



Научная статья
УДК 551.577.38
doi: 10.55186/25876740_2023_66_1_70

АНАЛИЗ ИНДЕКСА ЗАСУШЛИВОСТИ КЛИМАТА ТЕРРИТОРИЙ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

С.Н. Волков, С.А. Крючков, Э.Э. Мамедова

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. На основе данных Службы по изучению изменения климата Copernicus (C3S) проведен анализ индекса засушливости климата (AI) в летний период для территорий муниципальных образований Тамбовской области. Временной охват 1979-2018 гг. Описан способ расчета индекса AI. Предложена усовершенствованная интерпретация промежуточных значений AI на основе классификации индекса засушливости ЮНЕП. В результате расчета AI определено, что климат в летний период большинства районов Тамбовской области относится к сухому субвлажному с локальными полусухими участками. Среднее значение $AI > 0,5$ зафиксировано в 6 муниципальных образованиях. Максимальный показатель $AI > 0,5$ обнаружен в 18 районах. Определено, что более высокие значения AI наблюдаются в долинах крупных рек южной и центральной частей области. Площадь территорий, на которых зафиксированы значения $AI > 0,5$ составляет 5491,51 кв. км (15,5% от всей области). Наиболее увлажненными районами являются Староурьевский, Первомайский и Никифоровский. Наименее увлажненные — Жердевский, Мучкапский и Уваровский муниципальные образования, а также городской округ Уварово. Определены локальные места наибольших значений AI в ряде районов. Разработаны картосхемы территориальной дифференциации AI для всей Тамбовской области и районов юга и юго-запада отдельно. Высокий AI в муниципальных образованиях, наиболее вероятно, обусловлен особенностью рельефа местности и испарением, однако точные причины возможно определить только с помощью более детальных исследований климата и климатообразующих факторов в летний период и за весь год в целом.

Ключевые слова: индекс засушливости, климат, осадки, потенциальное испарение, Тамбовская область, Copernicus Climate Change Service, The Climate Data Store

Original article

ANALYSIS OF THE CLIMATE ARIDITY INDEX OF THE TAMBOV REGION MUNICIPALITY TERRITORIES IN SUMMER-TIME

S.N. Volkov, S.A. Kryuchkov, E.E. Mamedova

State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Abstract. Based on the data of the Copernicus Climate Change Service (C3S), the analysis of the climate aridity index (AI) in summer-time for the Tambov region municipality territories was carried out. Time coverage 1979-2018. The method of calculating the AI index is described. An improved interpretation of intergraduated AI values based on the UNEP (United Nations Environment Program) dryness index classification is proposed. As a result of the AI calculation, it was determined that the climate in summer-time of most districts of the Tambov region belongs to a dry sub-humid with local semi-arid areas. The average value of $AI > 0.5$ was recorded in 6 municipalities. The maximum AI index > 0.5 was found in 18 districts. It is determined that higher AI values are observed in the valleys of large rivers in the southern and central parts of the region. The square footage was AI values > 0.5 are recorded is 5491.51 sq. km (15.5% of the entire region). The most humidified areas are Staroyuryevsky, Pervomaisky and Nikiforovsky. The least humidified are Zherdevsky, Muchkapsky and Uvarovsky municipalities, as well as the urban district of Uvarovo. The local areas of the highest AI values in a number of districts have been determined. The map charts of AI territorial differentiation have been developed for the entire Tambov region and the districts of the south and southwest separately. The high AI in the municipalities is most likely due to the topographic features and evaporation, however, the precise reasons can only be determined by the means of more detailed studies of the climate and climate-forming factors in summer-time and throughout the year as a whole.

Keywords: aridity index, climate, precipitation, potential evaporation, the Tambov region, Copernicus Climate Change Service, The Climate Data Store

Введение. Исследование засушливости территорий является актуальной проблемой, особенно в условиях глобальных климатических изменений. По данным доклада ООН «Оценка экосистем на пороге тысячелетия», засушливые земли занимают более 41% планеты [10]. В другом документе «Засуха в цифрах 2022» отмечается, что число засух на Земле с 2000 по 2019 гг. увеличилось на 29% и сегодня этот показатель продолжает расти [7].

