



УДК 004.94:551.583

DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-333-342

Геоинформационное моделирование пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий

Буряк Ж.А., Терехин Э.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: buryak@bsu.edu.ru, terekhin@bsu.edu.ru

Аннотация. Приведен анализ изменений гидротермических условий Белгородской области за последние 30 лет в пространственном и временном аспектах. На основе многолетних климатических данных по 8 метеостанциям в ГИС выполнено пространственное моделирование агроклиматических характеристик: суммы активных температур, осадков за период активной вегетации и гидротермического коэффициента (ГТК) по Г.Т. Селянинову. Моделирование показало, что климатические вариации отражаются не только в изменении показателей по метеостанциям во времени – изменяется и характер их распределения в пространстве. По всей территории наблюдается неоднородное снижение величин ГТК. За сравниваемые периоды пояса ГТК сдвинулись к северо-западу на 80 км, а дифференциация ГТК по территории области стала менее выраженной: разница между максимальным и минимальным значением составляет 0,25, тогда как в 1970–1980 гг. она составляла 0,4. Также выполнена более детальная оценка микроклиматической изменчивости с учетом неоднородного рельефа земной поверхности.

Ключевые слова: климатические изменения, ГТК, агроклиматические ресурсы, ГИС, пространственный анализ, Белгородская область.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-20018

Для цитирования: Буряк Ж.А., Терехин Э.А. 2020. Геоинформационное моделирование пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий. Региональные геосистемы, 44(3): 333–342. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-333-342

Geoinformation modeling of spatio-temporal variability of agroclimatic conditions

Zhanna A. Buryak, Edgar A. Terekhin

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: buryak@bsu.edu.ru, terekhin@bsu.edu.ru

Abstract. The article provides an analysis of changes in the hydrothermal conditions of the Belgorod region over the past 30 years in spatial and temporal aspects. On the basis of long-term climatic data on 8 meteorological stations in the GIS, spatial modeling of agroclimatic characteristics was carried out: the sum of active temperatures, precipitation for the period of active growing season and the hydrothermal coefficient (HC) according to G.T. Selyaninov. Changes in characteristics were considered in two time periods: 1970–1980 and 2000–10. Modeling has shown that climatic variations are reflected not only in the change in indicators for meteorological stations over time – the nature of their distribution in space also changes. For the sum of active temperatures with an increase of 300–400 °C, the general character of differentiation across the territory did not change. The zone with maximum precipitation during the active growing season shifted from the west of the region to the north. Throughout the territory, there is a non-



uniform decrease in the SCC values. During the compared periods, the GTC belts shifted to the northwest by 80 km, and the SCC differentiation across the region's territory became less pronounced: the difference between the maximum and minimum values is 0,25, while in 1970–80 it was 0,4. Also, a more detailed assessment of microclimatic variability was carried out taking into account the inhomogeneous relief of the earth's surface. It has been established that taking into account the geomorphological factor makes it possible to reveal hydrothermal conditions at certain positions of the landscapes, typical for territories 100 km to the northwest. Geomorphological conditions “erode” the boundaries of hydrothermal boundaries, creating transition belts 10–15 km wide.

Keywords: climatic changes, SCC, agro-climatic resources, GIS, spatial analysis, Belgorod region.

Acknowledgements: The reported study was funded by RFBR according to the research project No 18-35-20018

For citation: Buryak Zh.A., Terekhin E.A. 2020. Geoinformation modeling of spatio-temporal variability of agroclimatic conditions. *Regional Geosystems*, 44(3): 333–342 (in Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-333-342

Введение

Юг Европейской территории России, где сосредоточены основные сельскохозяйственные ресурсы страны, претерпевает изменения условий теплообеспеченности и увлажненности, определяемые изменчивостью глобальных циркуляционных условий в атмосфере. Последние десятилетия детектируются как самые теплые за все время надежных метеорологических наблюдений, причем аномалии среднегодовых температур характерны для всего Северного полушария [Переведенцев, Шанталинский, 2015]. Наибольший рост «горячих» экстремумов температуры наблюдается в летние и осенние сезоны в равнинной и предгорной климатических зонах юга Европейской части России [Ашабоков и др., 2017]. Для условий Центрального Черноземья меридиональная южная климатическая эпоха (с 1998 года по настоящее время) характеризуется наибольшей нестабильностью внутригодового режима осадков с тенденцией их дефицита в летний период и участвовавшей повторяемостью метеорологических экстремумов [Лебедева и др., 2017]. Подобная закономерность характерна также и для Центрального Нечерноземья [Суховеева, 2016].

