

УДК: 004.9:528.94

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182

С.А. Антонов¹, И.Ю. Каторгин²

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

АННОТАЦИЯ

В настоящее время наблюдается динамичное глобальное изменение климата, подтверждающееся докладами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Для многих сельскохозяйственных регионов, в том числе Юга России, такие изменения усиливают и без того высокие природно-климатические риски. Ставропольский край, как и большинство других регионов России имеет недостаточное покрытие территории сетью метеорологических станций, в связи с чем возникает необходимость использования современных ГИС-технологий анализа пространственных данных. В данной работе для анализа климатических данных был использован метод интерполяции «Естественная окрестность (Natural Neighbor)». Использование геоинформационных технологий позволило выявить региональные особенности изменения климата на всей территории Ставропольского края за последние 60 лет (1961–2020 гг.). В крае отмечается рост среднегодовой температуры воздуха за последние 30 лет на 0,9 °С, при сохранении текущих темпов прироста к 2050 г. среднегодовая температура может увеличиться ещё на 0,6 °С. Выявлена внутригодовая неоднородность прироста температуры, так в январе, феврале, марте и августе он колеблется от +1,8 до +2,0 °С, в октябре до +1,6 °С, а по остальным месяцам прирост не превышает 1 °С, и только в ноябре температура снижается до -0,6 °С. Одним из основных лимитирующих факторов эффективности возделывания продукции растениеводства является влагообеспеченность территории. Анализ отклонений годовой суммы осадков на территории Ставропольского края не позволяет выявить достоверной тенденции их изменения, поскольку отмечаются их значительные флуктуации по годам, что может приводить к возникновению неблагоприятных засушливых явлений. Установлено, что за период 1961–2020 гг. засухи различной продолжительности отмечаются ежегодно. При этом существует вероятность возникновения крайне неблагоприятных 5-месячных засух, которые могут провоцировать целый комплекс неблагоприятных явлений, таких как суховеи и пыльные бури. На основе геоинформационных технологий создана серия карт, описывающая климатические условия периода 1991–2020 гг., являющегося новой климатической нормой для территории Ставропольского края.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: климат, изменение, геоинформационные технологии, моделирование, сельское хозяйство

¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», лаборатория ГИС-технологий, Никонова, д. 49, 356241, Михайловск, Ставропольский край, Россия, e-mail: santosb@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра картографии и геоинформатики, просп. Кулакова, 16/1, 355044, Ставрополь, Ставропольский край, Россия, e-mail: katorgin1974@mail.ru

Sergey A. Antonov¹, Igor Yu. Katorgin²

MAPPING THE CHARACTERISTICS OF CLIMATE CHANGE IN STAVROPOL REGION

ABSTRACT

Currently, there is dynamic global climate change, as evidenced by the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). For many agricultural regions, including the South of Russia, such changes increase the already high natural and climatic risks. The Stavropol Territory, like most other regions of Russia, has insufficient coverage of the territory with a network of meteorological stations, in connection with which it becomes necessary to use modern GIS technologies for analyzing spatial data. In this work, the interpolation method «Natural Neighbor» was used to analyze climate data. The use of geoinformation technologies made it possible to identify regional features of climate change throughout the Stavropol Territory over the past 60 years (1961–2020). In the region, there has been an increase in the average annual air temperature over the past 30 years by 0.9 °C, while maintaining the current growth rate by 2050, the average annual temperature may increase by another 0.6 °C. The intra-annual heterogeneity of the temperature increase was revealed, so in January, February, March and August it ranges from +1.8 to +2.0 °C, in October to +1.6 °C, and for the rest of the months the increase does not exceed 1 °C, and only in November, the temperature drops to -0.6 °C. One of the main limiting factors of the efficiency of crop production is the moisture supply of the territory. Analysis of the deviations of the annual precipitation amount in the Stavropol Territory does not allow us to reveal a reliable trend in their change, since there are significant fluctuations over the years, which can lead to the occurrence of unfavorable arid phenomena. It was found that for the period 1961–2020. droughts of various durations occur annually. At the same time, there is a likelihood of extremely unfavorable 5-month droughts, which can provoke a whole range of adverse events, such as dry winds and dust storms. On the basis of geoinformation technologies, a series of maps was created that describes the climatic conditions of the period 1991–2020, which is a new climatic norm for the territory of the Stavropol Territory.

KEYWORDS: climate, change, geographic information technologies, modeling, agriculture

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных проявлений глобального потепления климата является увеличение вероятности возникновения таких экстремальных климатических явлений, как засухи, ливни, ураганы и т.д., наносящие значительный ущерб экономике и провоцирующие усиление социальной напряжённости в подверженных их воздействию регионах.

В 1998 г. Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) была основана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). По итогам конференции ООН по окружающей среде и развитию, была принята Рамочная Конвенция ООН по изменению климата (РКИК ООН), ратифицированная Россией. Работа РКИК ООН обеспечивается докладами МГЭИК. Всего МГЭИК было опубликовано 5 больших докладов, следующий планируется в 2022 г. Особый интерес представляет специальный отчёт «Special Report on Global Warming of

¹ FSBSI «North-Caucasian federal scientific agrarian center», laboratory GIS-technology, Nikonova str. 49, 356241, Mikhailovsk, Stavropol Region, Russia, *e-mail*: santosb@mail.ru

² North-Caucasian Federal University, Department of Cartography and Geoinformatics, prosp. Kulakova 16/1, 355044, Stavropol, Russia; *e-mail*: katorgin1974@mail.ru

1.5 °C (SR15)» [Summary ..., 2018]. Он определяет в качестве основной оценки эффективности мероприятий по борьбе с изменением климата ограничение глобального потепления до 1,5 °C, что позволит снизить негативное влияние на экосистему в целом и человека в частности.