В 2020-2021 гг. сильным засухам подверглись территории 22 стран, среди которых США, Бразилия и Казахстан. Россия в этот список стран не входит, однако данные, опубликованные в источнике [1], определяют высокую вероятность появления засух и увеличения их повторяемости в России в течение следующих 15 лет.

Засушливость может оказать значительное влияние на земли аграрных регионов, к которым, в частности, относятся и территории Тамбовской области. Вероятность появления засухи в регионе оценивается от 20 до 40% ежегодно,

с проявлением интенсивной засухи — 1 раз в 10-12 лет [3]. Ранее крупные засухи в указанной области фиксировались в 1946, 1972, 1976 и 2010 гг. Они приводили к гибели урожая, резкому увеличению количества насекомых-вредителей и/или вызывали крупные природные пожары [4, 6].

Цель исследования — дать анализ индекса летней засушливости (AI) климата для территорий муниципальных образований Тамбовской области. Для достижения цели решались следующие задачи: описать способ получения данных индекса засушливости климата в летний период (AI) для территорий Тамбовской области; рассмотреть средние, максимальные и минимальные значения AI для каждой территории; разработать картосхему территорий с наиболее высокими значениями AI; дать анализ AI.

Исходные данные. Индекс засушливости (или индекс аридности) AI — это числовой показатель степени сухости (засушливости) климата в определенной местности. Существует

более 50 вариаций расчета AI, представленных в Справочнике по показателям и индексам засушливости ВМО [12]. В исследовании отдается предпочтение AI за летний период, расчет которого выполняет Служба по изучению изменения климата Copernicus (C3S) ЕС, поскольку именно в это время в Тамбовской области наблюдаются самые высокие температуры и наибольшее число дней без осадков. Материалы расчетов AI находятся в свободном доступе и представлены в центре данных The Climate Data Store (CDS) — набор «Уменьшенные биоклиматические показатели для отдельных регионов с 1979 по 2018 год, полученные на основе повторного анализа» [9]. Пространственное разрешение данных 1x1 км. Метеорологические вводные — набор ERA5. Временной интервал — 40 лет (1979-2018 гг.).

AI в летний период определяется соотношением показателей месячных осадков (P) и потенциального испарения (PE), усредненно за июнь, июль и август. Расчет AI за 1 месяц



и в целом за все лето происходит с использованием формул (1) и (2) соответственно. Вычисления проводятся на суперкомпьютерах службы Copernicus.

$$AI_{мес} = \min. (1, \max. (0, (1 - \frac{P_{мес.}}{PE_{мес.}}))) \quad (1)$$

где: $AI_{мес}$ — среднемесячное значение AI; $P_{мес}$ — среднемесячное количество осадков; $PE_{мес}$ — среднемесячное потенциальное испарение [8, с. 28].

$$AI_{лето} = \frac{1}{3} \sum_{мес. = \min(T) - 1}^{\max(T) + 1} AI_{мес} \quad (2)$$

где: $AI_{лето}$ — значение AI за летний период; $\max(T)$ — максимальная температура воздуха; $\min(T)$ — минимальная температура воздуха [8, с. 33].

Значения AI варьируются от 0 (переувлажнение) до 1 (экстремально сухо) [8, с. 24]. Поскольку AI — это экспериментальный показатель, единой интерпретации промежуточных значений в настоящее время не существует. Предлагается интерпретировать данные AI на основе классификации ЮНЕП, 1992 г. [11] с применением инвертирования (табл. 1).

Получение данных AI из The Climate Data Store происходило путем запроса по следующим параметрам: Region — Europe; Origin — ERA5; Variable — Aridity; Derived variable — Warmest quarter; Statistic — Mean; Version — 1.0; Format — zip. Далее CDS формировало файлы для загрузки на ПК. Обработка файлов с данными и разработка картосхем выполнялись в программе QGIS v 2.18.

Достоверность результатов базируется на качестве исходных метеорологических данных для расчета AI, полученных из набора ERA5. Информация в ERA5 поступает из системы E-OBS Европейской службы оценки климата и набора данных (ECA&D), которая обрабатывает показания с более 22600 метеорологических станций по всей Европе и Северной Африке. От России основным оператором данных в систему E-OBS выступает Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), обеспечивающая передачу с большинства подведомственных станций.