Климатические изменения напрямую влияют на продуктивность биogeоценозов, а в аграрно-ориентированных регионах – агроценозов. Состояние агроклиматических ресурсов определяет урожайность сельскохозяйственных культур, влияя тем самым на продовольственную безопасность страны. Если рассматривать тенденции в изменении агроклиматических характеристик на примере Белгородской области, то на ее территории за последние 25 лет отмечается увеличение суммы активных температур выше +10 °С на 300 °С на фоне снижения показателей увлажненности на 10 % [Петин и др., 2017]. Рост температуры атмосферного воздуха больше других почвенно-климатических факторов влияет на продуктивность основных сельскохозяйственных культур Белгородской области: с ростом температуры на 1 % выход продукции в кормовых единицах может увеличиться на 1,4–3,7 % в зависимости от других факторов [Строков и др., 2019]. Однако отмечается [Лебедева и др., 2016], что в будущем такая тенденция может негативно сказываться на гидротермических характеристиках вегетационного периода в регионе и привести к снижению биоклиматического потенциала территории.

Пространственно-временное моделирование агроклиматических характеристик – актуальная задача, без решения которой невозможно изучить влияние изменчивости климата на сельскохозяйственное производство. Пространственный аспект связан с использованием методов геоинформационного моделирования, в частности, анализа распределения геоданных. ГИС-моделирование в климатологии связано, в первую очередь, с методами интерполяции точечных данных наблюдений в пространстве и их визуализацией. Под задачи

климатического моделирования разрабатываются географические информационно-вычислительные инфраструктуры локального и глобального уровня [Trouet, Van Oldenborgh, 2013; Fick, Hijmans, 2017; Гордов и др., 2016; Володин, Грицун, 2020 и др.]. Новой возможностью ГИС является получение карт разности климатических характеристик за различные периоды для одной территории, по которым выявляются области с более выраженными климатическими изменениями. В отечественных исследованиях этот подход использован преимущественно для анализа крупных территорий, например, Европейской территории России [Божилкина и др., 2014, Ивлиева и др., 2019]. Но для региональных исследований оценка изменчивости климатических характеристик во времени и пространстве с помощью ГИС не менее востребована. В связи с чем, цель настоящей работы – выполнение геоинформационного моделирования пространственно-временной изменчивости гидротермических условий для Белгородской области по разным хроносрезам.

Объекты и методы исследования

Для оценки пространственной изменчивости агроклиматических характеристик были проанализированы данные по 8 метеостанциям России и Украины (рис. 1). Для обеспечения корректных результатов интерполяции данных расположения метеостанций выбирали таким образом, чтобы часть из них находилась за пределами региона исследования.

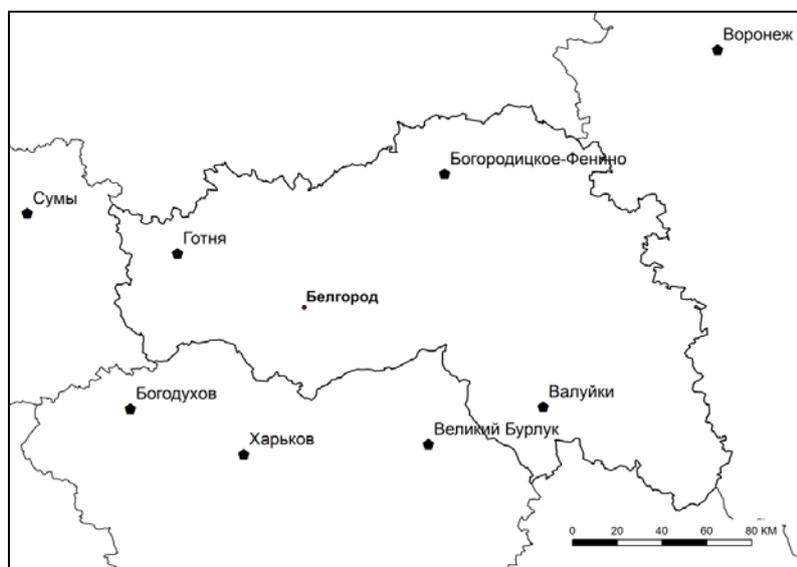


Рис. 1. Расположение метеостанций, данные которых были проанализированы в исследовании
Fig. 1. Location of weather stations from which data were analyzed

Анализ проводили по двум временным рядам с разницей в 30 лет: с 1973 по 1984 гг. и с 2004 по 2018 гг. Данные о климатических характеристиках были взяты из открытого архива [Погода и климат, 2020]. По данным каждой метеостанции за каждый год были рассчитаны суммы активных температур, сумма годовых осадков и сумма осадков за период активной вегетации.