Наиболее подверженными аридизации, вследствие потепления климата, являются сельскохозяйственные регионы южной части степной зоны, в частности Ставропольский край, большая часть территории которого имеет и без того недостаточное увлажнение [Гордеев 2006]. Площадь земель сельскохозяйственного назначения на территории края превышает 6 млн га из них 2,3 млн га занято зерновыми культурами, что обеспечивало получение 8,2 млн т валовых сборов зерна в среднем за период 2010–2019 гг.

Почвенно-климатические условия Ставропольского края имеют зональные особенности. Они представлены двумя почвенными зонами чернозёмной и каштановой, и характеризуются изменением климатических условий с запада на восток с достаточно влажных (со среднегодовой температурой 9,9 °C и годовой суммой осадков 574 мм) до крайне засушливых (соответственно – 11,4 °C и 395 мм).

Современные климатические условия характеризуются высокой изменчивостью, их исследование в настоящее время немыслимо без применения геоинформационных технологий, предоставляющих широкие возможности в сфере математико-картографического моделирования и пространственного анализа [Антонов, 2009].

Одним из способов пространственного анализа является интерполяция по дискретно расположенным точкам, разработанная для восстановления непрерывного пространственного распределения показателя по значениям, измеренным в опорных точках. Методы интерполяции разнообразны и обладают неодинаковой точностью при решении тех или иных задач. Анализ и оценке методов интерполяции при моделировании климатических параметров посвящён ряд работ, в которых для значительных по площади территорий отдаётся предпочтение методам «геостатистической интерполяции (кригинга)» [Божилкина и др., 2014, 2016; Ивлиева и др., 2019; Varentsov et al., 2020]. Для меньших по размерам областей с относительно равномерным распределением опорных точек успешно применяется не только метод кригинга, но и метод «естественной окрестности (Natural Neighbor)» [Калинин и др., 2017; Крюкова, Симакина, 2018].

Цель исследования: выявить региональные особенности изменения климата в Ставропольском крае и провести их пространственное моделирование на основе геоинформационных технологий.

Научная новизна исследования состоит в том, что определены тенденции изменения климата в Ставропольском крае за последние 60 лет с учётом пространственной дифференциации основных климатических показателей по территории.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы для адаптации сельскохозяйственного производства в Ставропольском крае к современным климатическим условиям для повышения его эффективности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного источника климатических данных использованы материалы Ставропольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» и данные автоматизированной информационной системы «АГРО-КЛИМАТ», разработанной в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», которая содержит сведения по всем 16 метеостанциям Ставропольского края (рис. 1) [Антонов, 2017]. Однако, не все административно-территориальные единицы Ставропольского края охвачены сетью метеорологических станций. Недостаточное количество метеорологических станций является типичной проблемой для большинства регионов России, в свя-

зи с чем необходимо использовать математические методы (интерполяцию) для создания непрерывного покрытия территории климатическими данными.

Для статистической обработки климатических данных применялась программа MS Excel. В качестве исходных данных использованы сведения о среднемесячной температуре воздуха и месячным суммам осадков по всем действующим метеостанциям края за 1961–2020 годы. В Microsoft Excel проведена математическая обработка исходных данных – вычислены среднегодовые и среднемесячные значения температуры воздуха, среднемесячные значения осадков за выбранные периоды и величины отклонений температур от климатической нормы (30-летний период 1961–1990 гг.).

В Microsoft Excel для 16 метеостанций края построены климадиаграммы по методу Вальтера-Госсена [Walter, 1972] и рассчитана среднегодовая продолжительность засух по трём 20-летним периодам. Результаты статистической обработки и вычислений были конвертированы в формат *.shp.

В качестве основного инструмента пространственного анализа и картографирования климатических изменений выбран хорошо зарекомендовавший себя геоинформационный пакет ArcGIS 10.4, обладающий огромным комплексом инструментов моделирования, визуализации и анализа данных. Модуль расширения Spatial Analyst позволяет решать задачи моделирования поверхностей географического распределения исследуемого показателя с помощью одной из функций модуля – интерполяции по дискретно расположенным точкам методом «Естественная окрестность (Natural Neighbor)». Данный метод определяет интерполируемые значения с использованием веса каждой точки, основываясь на пропорциональных областях (естественных окрестностях). Основным плюсом этого метода является отсутствие «рёбер», «пиков», «ям», «точки минимума» [Калинин и др., 2017], поэтому пространственное распределение характеристики достаточно «гладкое» с точным «воспроизведением» значений в опорных точках.