На территории Тамбовской области, по состоянию на 1 октября 2022 г., работают 7 метеостанций Росгидромета которые располагаются в Тамбове, Кирсанове, Моршанске, Мичуринске, совхозе им. Ленина, Жердевке [2]. Предполагается, что вблизи перечисленных населенных пунктов метеоданные и, следовательно, расчет AI точнее, чем на отдалении от них.

Анализ индекса засушливости климата (AI). Территориальное распределение AI для Тамбовской области представлено на рисунке 1.

Анализ полученных данных показывает, что климат по AI в летний период большинства районов Тамбовской области относится к сухому субвлажному с локальными полувлажными участками. Территории северо-запада и севера области имеют большую увлажненность по сравнению с югом и юго-востоком.

Выявлена особенность наблюдения более высоких значений AI в долинах крупных рек южной и центральной частей области. Четко дифференцируются районы повышенного AI в долинах рек Вороны и Савалы, а также Цны и Лесного Тамбова (в пределах Сампурского, Котовского, Знаменского, Тамбовского районов и городов

Котовск и Тамбов). Также значения AI выше на реке Воронеж, в районе города Мичуринск. На территориях севера области наблюдается обратная ситуация с AI, где значения близ рек ниже, чем на других сопредельных участках — реки Цна (в северной части области), Челновка, Польной Воронеж, Лесной Воронеж, Разазовка.

Площадь территорий, на которых наблюдаются значения AI > 0,5 составляет 5491,51 кв. км (15,5% от области); 84,5% области имеет AI < 0,5 (рис. 2).

При проведении расчетов по определению площадей обнаружено отклонение показателя общей площади Тамбовской области от официальных цифр Тамбовстата по состоянию на 2022 г. на более 1000 кв. км [5]. Ошибка связана с качеством исходного материала, в том числе разрешением модели 1x1 км и особенностью работы инструмента «Обрезка раstra по маске» в компьютерной программе QGIS, который выполняет захват значений AI за пределами границ области (от 0 до 2 км).

Таблица 1. Классификация типов засушливости климата по значению AI (ЮНЕП, 1992) [11] и предлагаемое инвертирование в соответствии с AI C3S (2021 г.)

Table 1. Climate aridity classification by AI command (UNEP, 1992) [11] and proposed inversion according to AI C3S (2021)

Тип засушливости	Значение AI по ЮНЕП	Инвертированное значение AI по C3S*
Гиперзасушливый	AI < 0,05	AI > 0,95
Засушливый	0,05 < AI < 0,20	0,95 > AI > 0,8
Полувлажный	0,20 < AI < 0,50	0,8 > AI > 0,5
Сухой субвлажный	0,50 < AI < 0,65	0,5 > AI > 0,35
Влажный	AI > 0,65	AI < 0,35

*используется в исследовании

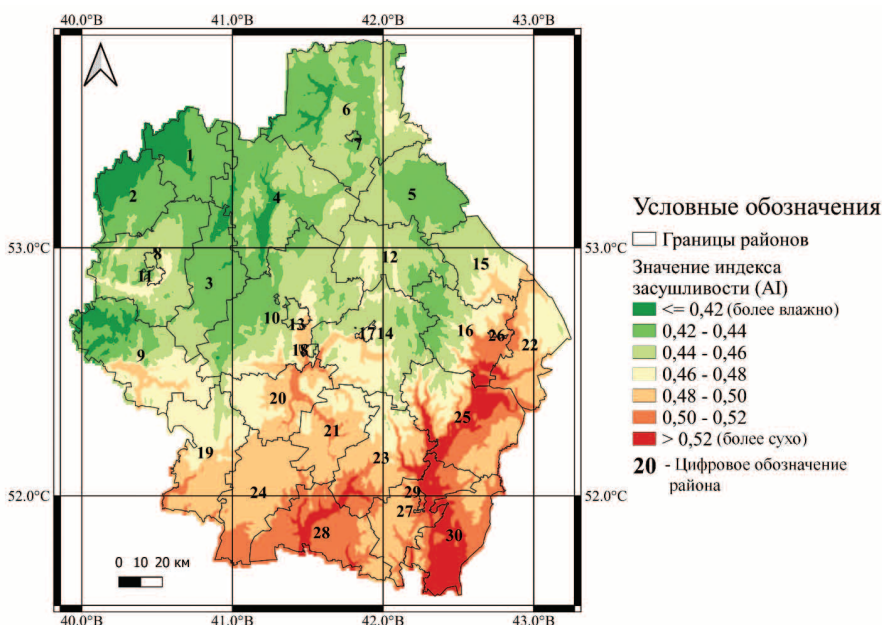


Рисунок 1. Картосхема AI территорий муниципальных образований Тамбовской области (усредненные метеоданные ERA5 с 1979 по 2018 гг., расчет AI службой C3S в 2021 г.)