В качестве показателя тепло- и влагообеспеченности выбрали гидротермический коэффициент (ГТК) (по Г.Т. Селянинову):

$$ГТК = \frac{P_{10} \times 10}{\sum t > 10^{\circ}C}, \quad (1)$$

где P_{10} – сумма осадков за период с температурой не ниже $10^{\circ}C$ (мм), $\sum t$ – сумма активных температур за тот же период времени.



Для метеостанций был подготовлен векторный слой с атрибутивной информацией по агроклиматическим показателям за рассматриваемые периоды. На его основе была выполнена интерполяция данных в растровые модели. Интерполяцию проводили в программе *ArcGIS* с использованием модуля *Spatial Analyst*. Способ интерполяции выбирали исходя из характера распределения данных: для осадков – метод обратно взвешенных расстояний, для температуры – метод сплайна. Расчет ГТК выполняли с помощью инструмента *Map Algebra* по полученным растровым моделям суммы активных температур и осадков за теплый период.

Более детальный анализ распределения гидротермических условий можно выполнить с учетом геоморфологического фактора. В зависимости ориентации и крутизны склонов приземный слой воздуха прогревается неравномерно, создаются условия микроклиматической дифференциации. С использованием цифровой модели рельефа была построена модель распределения радиационного баланса по склонам по разработанной ранее методике [Буряк, Терехин, 2019]. По этой модели, опираясь на зависимость, установленную для Европейской территории России [Давитая, Мельник, 1970], пересчитали суммы активных температур воздуха выше 10 °С с учетом современных тенденций их роста [Чендев и др., 2016]. Формула пересчета суммы активных температур на склонах будет иметь вид:

$$\sum_{t > 10^{\circ}\text{C}} = \frac{R_s - 9,9289}{0,0121}, \quad (2)$$

где R_s – радиационный баланс наклонной поверхности.

Таким образом, на локальном уровне были скорректированы суммы активных температур и ГТК в зависимости от позиции в ландшафте.

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа агроклиматических показателей по 8 метеостанциям обобщены в таблице.

Агроклиматические показатели по метеостанциям
Agroclimatic indicators for meteorological stations

Метеостанция	Сумма активных температур ($\Sigma t \geq 10$), °С		Годовое кол-во осадков (P), мм		Сумма осадков за период с температурой не менее 10 °С (P10), мм		ГТК	
	1970–1980 гг.	2000–2010 гг.	1970–1980 гг.	2000–2010 гг.	1970–1980 гг.	2000–2010 гг.	1970–1980 гг.	2000–2010 гг.
Харьков	2905	3362	539	530	296	285	1,02	0,85
Великий Бурлук	2779	3203	619	541	340	270	1,22	0,84
Богодухов	2713	3254	619	554	334	305	1,23	0,94
Валуйки	2819	3250	573	588	293	313	1,04	0,96
Готня	2612	3022	652	590	361	311	1,38	1,03
Сумы	2726	3053	655	560	391	310	1,43	1,02
Богородицкое	2594	2966	590	617	312	344	1,20	1,16
Воронеж	2715	2900	593	595	298	313	1,10	1,08

Сумма активных температур растет по всем метеостанциям. В среднем для сравниваемых периодов она увеличилась на 400 °С. Тенденция изменения годовых осадков различается для точек наблюдений. С 2000-х гг. наблюдается либо их снижение на 60–90 мм, либо незначительный рост (до 13 мм). Аналогичная закономерность характерна и для осадков периода активной вегетации. ГТК для сравниваемых периодов снизился в среднем на 0,22. Более детально описать тенденции изменения агроклиматических ресурсов можно с использованием пространственного моделирования в ГИС (рис. 2).