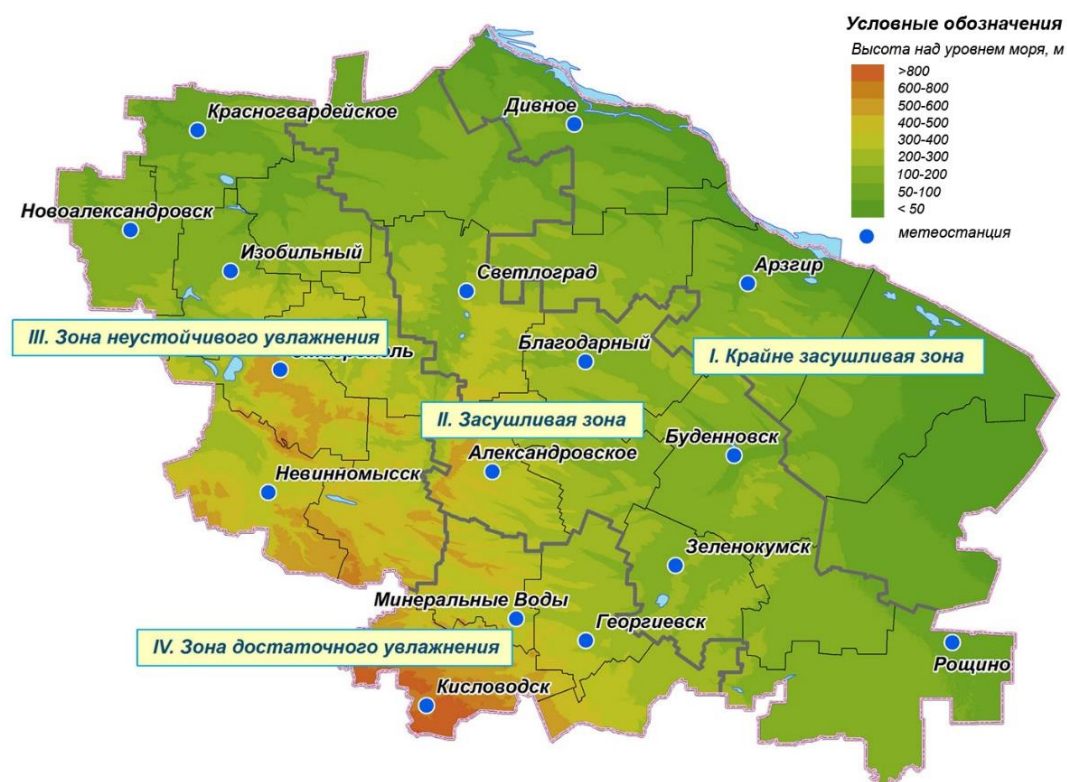


Рис. 1. Сельскохозяйственные зоны и метеостанции Ставропольского края

Fig. 1. Agricultural zones and weather stations of Stavropol region

Визуализация результатов моделирования осуществлена путём построения изолинейных карт (рис. 2, 4, 5, 7, 8).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Ставропольском крае отмечаются региональные особенности изменения климата, схожие с глобальными тенденциями изменения климата в северном полушарии. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), в качестве многолетней климатической нормы рекомендуется использовать временной период не менее 30 лет [Груза, 2004]. В Ставропольском крае относительно непрерывный ряд наблюдений за климатическими параметрами начинается с 1931 г., что позволило выделить три 30-летних периода (1931–1960 гг., 1961–1990 гг., 1991–2020 гг.). С точки зрения современных тенденций изменения климата особый интерес представляют данные за последние 2 периода. Анализ отклонений среднегодовой температуры воздуха за период 1961–1990 гг. относительно предыдущего 30-летнего периода выявил потепление температуры воздуха на всей территории края в диапазоне от 0,2 до 0,6 °С, в следующем периоде 1991–2020 гг. повышение температуры воздуха ускорилось до 0,6–1,2 °С (рис. 2). За последние 30 лет только 7 раз отклонения среднегодовой температуры были ниже климатической нормы (1961–1990 гг.). В среднем по территории края за период 1991–2020 гг. она составила 10,8 °С, что на 0,9 °С выше, чем за прошлый 30-летний период (рис. 3).

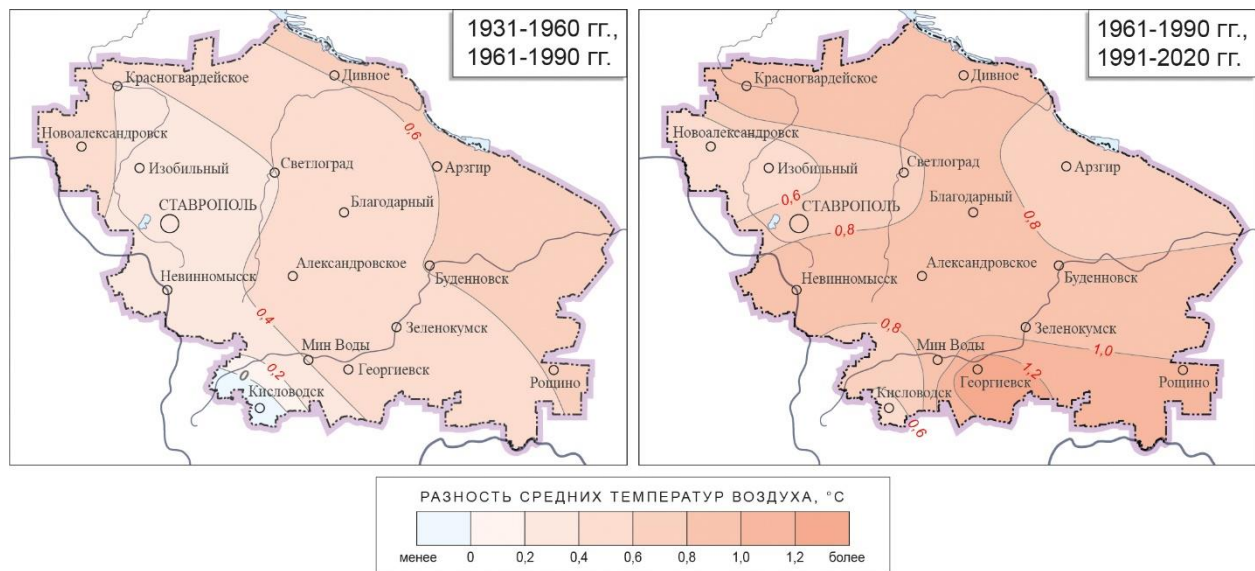


Рис. 2. Отклонение средних годовых температур воздуха относительно предыдущего 30-летнего периода: 1931–1960 гг. и 1961–1990 гг.; 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг.

Fig. 2. Deviation of average annual air temperatures relative to the previous 30-year period: 1931–1960 and 1961–1990; 1961–1990 and 1991–2020

Рост среднегодовой температуры подтверждается формой кривой скользящих 5-летних значений и соответствующего уравнения регрессии $y = 0,0271x - 0,4638$, ($R^2 = 0,5706$), где x – скользящее 5-летнее значение, y – расчётная годовая температура, °С). Если темпы прироста годовой температуры, отмечавшиеся за период 1961–2020 гг. сохранятся, то прирост температуры за период 2021–2050 гг. может составить +0,6 °С, относительно текущей климатической нормы (1991–2020 гг.).