Figure 1. AI map of the territories of municipalities of the Tambov region (averaged ERA5 weather data from 1979 to 2018, calculated by AI service C3S in 2021)

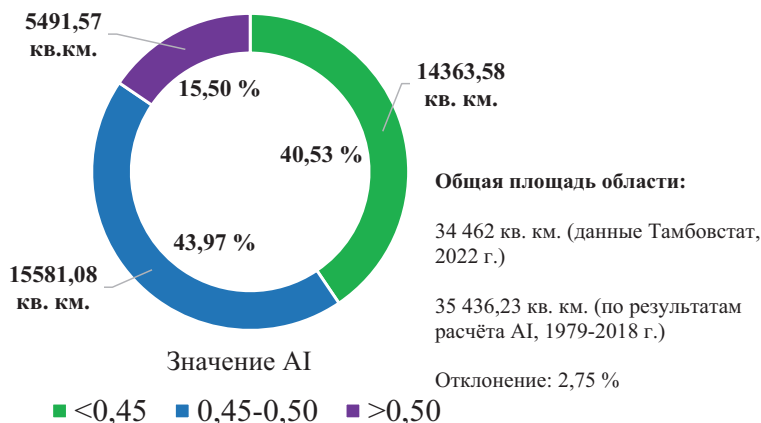


Рисунок 2. Распределение значений AI по площади Тамбовской области

Figure 2. Distribution of AI values over the area of the Tambov region



Таблица 2. Рассчитанные значения AI для муниципальных образований Тамбовской области (выполнено авторами на основе AI от службы С3S)

Table 1. Calculated AI values for the municipalities of the Tambov region (calculated by the authors based on AI from the C3S service)

Порядковый №	Название района / г.о.	Значение AI		
		среднее	минимальное	максимальное
1	Староюрьевский	0,42	0,41	0,44
2	Первомайский	0,42	0,40	0,46
3	Никифоровский	0,43	0,41	0,46
4	Сосновский	0,44	0,41	0,47
5	Пичаевский	0,44	0,42	0,46
6	Моршанский	0,44	0,41	0,47
7	Моршанск	0,44	0,43	0,46
8	Мичуринский	0,44	0,42	0,47
9	Петровский	0,45	0,41	0,50
10	Тамбовский	0,45	0,41	0,51
11	Мичуринск	0,45	0,43	0,47
12	Бондарский	0,45	0,43	0,47
13	Тамбов	0,46	0,44	0,49
14	Рассказовский	0,46	0,42	0,51
15	Гавриловский	0,46	0,43	0,50
16	Кирсановский	0,47	0,42	0,54
17	Рассказово	0,47	0,45	0,49
18	Котовск	0,48	0,44	0,50
19	Мордовский	0,48	0,45	0,51
20	Знаменский	0,48	0,44	0,51
21	Сампурский	0,49	0,46	0,51
22	Уметский	0,49	0,46	0,53
23	Ржаксинский	0,49	0,46	0,54
24	Токаревский	0,49	0,47	0,52
25	Инжавинский	0,50	0,44	0,54
26	Кирсанов	0,50	0,49	0,52
27	Уваровский	0,50	0,49	0,54
28	Жердевский	0,51	0,49	0,54
29	Уварово	0,51	0,50	0,53
30	Мучкапский	0,52	0,49	0,54
	В целом по области	0,47	0,40	0,54

Расчет средних, максимальных и минимальных значений AI для каждого муниципального образования представлен в таблице 2.

Среднее значение AI > 0,5 зафиксировано в 6 муниципальных образованиях. Минимальное AI > 0,5 только в г.о. Уварово. Максимальный показатель AI > 0,5 обнаружен в 18 районах.