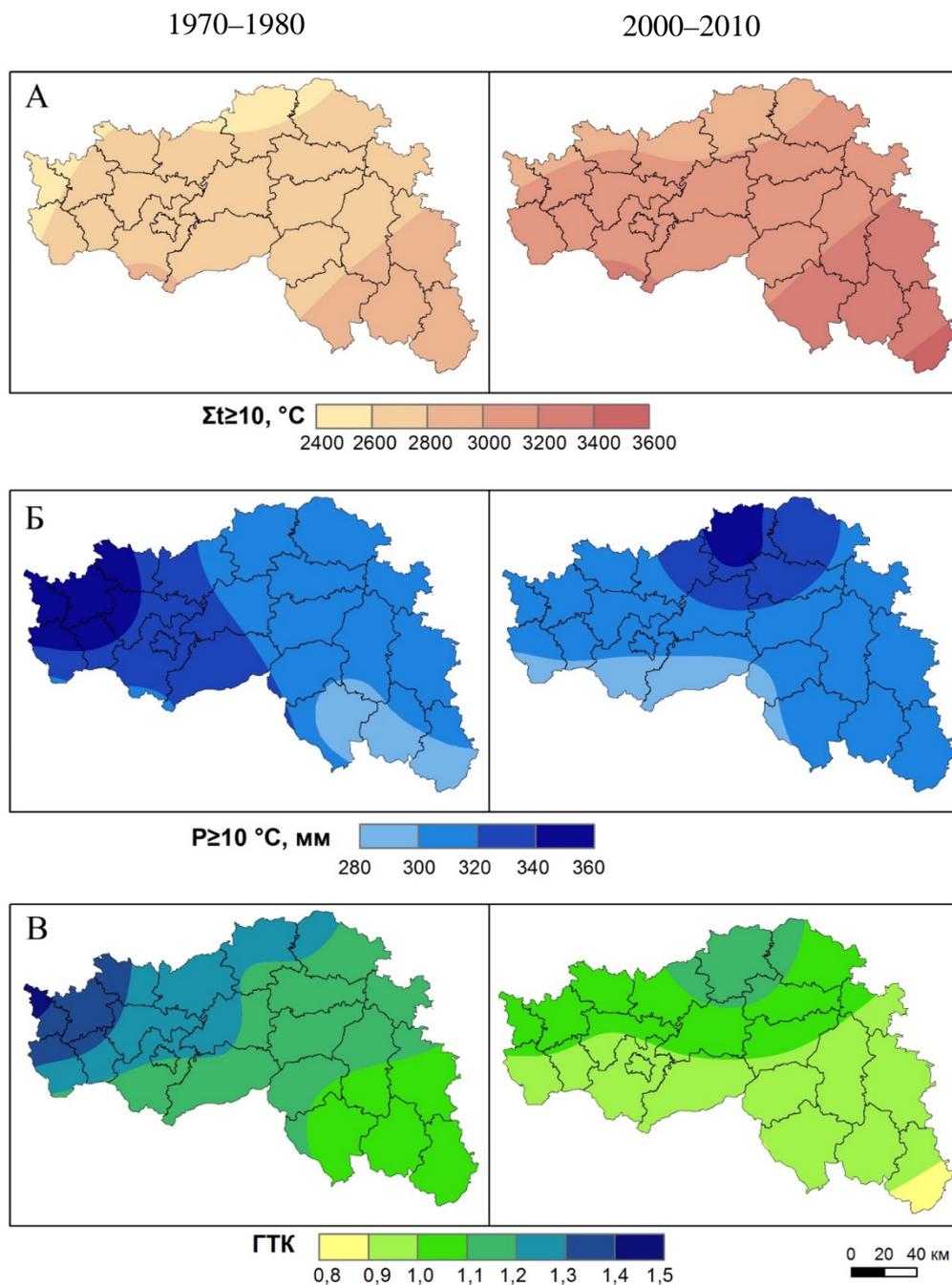


Рис. 2. Пространственное распределение агроклиматических характеристик Белгородской области по двум хроносрезам: А – сумма активных температур;

Б – сумма осадков за теплый период; В – гидротермический коэффициент

Fig. 2. Spatial distribution of the agro-climatic characteristics of the Belgorod region in two chronological sections: A – the sum of active temperatures; B – the amount of precipitation for the warm period; C – hydrothermal coefficient



Картографическая визуализация на рисунке 2 дает представление о том, что климатические вариации отражаются не только в изменении показателей по метеостанциям во времени – изменяется и характер их распределения в пространстве.

Для суммы активных температур при росте во времени на 300–400 °С общий характер дифференциации в пространстве не поменялся (см. рис. 2 А). Прогреваемость возрастает с северо-запада на юго-восток, причем, чем севернее, тем ниже скорость роста.

Более существенные изменения коснулись осадков за теплый период. Если 30 лет назад сумма осадков увеличивалась в северо-западном направлении, то в последние годы этот тренд сменился в направлении с юга на север (см. рис. 2 Б). Зона с максимальными осадками сместилась с запада области (Краснояржский и Ракитянский районы с прилегающими территориями) на север (Губкинский городской округ). Пояс осадков за вегетационный период 300–320 мм раньше занимал восточную часть области, а теперь протягивается через всю территорию с востока на запад.

