into account the current and projected changes in the thermal regime by developing and adopting adaptive measures and directions that reduce the economic risks of nature management.

Key words: Voronezh region, thermal regime, regional temperature increase.

For citation: Dmitrieva V.A., Sushkov A.I. Thermal Regime in the Voronezh Region in a Changing Climate. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 2, pp. 56-63. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/56-63>

© Dmitrieva V.A., Sushkov A.I., 2023

✉ Vera A. Dmitrieva, e-mail: verba47@list.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

REFERENCES

1. *Vodnye resursy basseyna Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie* [Water resources of the Don basin and their ecological status] / R. G. Dzhamalov, M. B. Kireeva, A. E. Kosolapov, N. L. Frolova. Moscow: GEOS, 2017. 205 p. (In Russ.)
2. Vyazilova A. E., Alekseev G. V., Kharlanenkova N. E. Vliyaniye global'nogo potepleniya na pritek rechnykh vod v arkticheskie morya [The impact of global warming on the inflow of river waters into the Arctic seas]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2022, no. 6, pp. 46-55. (In Russ.)
3. Dmitrieva V. A., Buchik S. V. Termicheskiy rezhim rechnykh vod kak otvetnaya reaktsiya na klimaticheskie protsessy v basseyne Verkhnego Dona [Thermal regime of river waters as a response to climatic processes in the Upper Don basin]. *Aridnye ekosistemy*, 2021, no. 1, pp. 128-135. (In Russ.)
4. Dmitrieva V. A., Sushkov A. I., Zakusilov V. P. Klimaticheskaya obuslovlennost' sovremennykh gidroekologicheskikh protsessov v rechnykh potokakh basseyna Verkhnego Dona [Climatic conditionality of modern hydroecological processes in the river flows of the Upper Don basin]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2022, no. 2, pp. 118-127. (In Russ.)
5. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2020 god* [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2020]. Moscow: Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (ROSGIDROMET), 2021. 104 p. (In Russ.)
6. *Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Report on climate risks in the territory of the Russian Federation] / pod redaktsiyey V. M. Kattsova. Saint-Petersburg: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A. I. Voeykova. 2017. 106 p. (In Russ.)
7. Zuev V. V., Korotkova E. M., Uymanov V. A. Vodnyy i ledovyy rezhim reki Mayma v usloviyakh sovremennykh izmeneniy klimata (gornyy Altay) [Water and ice regime of the Maima River in the conditions of modern climate change (Gorny Altai)]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2019, no. 5, pp. 25-39. (In Russ.)
8. Kashutina E. A., Yasinskiy S. V., Koronkevich N. I. Vesenniy poverkhnostnyy sklonovyy stok na Russkoy ravnine v gody razlichnoy vodnosti [Spring surface slope runoff on the Russian plain in the years of different water content]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2020, no. 1, pp. 37-46. (In Russ.)
9. Kumani M. V., Shul'gina D. V., Kiselev V. V. Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh elementov stoka rek v predelakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [Long-term dynamics of the main elements of river flow within the Central Chernozem region]. *Regional'nye geosistemy*, 2021, no. 45 (4), pp. 617-631. (In Russ.)
10. Scientific and applied reference book "Climate of Russia". – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/faces/index0a.xhtml> (accessed 03.02.2023). – Text: electronic. (In Russ.)
11. Prostranstvenno-vremennaya struktura poley rechnogo stoka v basseyne Dona v usloviyakh izmeneniya klimata [Spatio-temporal structure of river flow fields in the Don basin under climate change] / M. V. Bolgov, E. A. Korobkina, I. A. Filippova, M. D. Trubetskova. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2022, no. 5, pp. 54-63. (In Russ.)
12. Rumyantsev V. A., Koronkevich N. I. *Strategicheskie resursy prirodnnykh vod Rossii. Strategicheskie resursy i usloviya ustoychivogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii i ee regionov* [Strategic resources of natural waters of Russia. Strategic resources and conditions for sustainable development of the Russian Federation and its regions]. Moscow, 2014. 166 p. (In Russ.)
13. Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezyume [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. Saint-Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022. 124 p. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 06.02.2023

Accepted: 05.06.2023

Дмитриева Вера Александровна
доктор географических наук, профессор кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8464-3593, e-mail: verba47@list.ru

Сушков Александр Иванович
начальник Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Заслуженный метеоролог России, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: pogodavrn@mail.ru

Vera A. Dmitrieva
Dr. Sci. (Geogr.), Professor at the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation ORCID: 0000-0002-8464-3593, e-mail: verba47@list.ru

Aleksander I. Sushkov
Head of the Voronezh Centre for Hydrometeorology and Environmental Monitoring - Branch of the Federal State Budgetary Institution "Central Black Soil Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring", Honoured Meteorologist of Russia, Voronezh, Russian Federation, e-mail: pogodavrn@mail.ru