Наиболее увлажненными являются — Староюрьевский, Первомайский и Никифоровский районы (минимум 0,40 в Первомайском). Наименее увлажненные территории — Жердевский, Мучкапский и Уваровский районы (максимум 0,54), а также отдельно г.о. Уварово. Административный центр области — город Тамбов имеет среднее значение 0,46 (сухой субвлажный).

Территориальное распределение AI в районах юга Тамбовской области представлено на рисунке 3.

Наибольшие, по сравнению с другими территориями области, значения AI в летний период наблюдаются в центральных частях Мучкапского и Уваровского муниципальных образований в районе населенных пунктов Мучкапский, Шапкино, Уварово и других поселений, расположенных до 13 км от берега реки Ворона. Также повышенные значения AI наблюдаются близ города Жердевка Жердевского района. Высокий AI, наиболее вероятно, обусловлен особенностью рельефа местности, однако точные причины возможно определить только с помощью более детальных исследований климата и климатообразующих факторов в летний период для указанных территорий. Стоит отметить, что на участке со значениями AI 0,52-0,54 имеется плотная древесная растительность (за исключением Жердевки) и сельскохозяйственные угодья, в связи с этим требуется проведение оценки влияния на них локального климата.

Наименьшие значения AI в Мучкапском районе наблюдаются на севере, близ сел Сергиевка и Троицкое. В Уваровском районе самые низкий AI на западе, в Жердевском — на востоке.

К списку территорий с высокими значениями AI также относится Знаменский район (рис. 4).

На указанной территории значения AI > 0,50 зафиксированы в районе пгт. Заменка и в долине рек Кариан и Цна. В центральной части района AI варьируется от 0,47 до 0,49, с локальным повышением в долине реки Сява и в селе Дуплято-Маслово. В южной части района AI ≈ 0,49 у поселений Кариан и Алехино. Наименьшее значение AI наблюдаются на западе района — село Покрово-Марфино и д. Прудки.

Поскольку в зоне со значением AI > 0,50 имеется массив древесной растительности и сельскохозяйственные угодья, также рекомендуется провести оценку влияния на них локального климата.

Закключение. В результате анализа индекса засушливости климата территорий муниципальных образований Тамбовской области в летний период определено, что климат на 84,5% площади региона — сухой субвлажный. У остальной части (15,5%) — полусухой (верхняя граница AI = 0,54).

Выявлено, что самые высокие значения AI встречаются в долинах крупных рек Вороны, Савалы, Цны и др. на юге и в центральных частях области.

Наиболее увлажненными районами являются Староюрьевский, Первомайский и Никифоровский, наименее увлажненные — Жердевский, Мучкапский и Уваровский муниципальные образования.

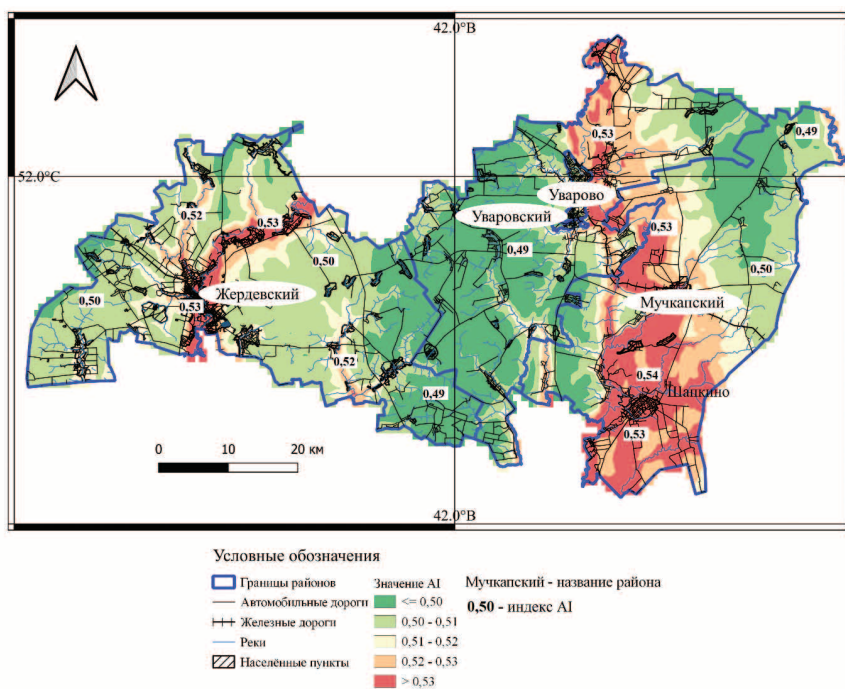


Рисунок 3. Территориальное распределение AI в районах юга Тамбовской области (расчет AI службой С3S на основе метеоданных 1979-2018 гг.)

