



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.1.5>

UDC 55

LBC 26.8

MATHEMATICAL-CARTOGRAPHIC MODELING OF CLIMATE DYNAMICS IN THE ROSTOV REGION USING GLOBAL METEOROLOGICAL DATA¹

Stefan Matveev

Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The scientific work presents mathematical and cartographic modeling of the climate dynamics of the Rostov region using the global meteorological product CRU TS version 4.06 in the period from 2020 to 2040. The work used CRU TS global climate data from 1960 to 2020 to model data for 2030 and 2040. A technique for mathematical-cartographic modeling of climate dynamics based on global climate products is presented. Using the geographic information system QGIS version 3.18, raster images were vectorized, which made it possible to export them to a MS Excel spreadsheet. Based on the data obtained, 2 tables were prepared. One includes actual data for 2020 and modeling data in terms of the average annual air temperature for 2030 and 2040 for the municipal districts of the Rostov region. The second table includes actual data for 2020 and simulation data in terms of the average annual air temperature for 2030 and 2040 for the urban districts of the Rostov region. The relationship between actual data for 2020 and data for 2030 and 2040 does not exceed 10%. This allows us to say that a stable climate has been established on the territory of the Rostov region, which is not subject to serious climatic changes in the future. According to the actual data and simulation data, maps were created and compiled using the interpolation method of inversely weighted distances in terms of the average annual air temperature for 2020, 2030, and 2040.

Key words: Rostov region, GIS technologies, climate modeling, cartography, global climate data.

Citation. Matveev S. Mathematical-Cartographic Modeling of Climate Dynamics in the Rostov Region Using Global Meteorological Data. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2022, vol. 13, no. 1, pp. 31-38. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.1.5>

УДК 55

ББК 26.8

МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КЛИМАТА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ГЛОБАЛЬНЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ¹

Штефан Матвеев

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В научной работе представлено математико-картографическое моделирование динамики климата Ростовской области с использованием глобального метеорологического продукта CRU TS версии 4.06 в период с 2020 по 2040 год. В работе для моделирования данных на 2030 и 2040 гг. использовались глобальные климатические данные CRU TS с 1960 по 2020 год. Представлена методика математико-картографического моделирования динамики климата по глобальным климатическим продуктам. С помощью геоинформационной системы QGIS версии 3.18 были векторизованы растровые изображения, что позволило экспортировать их в таблицу MS Excel. По полученным сведениям подготовлены 2 таблицы. Одна включает в себя фактические данные за 2020 г. и данные моделирования по показателю среднегодовой температуры воздуха на 2030 и 2040 гг. по муниципальным округам Ростовской области. Вторая таблица включает в себя фактические данные за 2020 г. и данные моделирования по показателю среднегодовой температуры воздуха на 2030 и 2040 гг. по городским округам Ростовской области. Отношения между фактическими данными за

2020 г. и данными за 2030 и 2040 гг. не превышают 10 %. Что позволяет сказать, что на территории Ростовской области установлен устойчивый климат. По фактическим данным и данным моделирования были созданы и скомпонованы карты с помощью интерполяции методом обратно-взвешенных расстояний по показателю среднегодовой температуры воздуха на 2020, 2030, 2040 годы.

Ключевые слова: Ростовская область, ГИС-технологии, моделирование климата, картография, глобальные климатические данные.

Цитирование. Матвеев Ш. Математико-картографическое моделирование динамики климата Ростовской области по глобальным метеорологическим данным // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 31–38. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.1.5>

ГИС-технологии в настоящее время являются мощным средством получения информации о текущем регионе либо конкретной местности [2; 5; 7; 8]. Особую популярность ГИС приобретает в современных климатических исследованиях из-за широкого инструментария, а также привязке к определенной местности [1; 3; 4].

Целью настоящей работы является моделирование климатических данных на территорию Ростовской области с использованием глобальных климатических данных, а также создание климатических карт по данным моделирования с применением ГИС. От климата напрямую зависят как развитие отраслей сельского хозяйства, так и промышленности. В связи с этим необходимы долгосрочный мониторинг и прогнозирование климата с привязкой к конкретным территориям.

Материалы и методы исследования. Процессы математико-картографического моделирования динамики климата Ростовской области проходили в двух программах – QGIS 3.18 (геоинформационная система) и MS Excel (для работы с электронными таблицами).