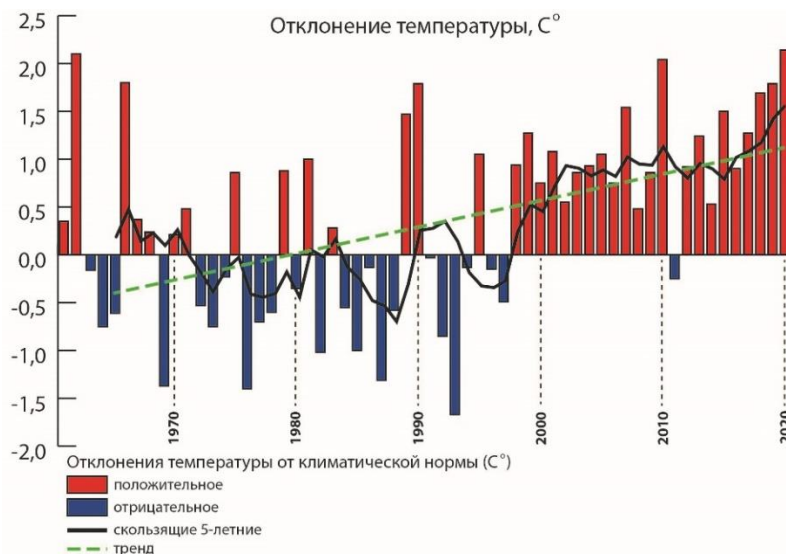


Рис. 3. Отклонение среднегодовой температуры воздуха за период 1961–2020 гг. относительно периода 1961–1990 гг.

Fig. 3. Deviation of the average annual air temperature for the period 1961–2020 relative to the period 1961–1990

В Ставропольском крае отмечается неравномерное распределение внутригодового прироста температуры за последние 30 лет (рис. 4, 5). Наименьший прирост, а по многим метеостанциям и снижение температуры, наблюдается в первые два месяца холодного и тёплого периодов года. Наиболее выражен этот процесс в ноябре, когда по всем метеостанциям края наблюдается снижение температуры, местами до $-0,6$ °С. Остальные месяцы года характеризуются выраженным приростом среднемесячной температуры, наиболее сильным в январе, феврале, марте и августе (на ряде метеостанций от $+1,8$ до $+2,0$ °С) и в октябре (от $+1,4$ до $+1,6$ °С), по остальным месяцам прирост на большей части территории края не превышает 1 °С.

Чёткой территориальной закономерности в распределении прироста температур не наблюдается.

Одним из основных лимитирующих факторов эффективности возделывания продукции растениеводства является влагообеспеченность территории. Осадки и специализация стали основными факторами, определяющими выделение на территории Ставропольского края 4 сельскохозяйственных зон: крайне засушливой, засушливой, неустойчивого и достаточного увлажнения (рис. 1).

Анализ отклонений годовой суммы осадков на территории Ставропольского края не позволяет выявить достоверной тенденции их изменения, поскольку отмечаются их значительные флуктуации по годам (рис. 6). При этом хорошо детектируются периоды с преобладанием как положительных отклонений (1987–1997 гг., 2009–2013 гг.), так и отрицательных (1962–1979 гг., 2018 г. по настоящее время), причём в отдельные годы недобор годовых сумм осадков в среднем по краю составляет 30 % (например, 2020 г.) (рис. 6).

Для аграрных регионов важное значение имеет не только годовая сумма осадков, но и её распределение в течение года, поскольку, количество осадков в отдельные месяцы напрямую коррелирует с продуктивностью сельскохозяйственных культур и как следствие влияет на структуру посевных площадей. За последние 30 лет отмечается незначительный (до 10–20 мм) прирост осадков за холодный период года. В тёплый период года наблюдается снижение количества осадков (на 10–20 мм) в северной и юго-восточной частях края, на остальной территории наблюдается небольшой прирост (рис. 7).

Анализ отклонения месячных сумм осадков показал, что наибольший прирост месячной суммы осадков в среднем по территории края за период 1991–2020 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. выявлен в марте (+39 %), октябре (+35 %), сентябре (+14 %). При этом значительное снижение количества осадков отмечается в августе (-20 %), июне, декабре (по -6 %) и июле (-5 %).

Выявленные особенности изменения влагообеспеченности территории Ставропольского края остаются благоприятными для возделывания озимой пшеницы, ведущей в крае сельскохозяйственной культуры, о чем свидетельствуют рекордные урожаи зерна озимой пшеницы за последние годы (2016 г. – 7,6 млн т).