В целом влагообеспеченность в период активной вегетации по территории области за 30 лет снизилась. Например, по пространственному охвату площадь территорий с количеством осадков более 320 мм уменьшилась с 35 до 20 %.

Та же тенденция к пространственной изменчивости характерна и для ГТК. По территории всей области наблюдается снижение величин ГТК. Причем разница в значениях еще более выражена, чем для осадков. В 1970–1980-е гг. рост ГТК наблюдался в северо-западном направлении (см. рис. 2 В). В 2000–2010-х гг. изменения приобрели более широтный характер: показатель, по аналогии с показателями осадков, увеличивается с юга на север.

Характер снижения ГТК по территории неоднородный. Наибольшие изменения в гидротермическом режиме коснулись западной части области (Краснояржский, Ракитянский, Грайворонский и Борисовский районы). Здесь значения ГТК снизились на 0,3–0,4 пункта. В центральной и восточной частях области снижение составило до 0,2. В целом за сравниваемые периоды пояса ГТК сдвинулись к северо-западу на 80 км. Причем на современном этапе дифференциация ГТК по территории области стала менее выраженной: разница между максимальным и минимальным значением ГТК составляет 0,25 пунктов, тогда как в 1970–1980 гг. она составляла 0,4. Южная часть области (Грайворонский, Борисовский, Белгородский, Шебекинский, Волоконовский, Красногвардейский, Алексеевский и другие районы) выровнилась по гидротермическому режиму за счет выпадающих осадков. Для территорий южнее 50,7° с. ш. (54 % площади области) характерен ГТК 0,9–1,0. На юге Ровеньского района (2 % площади) ГТК снижается до 0,85. В северной части области величины ГТК в интервале 1,0–1,1 приходятся на 33 % территории, значения 1,1–1,2 – на 11% территории (Губкинский городской округ).

Более детальная оценка распределения гидротермических условий в пространстве возможна с учетом рельефа земной поверхности. Известно, что инсолируемость склонов может существенно влиять на суточный микроклиматический режим [Романова, 1977]. Из параметров рельефа наибольшее значение вносит экспозиция склонов. Также на прогреваемость может влиять крутизна склонов, которая определяет угол падения солнечных лучей. Чем более неоднороден рельеф местности, тем ярче проявляется микроклиматическая изменчивость. Например, в пределах некоторых речных бассейнов Белгородской области с геоморфологической асимметрией макросклонов (Ворскла, Северский Донец с притоками, Айдар, Оскол, Ураева, Валуй) [Лисецкий и др., 2018] будет наблюдаться высокая разница в гидротермических характеристиках. В целом по области распределение площадей «теплых» и «холодных» склонов примерно равное, на пашне «холодных» склонов больше на 13 % [Буряк, Терехин, 2019]. На крутых северных склонах за счет меньшей прогреваемости формируется более благоприятный гидротермический режим.

Геоморфологический фактор, будучи статичным во времени, обеспечивает пространственный аспект климатических вариаций. Модель перераспределения теплообеспеченности территории по рельефу является базой для дифференциации климатических ресурсов по любым временным рядам (рис. 3).