Для наиболее качественного моделирования необходима большая база информации, то есть, чем больше база данных по прошедшим измерениям, тем моделирование будет происходить точнее, без аномальных значений. Для дальнейшего моделирования на 2021–2040 гг. в работе использовались климатические данные по параметру среднегодовой температуры воздуха с 1960 по 2020 год.

В настоящей работе основным источником климатической информации для математико-картографического моделирования динамики климата Ростовской области является глобальный климатический продукт CRU TS версии 4.06 [6; 9].

Данные CRU TS интегрируются в геоинформационную систему QGIS и представляют собой один растр с информацией в каждом пикселе о среднегодовой температуре воздуха на территорию данного пикселя. Для дальнейшего моделирования данные необходимо экспортировать в табличные значения.

Один из способов экспорта растровых значений в таблицу – это метод создания центроидов. Он заключается в том, что на территорию, которую необходимо экспортировать создается векторная полигональная сетка с размером пикселя CRU TS – $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. После этого к каждой ячейке векторной сетки создается точечный векторный слой центроида с помощью инструмента «Центроиды». Центроиды необходимы, чтобы к каждой точке векторного слоя могли быть привязаны климатические характеристики из каждого пикселя растровых данных CRU TS.

Инструмент «растр в вектор» позволяет каждое растровое изображение в период с 1960 по 2020 г. преобразовать в отдельный полигональный векторный слой границ пикселя CRU TS с значением среднегодовой температуры воздуха.

Каждый полигональный вектор в период с 1960 по 2020 г. необходимо присоединить к вектору центроидов с помощью инструмента работы с вектором «Присоединить атрибуты по пространственному положению». Это позволяет записать значения среднегодовой температуры воздуха с 1960 по 2020 к точечному слою центроидов.

После присоединения атрибутов к центроидам у каждого центроида в атрибутах имеется значение года и самого климатического параметра.

После проведенных действий данный слой центроидов можно экспортировать в таб-

лицу MS Excel. С помощью функции «Лист прогноза» были спрогнозированы климатические показатели среднегодовой температуры воздуха с 2021 по 2040 год. Прогноз проводился на основе климатических данных CRU TS за 1960–2020 годы. Получившаяся таблица с климатическими данными за 1960–2020 гг. и с прогнозными данными за 2021–

2040 гг. была экспортирована обратно в ГИС для дальнейшего моделирования.

Результаты и обсуждение. С помощью инструмента «Зональная статистика» было выявлено среднее значение в пределах пикселей CRU TS и прогнозных данных по муниципальным районам Ростовской области. В таблицах 1–2 представлено сравнение фак-

Таблица 1

Моделирование среднегодовой температуры воздуха (°C) на территории Ростовской области по муниципальным районам по данным CRU TS

Муниципальный район	2020	2030	2040
Азовский район	11.41	12.09	12.40
Аксайский район	11.51	12.30	12.61
Багаевский район	11.38	11.99	12.45
Белокалитвинский район	11.37	11.93	12.46
Боковский район	11.47	12.11	12.55
Верхнедонской район	11.53	12.23	12.64
Веселовский район	10.97	11.39	12.04
Волгодонской район	10.86	11.25	11.94
Дубовский район	10.63	10.99	11.74
Егорлыкский район	11.68	12.37	12.84
Заветинский район	11.45	12.05	12.54
Зерноградский район	11.17	11.64	12.23
Зимовниковский район	11.54	12.23	12.68
Кагальницкий район	11.40	11.94	12.48
Каменский район	11.74	12.36	12.77
Кашарский район	11.15	11.53	12.19
Константиновский район	11.26	11.74	12.33
Красносулинский район	11.55	12.21	12.67
Куйбышевский район	11.46	11.98	12.51
Мартыновский район	11.68	12.33	12.76
Матвеево-Курганский район	10.74	11.08	11.81
Миллеровский район	11.51	12.10	12.59
Милютинский район	11.27	11.75	12.35
Морозовский район	11.44	12.00	12.51
Мясниковский район	11.40	11.93	12.47
Неклиновский район	11.30	11.80	12.37
Обливский район	11.12	11.56	12.19
Октябрьский район	11.15	11.60	12.24
Орловский район	11.69	12.27	12.73
Песчанокопский район	11.59	12.18	12.64
Пролетарский район	11.69	12.27	12.71
Ремонтненский район	10.89	11.29	11.98
Родионово-Несветайский район	11.02	11.44	12.10
Сальский район	11.74	12.34	12.73
Семикаракорский район	11.65	12.22	12.69
Советский район	11.55	12.26	12.70
Тарасовский район	11.56	12.15	12.62
Тацинский район	11.47	12.02	12.53
Усть-Донецкий район	11.44	11.94	12.45
Целинский район	11.73	12.28	12.73
Цимлянский район	11.60	12.16	12.57
Чертковский район	11.48	11.95	12.43
Шолоховский район	11.57	12.12	12.55