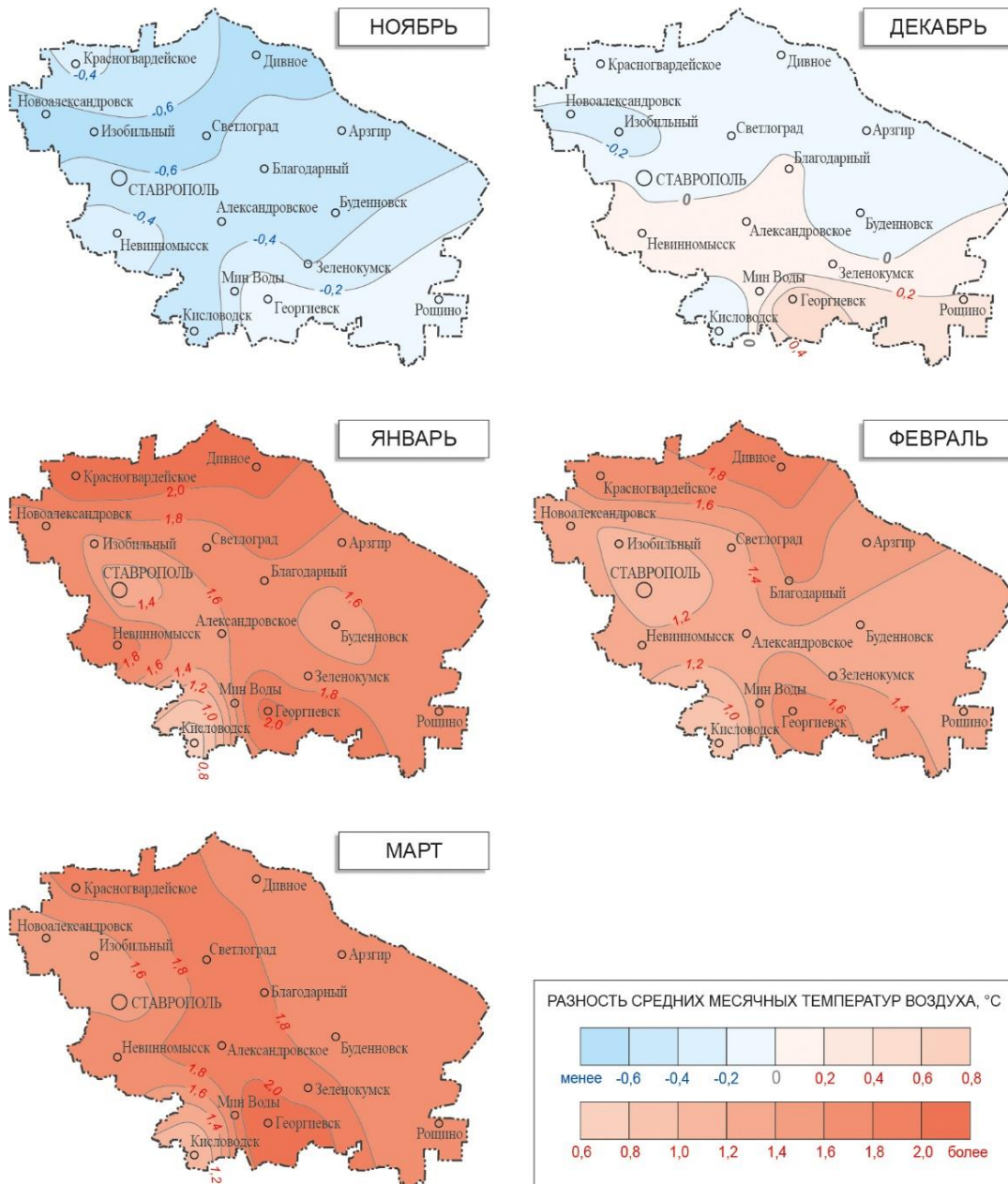


Рис. 4. Отклонение средних месячных температур воздуха за период 1991–2020 гг. относительно периода 1961–1990 гг. (холодный период года)

Fig. 4. Deviation of average monthly air temperatures for the period 1991–2020 relative to the period 1961–1990 (cold season)