Figure 3. Territorial distribution of AI in the regions of the south of the Tambov region (calculation of AI by the C3S service based on meteorological data from 1979-2018)

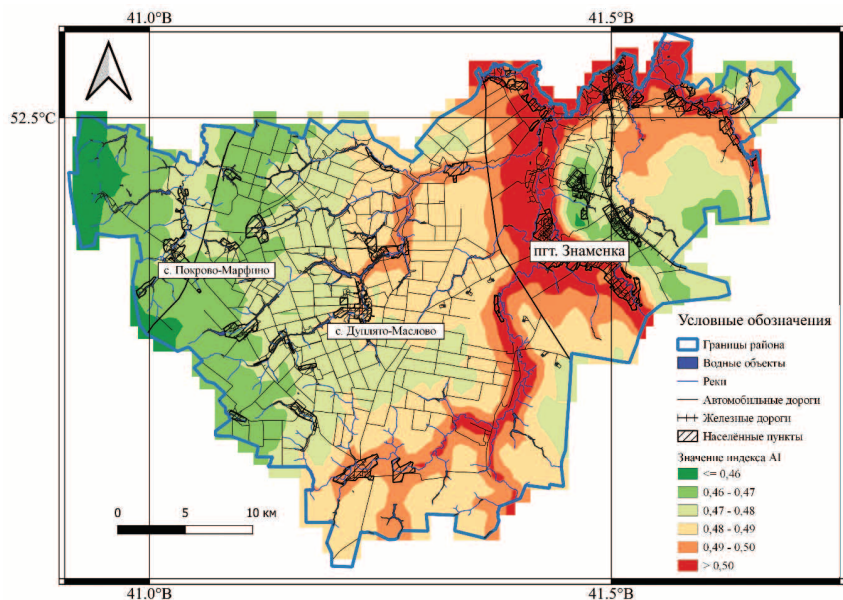


Рисунок 4. Территориальное распределение AI в Знаменском районе (расчет AI службой С3S на основе метеоданных 1979-2018 гг.)

Figure 4. Territorial distribution of AI in the Znamensky district (calculation of AI by the C3S service based on meteorological data from 1979-2018)

Высокий AI в ряде районов, наиболее вероятно, обусловлен особенностью рельефа местности и испарением, однако точные причины возможно определить только с помощью более детальных исследований климата и климатообразующих факторов в летний период и за весь год в целом. В этой связи рекомендуется организовывать постоянные наземные наблюдения за климатом и погодой в Мучапском муниципальном образовании. Практическое использование индекса летней засухливости климата (AI) наиболее эффективно при разработке землеустроительной документации. Так, при составлении схемы землеустройства территории Тамбовской области и схем землеустройства муниципальных образований индекс AI целесообразно применять, корректируя специализацию сельскохозяйственных организаций, насыщая структуру посевов засухоустойчивыми культурами, при планировании оросительных мелиораций, режимов полива, вида применяемой дождевальной техники, при установлении сельскохозяйственных регламентов, обеспечивая их сведениями о засухливости климата, ограничивая на богарных полях посевы влаголюбивых растений.

При составлении проектов внутрихозяйственного землеустройства эти данные рекомендуется использовать при установлении ротации сельскохозяйственных культур

в севооборотах, оптимального соотношения орошаемых и богарных земель, при размещении массивов орошаемых угодий и определении их оптимального состава и площадей.