тических данных среднегодовой температуры воздуха по продукту CRU TS за 2021 г. с данными за 2030 и 2040 годы.

Полученные данные показывают, что отношение смоделированных данных на 2030 г. и фактических данных за 2020 г. не превышает 6 %. Отношение смоделированных данных на 2040 г. и фактических данных за 2020 г. не превышает 9 %.

Полученные данные показывают, что отношения смоделированных данных на 2030 г. и фактических данных за 2020 г. не превышают 4 %. Отношение смоделированных данных на 2040 г. и фактических данных за 2020 г. не превышает 10 %.

Для создания климатических карт были выбраны 3 климатических периода: фактические данные за 2020 г., данные моделирования на 2030 и 2040 годы.

Для разработки климатических карт региона необходимо было провести интерполяцию для выявления интерполированных поверхностей. Интерполяция проводилась в геоинформационной среде QGIS 3.18 с помощью инструмента «Интерполяция методов ОВР».

Интерполяция позволяет заполнить пустые (значения без данных) значения с помощью известных точечных значений, используя математические действия.

Полученные данные интерполяции методом ОВР можно классифицировать. Данные разбиваются по классам на диапазоны значений и к каждому классу присваивается свое значение цвета.

С помощью генератора геометрии были исключены те изолинии, которые затрудняли визуальное восприятие полученных растров, а именно в местах расположения точечных данных в виде центроидов. Это одна из особенностей интерполяции методом обратно-взвешенных расстояний. Она заключается в том, что максимальный «вес» точки приходится на центроид, из которого брались значения пикселя CRU TS, а вокруг этого центроида образуются изолинии, ограничивающие визуальное ориентирование на карте.

Создается единый макет для составления и компоновки климатических карт. Подбирается общая система координат, строится масштабная линейка, составляется легенда карты.

Созданные карты представлены на рисунках 1–3.

Карты, созданные по данным моделирования за 2030 и 2040 гг., позволяют понять, что среднегодовая температура воздуха на территории Ростовской области не превышает 10 % от значений 2020 г., что свидетельствует о незначительной динамике климата, подверженной глобальному потеплению.

Заключение. Проведя математико-картографическое моделирование динамики климата Ростовской области, можно заметить, что регион не подвержен серьезным климатическим изменениям в будущем, что, в свою очередь, позволяет сказать, что у региона имеется устойчивый климат.

Таблица 2

Моделирование среднегодовой температуры воздуха (°С) на территории Ростовской области по городским округам по данным CRU TS

Городской округ	2020	2030	2040
городской округ Азов	11.31	11.85	12.40
городской округ Батайск	11.13	11.60	12.20
городской округ Волгодонск	11.40	11.98	12.48
городской округ Гуково	10.65	11.00	11.74
городской округ Донецк	10.93	11.39	12.05
городской округ Зверево	10.74	11.10	11.81
городской округ Каменск-Шахтинский	11.66	12.39	12.90
городской округ Новочеркасск	11.16	11.60	12.22
городской округ Новошахтинск	11.77	12.35	12.75
городской округ Ростов-на-Дону	11.48	12.12	12.55
городской округ Таганрог	11.36	11.88	12.43
городской округ Шахты	10.84	11.23	11.92