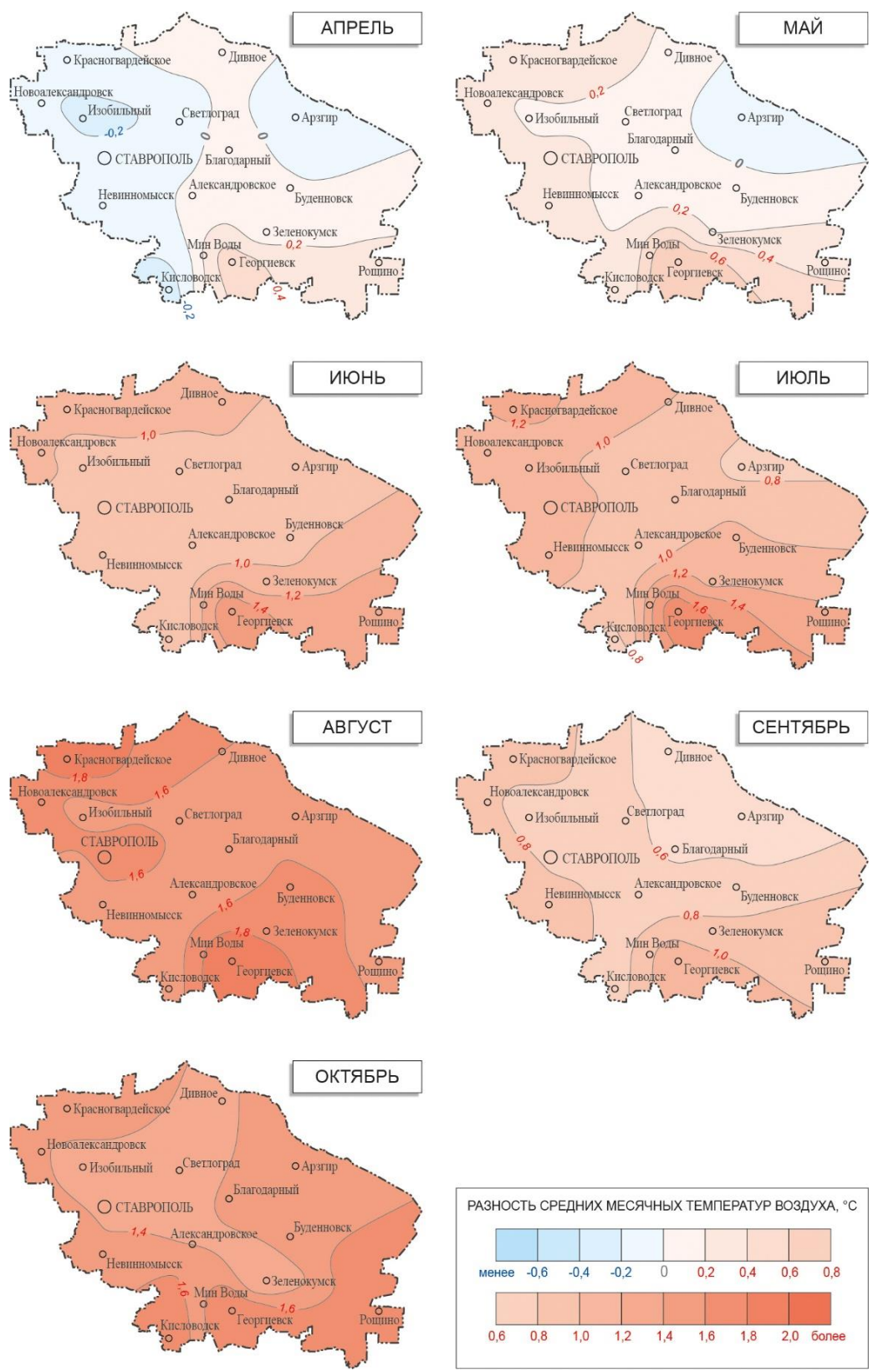


Рис. 5. Отклонение средних месячных температур воздуха за период 1991–2020 гг. относительно периода 1961–1990 гг. (тёплый период года)

Fig. 5. Deviation of average monthly air temperatures for the period 1991–2020 relative to the period 1961–1990 (warm season)

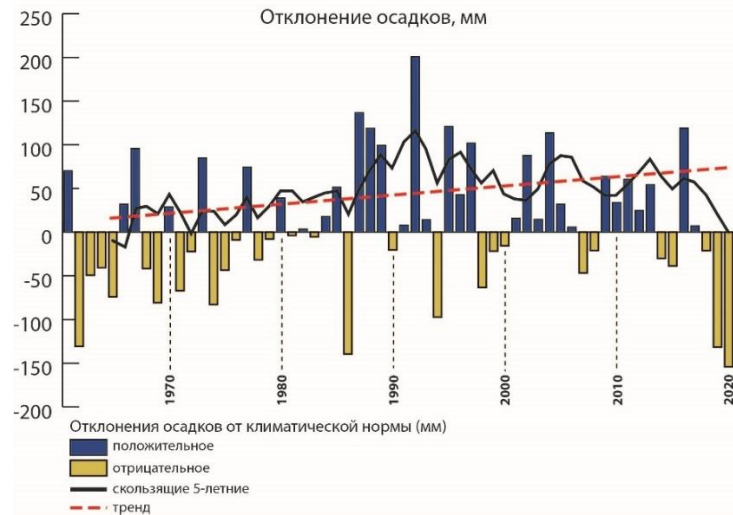


Рис. 6. Отклонение годовой суммы осадков за период 1961–2020 гг. относительно периода 1961–1990 гг.

Fig. 6. Deviation of the annual precipitation for the period 1961–2020 relative to the period 1961–1990

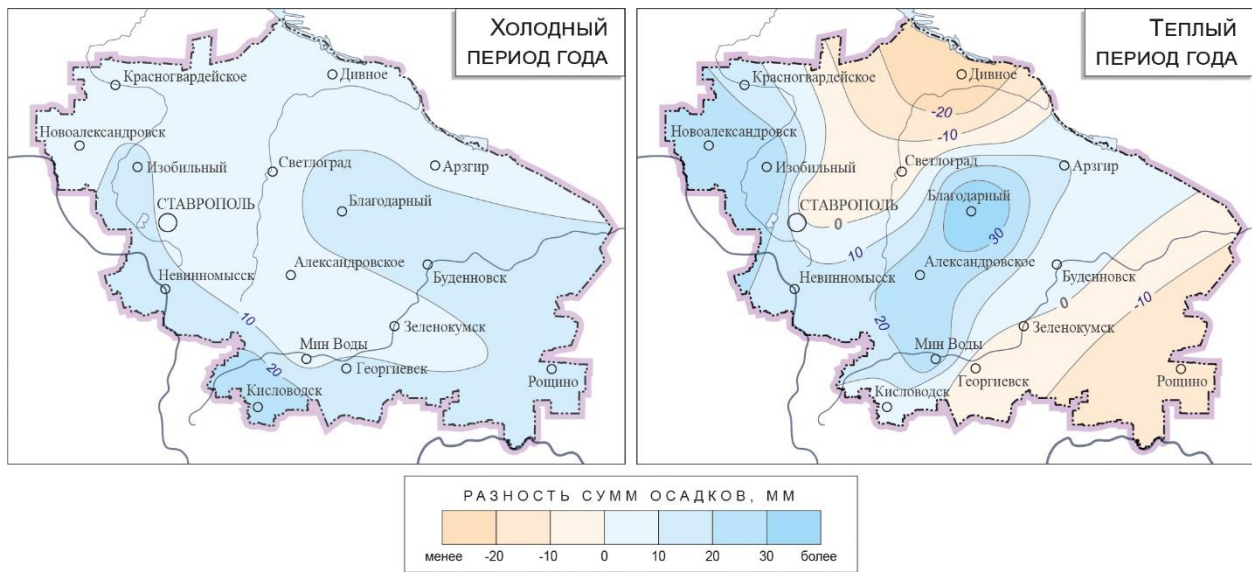


Рис. 7. Отклонение средних годовых сумм осадков за период 1991–2020 гг. относительно периода 1961–1990 гг.