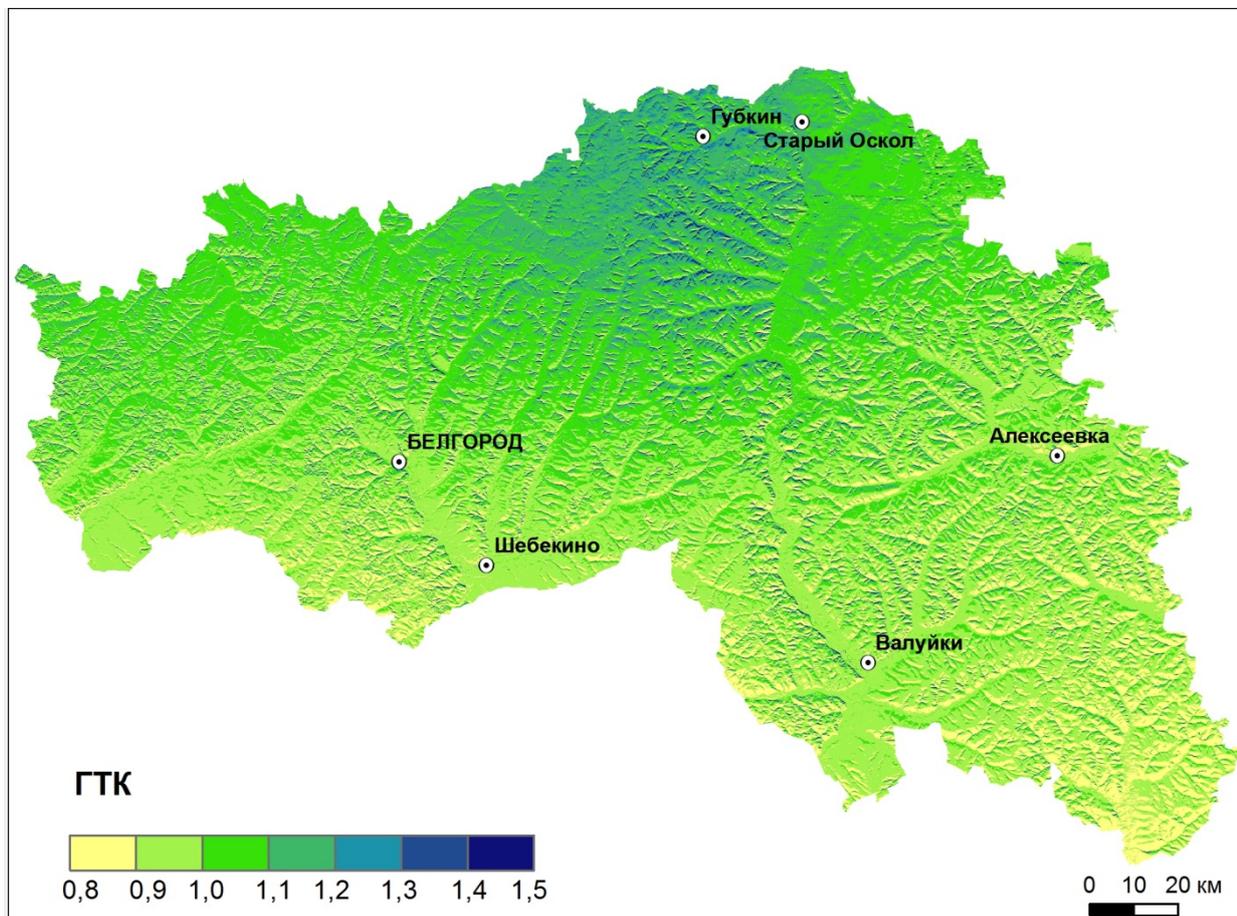


Рис. 3. Гидротермический коэффициент с учетом геоморфологического фактора (за период 2004–2018 гг.)

Fig. 3. Hydrothermal coefficient taking into account the geomorphological factor (for the period 2004–2018)

На рис. 3 представлена картограмма микроклиматической дифференциации ГТК для 2000–2010-х гг. (рис. 2 В). Моделирование показывает, что изменения ГТК по территории с подложенным рельефом намного выраженнее, чем в результате традиционной интерполяции. Например, в самой засушливой зоне области на юге Ровеньского района, где значения ГТК для ровной поверхности составили 0,85–0,90, площадь территорий с ГТК более 1,0 достигает 9 %. Подобные гидротермические условия типичны для территорий в 100 км к северо-западу. Для некоторых территорий на севере области значение ГТК может увеличиваться до 1,4. Геоморфологические условия «размывают» границы гидротермических рубежей, создавая пояса перехода шириной 10–15 км.

Заклучение

Возможности глубокого пространственного анализа современных ГИС позволяют расширить методологию исследования климатических изменений. Появилась возможность ин-



теграции климатических вариаций во времени с пространственной составляющей, что существенно расширяет потенциал для анализа, интерпретации и прогнозирования. Этот подход может быть использован и для моделирования агроклиматических ресурсов.

Для корректного пространственно-временного моделирования агроклиматических характеристик недостаточно использовать данные с одной-двух региональных метеостанций. Необходимо охватить сеть пунктов наблюдений, в том числе за пределами объекта исследования.

Характер пространственного распределения теплообеспеченности и условий увлажнения по Белгородской области со временем меняется. За последние 30 лет установлен выраженный характер смещения поясов ГТК, а также его изменчивости по территории.

Пространственная изменчивость может быть еще более дифференцирована с использованием цифровой модели рельефа. Рельеф в значительной степени может изменять зональные значения ГТК. В анализе агроклиматических условий целесообразно учитывать геоморфологический фактор.

Источники

Погода и климат. Электронный ресурс. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 24 июля 2020).