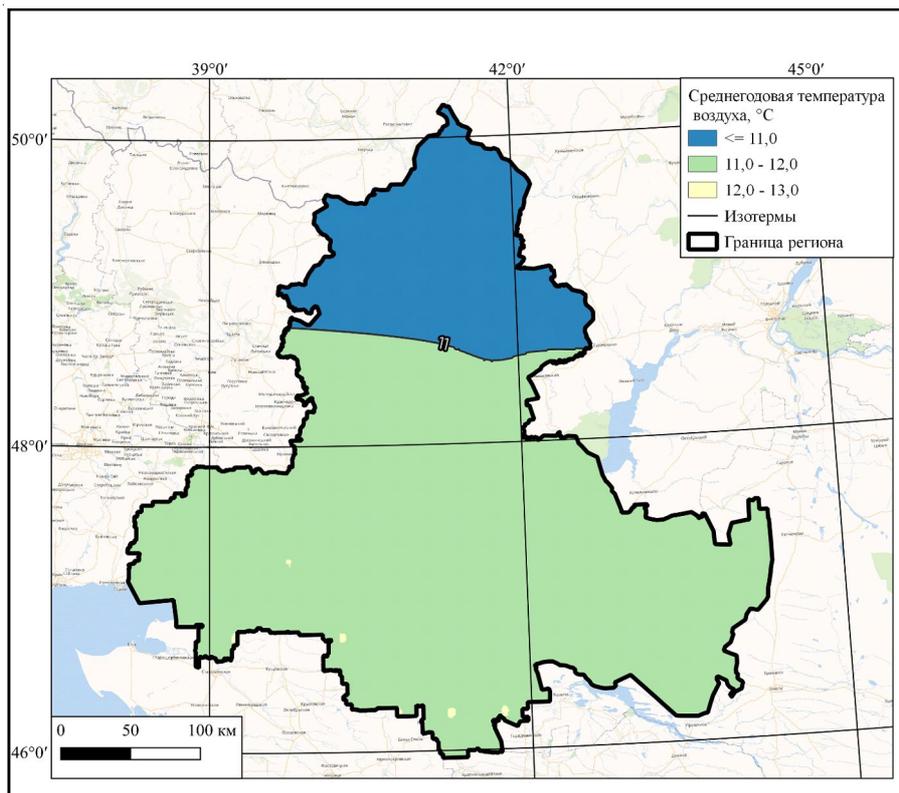


Рис. 1. Карта среднегодовой температуры воздуха за 2020 г. на территорию Ростовской области по данным CRU TS

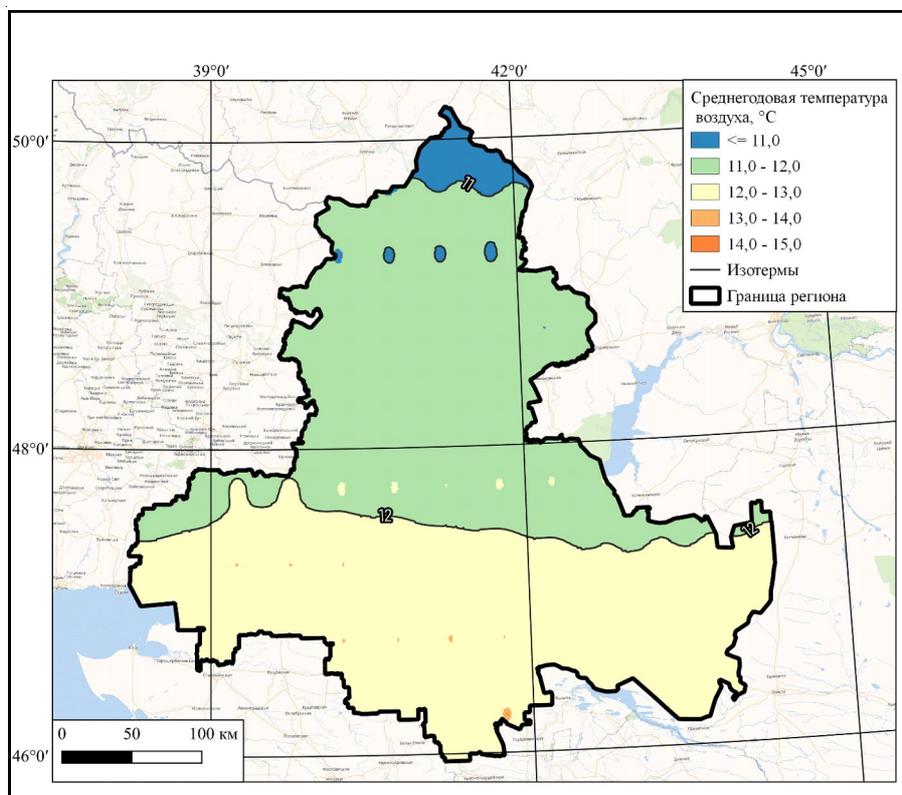


Рис. 2. Карта среднегодовой температуры воздуха за 2030 г. на территорию Ростовской области по данным CRU TS