Список источников

1. Алексеев Г.В., Ананичева М.Д., Анисимов О.А. и др. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации: в 3-х т. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
2. Действующие метеорологические станции сети Росгидромета / Росгидромет. URL: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Тамбовской области в 2021 году. Тамбов, 2022.
4. Дорошина М. Тамбовщина: 1937-2002 годы // Тамбовская жизнь. 2003.
5. Тамбовская область в цифрах. 2022: Краткий статистический сборник / Тамбовстат. Тамбов, 2022. 72 с.
6. Третьяков Д.В. О состоянии продовольственной безопасности Тамбовской области и мерах по ее обеспечению // Вестник ТГУ. 2011. № 8.
7. Drought in numbers 2022 Report. United Nations Convention to Combat Desertification, 2022. Côte d'Ivoire, Abidjan, 9-20 May 2022.
8. Eline Vanuytrecht, Hendrik Wouters, Julie Berckmans, Koen De Ridder (2021). Global bioclimatic indicators from 1979 to 2018 derived from reanalysis. Product User Guide, 40 p.

Информация об авторах:

Волков Сергей Николаевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой землеустройства, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0931-065X>, lab_zem_guz@mail.ru

Крючков Сергей Андреевич, исследователь, инженер общего отдела по НИР, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2487-8892>, kru4kov8@gmail.com

Мамедова Элина Эдгаровна, ассистент кафедры землеустройства, ведущий инженер общего отдела по НИР, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4626-6210>, ellino4ka95@yandex.ru

Information about the authors:

Sergey N. Volkov, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of economic sciences, professor, head of the department of land use planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0931-065X>, lab_zem_guz@mail.ru

Sergey A. Kryuchkov, researcher, engineer of the general department for research, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2487-8892>, kru4kov8@gmail.com

Ellina E. Mamedova, assistant of the department of land use planning, leading engineer of the general department for research, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4626-6210>, ellino4ka95@yandex.ru

9. Global bioclimatic indicators from 1979 to 2018 derived from reanalysis. *The Climate Data Store*. Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-biodiversity-era5-global?tab=overview>

10. Safriel, U. and Adeel, Z. (2005). Dryland Systems. In: *Millenium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Volume 1. Hassan, R., Scholes, R. and Ash, N. (eds). Washington, DC: Island Press.

11. United Nations Environment Programme. *World Atlas of Desertification*; Edward Arnold. London, UK, 1992.

12. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

References

1. Alekseev, G.V., Ananicheva, M.D., Anisimov, O.A. i dr. (2014). *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmenenii yakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii: v 3-kh t.* [The second evaluation report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation: in 3 volumes]. Moscow, Roshydromet, 1008 p.

2. Deistvuyushchie meteorologicheskie stantsii seti Rosgidrometa [Current meteorological stations of the Roshydromet network]. Available at: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667

3. Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy Tambovskoi oblasti v 2021 godu (2022). [Report on the state and environmental protection of the Tambov region in 2021]. Tambov.

4. Doroshina, M. (2003). *Tambovshchina: 1937-2002 gody* [Tambov region: 1937-2002]. *Tambovskaya zhizn'*.

5. Tambovskaya oblast' v tsifrakh. 2022: *Kratkii statisticheskii sbornik* (2022). [Tambov region in numbers. 2022: A brief statistical collection]. Tambov, 72 p.

6. Tret'yakov, D.V. (2011). O sostoyanii proizvod'stvennoi bezopasnosti Tambovskoi oblasti i merakh po ee obespecheniyu [On the state of food security in the Tambov region and measures to ensure it]. *Vestnik TGU* [Bulletin of TSU], no. 8.

7. Drought in numbers 2022 Report. United Nations Convention to Combat Desertification, 2022. Côte d'Ivoire, Abidjan, 9-20 May 2022.

8. Eline Vanuytrecht, Hendrik Wouters, Julie Berckmans, Koen De Ridder (2021). Global bioclimatic indicators from 1979 to 2018 derived from reanalysis. Product User Guide, 40 p.

9. Global bioclimatic indicators from 1979 to 2018 derived from reanalysis. *The Climate Data Store*. Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-biodiversity-era5-global?tab=overview>

10. Safriel, U. and Adeel, Z. (2005). Dryland Systems. In: *Millenium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Volume 1. Hassan, R., Scholes, R. and Ash, N. (eds). Washington, DC: Island Press.

11. United Nations Environment Programme. *World Atlas of Desertification*; Edward Arnold. London, UK, 1992.

12. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