Список литературы

1. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А. 2017. Климатические изменения средних значений и экстремумов приповерхностной температуры воздуха на юге Европейской территории России. *Фундаментальная и прикладная климатология*, 1: 5–19. DOI: 10.21513/2410-8758-2017-1-5-19
2. Божилина Е.А., Сорокина В.Н., Салихова Н.З. 2014. Картографирование изменений температурного режима на Европейской территории России за разные временные периоды (1881–1935 гг. и 1961–1990 гг.). *Геодезия и картография*, 2: 27–35. DOI: 10.22389/0016-7126-2014-884-2-27-35
3. Буряк Ж.А., Терехин Э.А. 2019. Оценка агроклиматического потенциала территории юга Среднерусской возвышенности (на примере Белгородской области). *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*, 43 (3): 286–293. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-3-286-293
4. Володин Е.М., Грицун А.С. 2020. Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*, 56 (3): 255–266.
5. Гордов Е.П., Окладников И.Г., Титов А.Г. 2016. Информационно-вычислительная веб-система для интерактивного анализа наборов геопривязанных климатических данных. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*, 14 (1): 13–22.
6. Давитая Ф.Ф., Мельник Ю.С. 1970. Проблема прогноза, испаряемости и оросительных норм. *Л., Гидрометеоздат*, 71 с.
7. Ивлиева Н.Г., Манухов В.Ф., Шайкунова Р.Б. 2019. Об опыте применения ГИС-технологий для изучения изменений среднегодовой температуры воздуха на территории Европейской части России. *Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС»*, 25 (2): 121–132 <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-2-25-121-132>.
8. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Чендев Ю.Г. 2016. Агроклиматические ресурсы Белгородской области в начале XXI века. *Достижения науки и техники АПК*, 30 (10): 71–76.
9. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Чендев Ю.Г. 2017. Изменения условий атмосферной циркуляции и региональные климатические характеристики на рубеже XX–XXI вв. (на примере Белгородской области). *Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки*, 18 (267): 157–163.
10. Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Маринина О.А. 2018. Геоморфологическая асимметрия разнопорядковых речных бассейнов (на примере Белгородской области). *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*, 160 (3): 500–513.

11. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. 2015. Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки, 157 (3), 8–19.
12. Петин А.Н., Лебедева М.Г., Петина М.А., Чендев Ю.Г., Крымская О.В. 2017. Применение гис-технологий для оперативной оценки агроклиматических условий. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 23 (1): 209–219. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-209-219
13. Романова Е.Н. 1977. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л., Гидрометеиздат, 279 с.
14. Строков А.С., Макаров О.А., Марахова Н.А., Поташников В.Ю. 2019. Влияние почвенно-климатических факторов на урожайность основных сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Белгородской области. Земледелие, 6: 21–24. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10605.
15. Суховеева О.Э. 2016. Изменения климатических условий и агроклиматических ресурсов в Центральном районе Нечерноземной зоны. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 4: 41–49.
16. Чендев Ю.Г., Лебедева М.Г., Матвеев С.М., Петин А.Н., Долгих А.В., Смирнова Л.Г., Соловьев А.Б., Кухарук Н.С., Крымская О.В., Нарожняя А.Г., Терехин Э.А., Березуцкий В.Д., Голотвин А.Н., Сарапулкин В.А., Сарапулкина Т.В., Федюнин И.В., Польшина М.А., Митрайкина А.М., Калугина С.В., Полякова Т.А., Белеванцев В.Г., Вагурин И.Ю., Толстопятова О.С., Борбукова Д.А., Тимашук Д.А., Дудин Д.И., Дудина Е.В., Тарубарова А.Н., Смирнов Г.В., Кухарук С.А., Тимошенко А.И., Тимохов И.С. 2016. Почвы и растительность юга Среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата. Белгород, КОНСТАНТА, 326 с.
17. Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37 (12): 4302–4315.
18. Trouet V., Van Oldenborgh G.J. 2013. KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. Tree-Ring Research, 69 (1): 3–13.