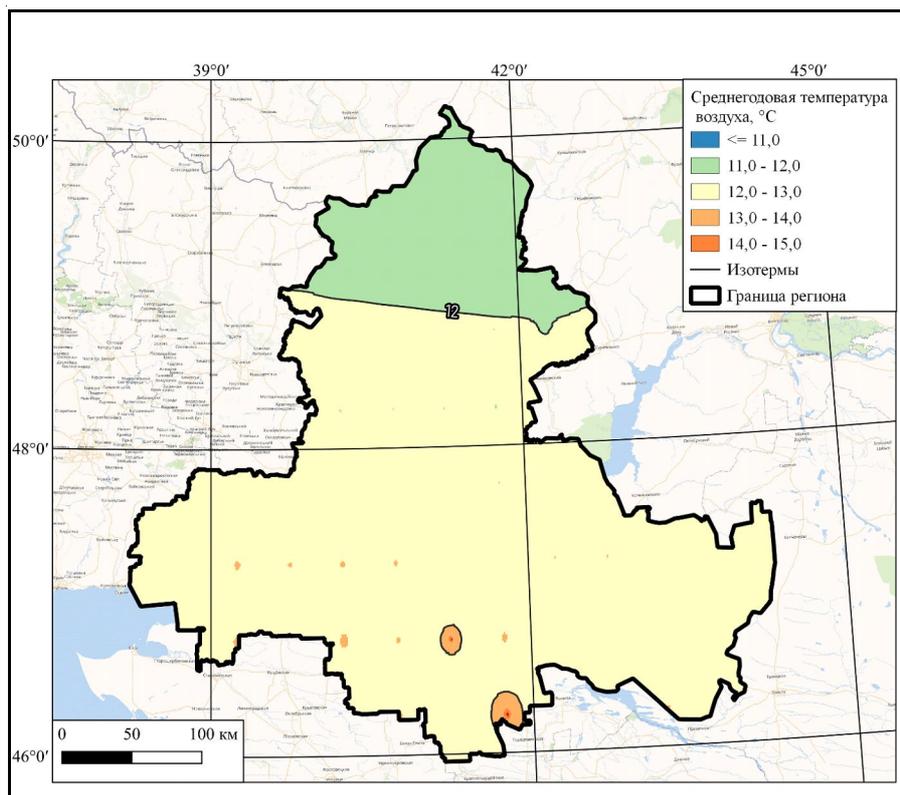


Рис. 3. Карта среднегодовой температуры воздуха за 2040 г. на территорию Ростовской области по данным CRU TS

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100311-3 «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях».

This work was carried out within the framework of the state task of research in the FSC of Agroecology RAS No. 122020100311-3 “Theoretical foundations for the functioning and natural-anthropogenic transformation of agroforestry landscape complexes in transitional natural-geographical zones, patterns and forecast of their degradation and desertification based on geoinformation technologies, aerospace methods and mathematical-cartographic modeling in modern conditions”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берденгалиев, Р. Н. Влияние климатических факторов на динамику ландшафтных пожаров

в пойме Нижнего Дона / Р. Н. Берденгалиев, Ш. Матвеев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – № 11–1 (74). – С. 81–83. – DOI: 10.24412/2500-1000-2022-11-1-81-83

2. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации / В. Г. Юферев [и др.]. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 2010. – 102 с.

3. Дорошенко, В. В. Определение тренда режима осадков и температурного режима на территории полуострова Крым при прогнозировании их динамики / В. В. Дорошенко // Материалы Научной сессии. В 2 т. Направления: XII. Естественные науки. (г. Волгоград, 22–26 апр. 2019 г.). Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2019. С. 239–242.

4. Корец, М. А. Пространственно-временная динамика температур воздуха и количества осадков на основе данных Climatic Research Unit (Cru Ts V. 3.22) за период 1931–2010 для территории ключевых притоков р. Енисей / М. А. Корец, А. С. Прокушкин // Лесные экосистемы boreальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски : материалы Всерос. конф. с междунар. участием (г. Красноярск, 26–31 августа 2019 года). Красноярск : Ин-т леса СО РАН, 2019. С. 193–195.

5. Кулик, К. Н. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикас-

пия / К. Н. Кулик [и др.] // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 2 (83). – С. 16–24.