Fig. 7. Deviation of average annual precipitation amounts for the period 1991–2020 relative to the period 1961–1990

По данным ООН, засухи входят в тройку крупнейших стихийных бедствий наряду с тропическими циклонами и наводнениями [Бедрицкий, 1997]. В засушливых степных районах Юга России одной из основных причин опустынивания и деградации земель являются часто повторяющиеся длительные засухи. По данным многолетних наблюдений за период 1961–2020 гг. установлено что, в 85% лет минимум на одной метеостанции Ставропольского края отмечается одномесечная засуха. Она в зависимости от времени проявления и охвату территории может нанести значительной ущерб сельскому хозяйству. Крайне неблагоприятные 5-месячные засухи случаются в отдельные годы в засушливой и крайне засушливой зонах края, и могут провоцировать целый комплекс неблагоприятных

явлений, таких как суховеи и пыльные бури. Например, в 1969 г. в Ставропольском крае отмечались сильнейшие пыльные бури, в результате которых погибло 758 тыс. га посевов. Благодаря использованию системы полезащитных лесных насаждений удалось значительно снизить их негативное влияние.

Путем анализа климадиаграмм, построенных по методу Вальтера-Госсена с помощью автоматизированной информационной системы «АГРО-КЛИМАТ» [Walter, 1972; Антонов, Барсуков, 2017], была вычислена среднегодовая продолжительность засух.

Среднегодовая продолжительность засух, осреднённая по 20-летним периодам, имеет чётко выраженный рост с юго-запада на северо-восток и восток края. За последние 22 года произошло достаточно быстрое повышение среднегодовой и большей части среднемесячных температур воздуха, что привело к значительному увеличению длительности засух в центре и особенно на востоке края (рис. 8). Засушливые явления чаще и дольше стали наблюдаться даже в предгорьях и на территории Кавказских Минеральных Вод, где в течении прошлого века отмечались крайне редко.

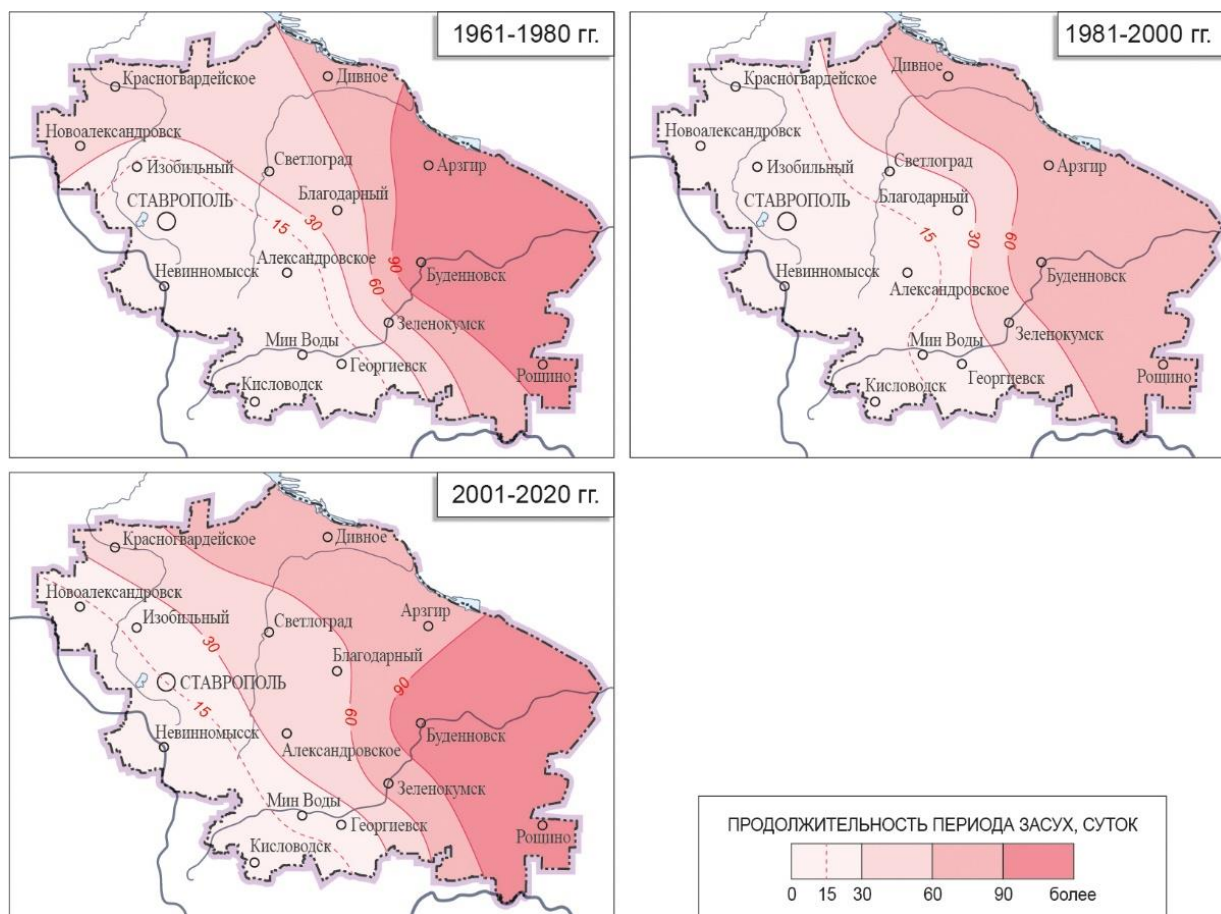


Рис. 8. Продолжительность среднегодовых периодов засух за 1961–2020 гг., усреднённые за 20-летия

Fig. 8. Duration of average annual periods of droughts for 1961–2020, 20 years periods

ВЫВОДЫ

В Ставропольском крае отмечается региональные особенности изменения климата, характеризующиеся ростом теплообеспеченности практически по всем месяцам и значительными колебаниями влагообеспеченности, что приводит к увеличению общей засуш-

ливости климата края и росту вероятности возникновения таких неблагоприятных явлений как засухи, суховеи и пыльные бури. В связи с этим необходимо разрабатывать направления адаптации сельскохозяйственного производства к выявленным и прогнозируемым изменениям.