References

1. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., Taubekova Z.A. 2017. Climatic changes of mean and extreme values of surface air temperature in the South of European Russia. Fundamental and Applied Climatology, 1: 5–19. DOI: 10.21513/2410-8758-2017-1-5-19 (in Russian)
2. Bozhilina E.A., Sorokina V.N., Salikhiva N.Z. 2014. Temperature regime changes mapping in the European part of Russia for various time periods (1881–1935 and 1961–1990 years). Geodesy and Cartography, 2: 27–35. DOI: 10.22389/0016-7126-2014-884-2-27-35 (in Russian)
3. Buryak Zh.A., Terekhin E.A. 2019. Assessment Agroclimatic Potential of the South of the Central Russian Upland (the Case of the Belgorod Region). Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 43 (3): 286–293. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-3-286-293. (in Russian)
4. Volodin E.M., Gritsun A.S. 2020. Simulation of possible future climate changes in 21 century with climate model INM-CM5. Izvestiya Akademii nauk SSSR. Fizika atmosfery i okeana, 56 (3): 255–266 (in Russian)
5. Gordov E.P., Okladnikov I.G., Titov A.G. 2016. Information and computing web-system for interactive analysis of georeferenced climatological data sets. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnyye tekhnologii, 14 (1), 13–22. (in Russian)
6. Davitaya F.F., Melnik Yu.S. 1970. Problema prognoza, isparayemosti i orositelnykh norm [The problem of forecasting, volatility and irrigation rates]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 71 p.
7. Ivlieva N.G., Manukhov V.F., Shaykunova R.B. 2019. 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. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”, 25 (2): 121–132. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-2-25-121-132>. (in Russian)
8. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Yu.G. 2016. Agroclimatic resources of Belgorod Region at the beginning of the 21st century. Achievements of Science and Technology of AIC, 30 (10): 71–76. (in Russian)
9. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Yu.G. 2017. Changes in the atmospheric circulation conditions and regional climatic characteristics at the turn of XX–XXI centuries (on example of



Belgorod Region). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 18 (267): 157–163. (in Russian)

10. Lisetskii F.N., Buryak Zh.A., Marinina O.A. 2018. Geomorphological asymmetry of river basins belonging to different orders (based on the Belgorod region). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 160 (3): 500–513. (in Russian)

11. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M. 2015. Changes in the near-surface air temperature of the northern hemisphere during the period of 1850–2014. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 157 (3), 8–19. (in Russian)

12. Petin A.N., Lebedeva M.G., Petina M.A., Chendev Yu.G., Krymskaya O.V. 2017. Application of GIS-technologies for the rapid assessment of agro-climatic conditions. *InterCarto. InterGIS*, 23 (1): 209–219. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-209-219. (in Russian)

13. Romanova E.N. 1977. *Mikroklimaticheskaya izmenchivost osnovnykh elementov klimata* [Microclimatic variability of the main elements of the climate]. L., Gidrometeoizdat, 279 p.

14. Stokov A.S., Makarov O.A., Marakhova N.A., Potashnikov V.Yu. 2019. Influence of Soil and Climatic Factors on Productivity of Main Agricultural Crops in Municipal Districts of the Belgorod Region. *Zemledelie*, 6: 21–24. DOI: 10.24411/00443913-2019-10605. (in Russian)

15. Sukhoveeva O.E. 2016. *Izmeneniya klimaticheskikh usloviy i agroklimaticheskikh resursov v Tsentralnom rayone Nechernozemnoy zony* [Changes in climatic conditions and agro-climatic resources in the Central Region of the Non-Black Earth Zone]. *Scientific journal Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology*, 4: 41–49.

16. Chendev Yu.G., Lebedeva M.G., Matveyev S.M., Petin A.N., Dolgikh A.V., Smirnova L.G., Solovyev A.B., Kukharuk N.S., Krymskaya O.V., Narozhnyaya A.G., Terekhin E.A., Berezutskiy V.D., Golotvin A.N., Sarapulkin V.A., Sarapulkina T.V., Fedyunin I.V., Polshina M.A., Mitryaykina A.M., Kalugina S.V., Polyakova T.A., Belevantsev V.G., Vagurin I.Yu., Tolstopyatova O.S., Borbukova D.A., Timashchuk D.A., Dudin D.I., Dudina E.V., Tarubarova A.N., Smirnov G.V., Kukharuk S.A., Timoshenko A.I., Timokhov I.S. 2016. Soils and vegetation in the south of the Central Russian Upland in a changing climate. *Belgorod, CONSTANTA*, 326 p. (in Russian)

17. Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37 (12): 4302–4315.

18. Trouet V., Van Oldenborgh G.J. 2013. KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. *Tree-Ring Research*, 69 (1): 3–13.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буряк Жанна Аркадьевна, кандидат географических наук, научный сотрудник Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород

Терехин Эдгар Аркадьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhanna A. Buryak, PhD in geography, junior researcher Federal and Regional Centre for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources at Belgorod State National Research University, Belgorod

Edgar A. Terekhin, PhD in geography, senior researcher Federal and Regional Centre for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources at Belgorod State National Research University, Belgorod