6. Матвеев, Ш. Оценка точности глобальных климатических данных температур воздуха Cru TS на территории Ростовской области / Ш. Матвеев // Грани познания. – 2022. – № 3 (80). – С. 88–92.

7. Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами / А. М. Пугачева [и др.] // Аридные экосистемы. – 2022. – Т. 28, № 4 (93). – С. 13–21. – DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-13-21

8. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019–2022 гг. / С. С. Шинкаренко [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 5. – С. 319–327. – DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327

9. High-Resolution Gridded Datasets. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

REFERENCES

1. Berdengaliev R.N., Matveev Sh. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na dinamiku landshaftnykh pozharov v pojme Nizhnego Dona [Influence of Climatic Factors on the Dynamics of Landscape Fires in the Floodplain of the Lower Don]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2022, no.11-1 (74), pp. 81-83. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-11-1-81-83

2. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., et al. *Geoinformatsionnye tehnologii v agrolesomelioratsyi* [Geoinformation Technologies in Agroforestry]. Volgograd, VNIALMI Publ., 2010. 102 p.

3. Doroshenko V.V. Opredelenie trenda rezhima osadkov i temperaturnogo rezhima na territorii poluostrova Krym pri prognozirovanii ih dinamiki [Determining the Trend of Precipitation and Temperature Regime on the Territory of the Crimean Peninsula When Predicting Their Dynamics]. *Materialy Nauchnoj sessii. V 2 t. Napravleniya: XII. Estestvennyye nauki. (g. Volgograd, 22–26 apr. 2019 g.)* [Proceedings of the Scientific Session. In 2 Vols. Directions: XII. Natural Sciences (Volgograd, April 22–26, 2019)]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2019, pp. 239-242.

4. Korec M.A., Prokushkin A.S. Prostranstvenno-vremennaja dinamika temperatur vozduha i kolichestva osadkov na osnove dannyh Climatic Research Unit (Cru Ts V. 3.22) za period 1931-2010 dlja territorii kljuчевykh pritokov r. Enisej [Spatio-Temporal Dynamics of Air Temperatures and Precipitation Based on Data from the Climatic Research Unit (Cru Ts V. 3.22) for the Period 1931–2010 for the Territory of Key Tributaries of the Yenisei]. *Lesnye jekosistemy boreal'noj zony: bioraznoobrazie, biojekonomika, jekologicheskie riski: materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Forest Ecosystems of the Boreal Zone: Biodiversity, Bioeconomy, Environmental Risks: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation]. Krasnojarsk, In-t lesa SO RAN, 2019, pp. 193-195.

5. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G. Geoinformatsionnyi analiz opustynivaniia Severozapadnogo Prikaspiia [Geoinformation Analysis of Desertification of the North-Western Caspian]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], 2020, vol. 26, no. 2 (83), pp. 16-24.

6. Matveev Sh. Otsenka tochnosti globalnykh klimaticheskikh dannykh temperatur vozdukhа Cru TS na territorii Rostovskoi oblasti [Estimation of the Accuracy of Global Climatic Data of Air Temperatures Cru TS on the Territory of the Rostov Region]. *Grani poznaniia* [Facets of Knowledge], 2022, no. 3 (80), pp. 88-92.

7. Pugacheva A.M., Belyaev A.I., Trubakova K.Yu., Romadina O.D. Regional'nye izmeneniya klimata v suhikh stepyah i ih svjaz' s zasuhami [Regional Climate Changes in Dry Steppes and Their Connection with Droughts]. *Aridnye jekosistemy* [Arid Ecosystems], 2022, vol. 28, no. 4 (93), pp. 13-21. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-13-21

8. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengaliyeva A.N., Doroshenko V.V. Sputnikovyy monitoring processov opustynivaniya na juge Evropejskoj Rossii v 2019-2022 gg. [Satellite Monitoring of Desertification Processes in the South of European Russia in 2019–2022]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], 2022, vol. 19, no. 5, pp. 319-327. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327

9. High-Resolution Gridded Datasets. URL: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

Information About the Author

Stefan Matveev, Laboratory Assistant, Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes, Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Prosp. Universitetsky, 97, 400062 Volgograd, Russian Federation, matveev-sh@vfanc.ru

Информация об авторе

Штефан Матвеев, лаборант-исследователь лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, просп. Университетский, 97, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, matveev-sh@vfanc.ru