Климатические карты, созданные в процессе исследования с помощью метода интерполяции «Natural Neighbor», могут быть использованы в ближайшие 30 лет для поддержки принятия решений в области адаптации к климатическим изменениям на территории Ставропольского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов С.А. Динамика агроклиматических ресурсов агроландшафтов Ставропольского края и направления оптимизации систем земледелия: дис. ... канд. геогр. наук. Ставрополь, 2009.
2. Антонов С.А., Барсуков М.Г. Автоматизированная информационная система «АГРО-КЛИМАТ». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017664116, 18.12.2017. Заявка № 2017660850 от 26.10.2017.
3. Бедрицкий А.И. О влиянии погоды и климата на устойчивость и развитие экономики. Метеорология и гидрология, 1997. № 10. С. 5–11.
4. Божилкина Е.А., Сорокина В.Н., Салихова Н.З. Картографирование изменений температурного режима на Европейской территории России за разные временные периоды (1881–1935 гг. и 1961–1990 гг.). Геодезия и картография, 2014. № 2. С. 27–35. DOI: 10.22389/0016-7126-2014-884-2-27-35.
5. Божилкина Е.А., Сорокина В.Н., Торопов П.А., Васильев П.В. Картографирование температурных аномалий за период 1991–2010 гг. на Европейской территории России. Геодезия и картография, 2016. № 7. С. 15–24. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-913-7-15-24.
6. Гордеев А.В. и др. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / под ред. А.В. Гордеева. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 508 с.
7. Груза Г.В., Раньков Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. Метеорология и гидрология, 2004. № 4. С. 50–65.
8. Ивлиева Н.Г., Манухов В.Ф., Шайкунова Р.Б. Об опыте применения ГИС-технологий для изучения изменений среднегодовой температуры воздуха на территории Европейской части России ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 2. С. 121–132. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-121-132.
9. Калинин В.Г., Суманеева К.И., Русаков В.С. Анализ методов интерполяции пространственного распределения метеорологических характеристик при расчетах весеннего снеготаяния. Географический вестник (Geographical bulletin), 2017. №2 (41). С. 126–137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-126-137.
10. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Оценка методов пространственной интерполяции метеорологических данных. Общество. Среда. Развитие, 2018. № 1. С. 144–151.
11. Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C approved by governments: IPCC press release. Электронный ресурс: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf (дата обращения: 10.11.2020).

12. *Varentsov M., Esau I., Wolf T.* High-Resolution Temperature Mapping by Geostatistical Kriging with External Drift from Large-Eddy Simulations. *Mon. Weather Rev.* 2020. V. 148. No 3. P. 1029–1048.
13. *Walter H.* Die vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Band I: Die tropischen und subtropischen Zonen. VEB Gustav Verlag Jena, 1972. 592 p.

REFERENCES

1. *Antonov S.A.* Dynamics of the Stavropol Territory landscapes agroclimatic resources and optimization directions of farming systems: thesis PhD of geographical sciences. Stavropol, 2009 (in Russian).
2. *Antonov S.A., Barsukov M.G.* Automated information system "AGRO-CLIMATE." Certificate of program registration for computer RU 2017664116, 18.12.2017. Application No. 2017660850 dated 26.10.2017 (in Russian).
3. *Bedritsky A.I.* On the impact of weather and climate on the sustainability and development of the economy. *Meteorology and Hydrology*, 1997. No 10. P. 5–11 (in Russian).
4. *Bozhilina E.A., Sorokina V.N., Salikhova N.Z.* Mapping of temperature changes in the European territory of Russia for different time periods (1881–1935 and 1961–1990). *Geodesy and cartography*, 2014. No 2. P. 27–35. DOI: 10.22389/0016-7126-2014-884-2-27-35 (in Russian).
5. *Bozhilina E.A., Sorokina V.N., Toropov P.A., Vasilev P.V.* Mapping temperature anomalies for the period 1991–2010 years in the European territory of Russia. *Geodesy and Cartography*, 2016. No 7. P. 15–24. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-913-7-15-24 (in Russian).
6. *Gordeev A.V. and others.* Bioclimatic potential of Russia: theory and practice. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2006. 508 p. (in Russian).
7. *Gryza G.V., Rankov E.Ya.* Climate change detection: state, variability and extremity of climate. *Meteorology and Hydrology*, 2004. No 4. P. 50–65 (in Russian).
8. *Ivlieva N.G., Manukhov V.F., Shaykunova R.B.* About the experience of GIS technologies application for the study of changes of the mean annual air temperature on the territory of the European part of Russia InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 2. P. 121–132. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-121-132 (in Russian).
9. *Kalinin V.G., Sumaneeva K.I., Rusakov V.S.* Interpolation of meteorological characteristics spatial distribution for spring snowmelt: analysis of methods. *Geographical bulletin*, 2017. No 2 (41). P. 126–137. DOI 10.17072/2079-7877-2017-2-126-137 (in Russian).
10. *Kryukova S.V., Simakina T.E.* Assessment of meteorological data spatial interpolation methods. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye. Society. Environment. Development*, 2018. No 1. P. 144–151 (in Russian).
11. Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C approved by governments: IPCC press release. Электронный ресурс: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf (дата обращения: 10.11. 2020).
12. *Varentsov M., Esau I., Wolf T.* High-Resolution Temperature Mapping by Geostatistical Kriging with External Drift from Large-Eddy Simulations. *Mon. Weather Rev.* 2020. V. 148. No 3. P. 1029–1048.
13. *Walter H.* Die vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Band I: Die tropischen und subtropischen Zonen. VEB Gustav Verlag Jena, 1972. 592 p.