

the warmer time of the year – by 1.3 °C. However, it was frosty during January. This trend indicates an increased risk of higher fluctuations of the air temperature in the republic.

KEYWORDS:

climate warming, air temperature, precipitation

REFERENCES

1. Bulygina O.N. Razuvayev V.N., Trofimenko L.T., Shvets N.V. Opisanie massiva dannykh srednemesyachnoy temperatury na stantsiyakh Rossii [Description of the dataset of mean monthly temperature at stations of Russia], <http://meteo.ru> (in Russian).
2. *Izmenenie klimata i ego vozdejstvie na ekosistemy, naselenie i hozyajstvo rossijskoj chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: ocenochnyj doklad* [Climate change and its impact on ecosystems, population and the economy of the Russian part of the Altai-Sayan Ecoregion: assessment report]. Pod red. A.O. Kokorina; Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF Rossii), Moscow: 2011, 168 p. (in Russian).
3. Kuular Kh.B. Monitoring potepneniya klimata v Respublike Tyva po dannym nablyudeniya [Monitoring of climate warming in the Tuva Republic according to the observations]. *Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2016, No 12, pp. 153–157 (in Russian).
4. Tchebakova N.M., Parfenova E.I. Prognoz prodvizheniya granits lesa pri izmenenii k kontsu 20 veka v Sredney Sibiri [Forecasting the advance forest boundaries in condition of change by the end of the 20th century in Central Siberia], *Vychislitelnyye tekhnologii*, T.11, Ch. 3, 2006, pp. 77–87 (in Russian).
5. Kuular Kh. Peculiarities of climate in the Tyva Republic in the 20th and 21st centuries. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2015, No 1, Vol. 40, pp. 34–38.

УДК 551.502(470.325)

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-209-219

А.Н. Петин¹, М.Г. Лебедева², М.А. Петина³, Ю.Г. Чендев⁴, О.В. Крымская⁵

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

АННОТАЦИЯ

Наблюдаемое в XX–XXI вв. глобальное потепление проявляется в разных регионах Земли и особенно ярко проявляется в последние годы. На юге Центрально-Чернозёмного региона, где расположена Белгородская область, климатические изменения наиболее значимы для сельскохозяйственной отрасли экономики. Происходящие климатические изменения требуют своего картографического оформления для создания теоретической основы оптимизации сельскохозяйственного производства.

¹ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»; Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85; *e-mail*: petin@bsu.edu.ru

² ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»; Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85; *e-mail*: lebedeva_m@bsu.edu.ru

³ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»; Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85; *e-mail*: petina_m@bsu.edu.ru

⁴ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»; Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85; *e-mail*: chendev@bsu.edu.ru

⁵ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»; Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85; *e-mail*: krymskaya@bsu.edu.ru

Для адекватной оценки влияния изменений климата на сельскохозяйственное производство рекомендуется использовать широкий набор показателей – климатических индексов для оценки термических ресурсов и характера увлажнения территории.

С изменением характера атмосферной циркуляции в 1998 году произошли изменения в термическом режиме летнего периода, которые отразились в том, что в начале XXI века в Белгородской области не стало первого (северного) агрометеорологического района, но появился третий агрометеорологический район, ранее характерный для более южных областей страны.

Изменения агрометеорологического районирования региона влияют на структуру посевных площадей, позволяя выращивать теплолюбивые виды растений (виноград, орехи). В частности, в последние годы в Белгородской области активно внедряется в севооборот соя, садоводство, характерное для Белогорья на рубеже XIX–XX столетий, активизируется, но уже с более широким набором видов и сортов семечковых и косточковых культур. Фермерские хозяйства начали успешно развивать бахчеводство.

Для проведения сортоиспытаний новых видов растений и планирования севооборотов потребители агрометеорологической информации крайне заинтересованы в данных о влагообеспеченности с учетом административного деления территории. Для этого были составлены карты показателя увлажнения и биоклиматического потенциала территории с учетом административного деления.

Применение ГИС-технологий позволяет в оперативном режиме предоставлять необходимые картографические материалы органам власти и сельхозпроизводителям с различным временным и пространственным обобщением для принятия управленческих решений по оптимизации АПК региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

климатические изменения, агроклиматические ресурсы, гидротермический режим, агроклиматическое районирование, биоклиматический потенциал

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдаемое в XX–XXI вв. глобальное потепление проявляется в разных регионах Земли и особенно ярко проявляется в последние годы. На территории России за период 1976–2011 гг. наблюдался рост среднегодовой температуры воздуха: линейный тренд указанной характеристики, осредненной по территории всей страны, составляет +0,44 °C/10 лет. На юге Центрально-Черноземного региона, где расположена Белгородская область, климатические изменения наиболее значимы для сельскохозяйственной отрасли экономики. Средние многолетние температуры воздуха за последние 100 лет в Белгородской области особенно значимо изменялись в зимний период. Январская температура выросла на 4 °C [Чендев и др., 2016].

Для адекватной оценки влияния изменений климата на сельскохозяйственное производство нельзя ограничиться каким-либо одним показателем. Рекомендуется использовать, возможно, более широкий набор показателей – климатических индексов для оценки термических ресурсов, применяемых в агроклиматологии. Важнейшими из них являются следующие: суммы среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 0 °C, 5 °C и 10 °C, даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °C, 5 °C и 10 °C, а также периодов со среднесуточной температурой от 5 °C до 15 °C (климатическая весна) и от 15 °C до 5 °C (климатическая осень), средняя температура самого холодного и самого теплого месяцев календарного года [Chendev *et al.*, 2014].

Происходят изменения в характере увлажнения территории. В течение XX столетия годовая сумма осадков в Белгородской области возросла на 15 %. Наиболее активно осадки

возрастали начиная с 70-х годов XX века. Определенный вклад в увеличение суммарного количества осадков внесли осадки тёплого периода [Petin *et al.*, 2014].

Происходящие климатические изменения требуют своего картографического оформления для создания теоретической основы оптимизации сельскохозяйственного производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Возможности ГИС-технологий позволяют в оперативном режиме обеспечить предоставление картографических материалов потребителям агрометеорологической информации с различным временным и пространственным обобщением.

Исходными материалами для изучения изменений агроклиматических характеристик региона на рубеже XX–XXI столетий послужили данные метео- и агрометеорологических наблюдений Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 1890 по 2015 годы. Оценка современных агроклиматических ресурсов Белгородской области проведена на основе данных сети Росгидромета с применением стандартных процедур обработки климатической информации. Данные последних десятилетий сопоставляли с многолетними нормами метеорологических характеристик, нашедшими своё отражение в Научно-прикладном справочнике по климату СССР, в котором помещены результаты столетнего ряда наблюдений (1881–1980 гг.) – так называемая «норма-80».

Общий характер увлажнения территории оценивается с помощью различных коэффициентов и индексов. С.А. Сапожникова [Гордеев и др., 2006] предложила для расчёта основного показателя условий увлажнения использовать следующую формулу:

$$K_{\epsilon} = \frac{0,5P_x + P_m}{0,18\sum T_{>10^{\circ}}}, \quad (1)$$

где K_{ϵ} – коэффициент увлажнения; 0,5 – коэффициент, характеризующий влияние осадков за холодный период на формирование урожая; P_x – сумма осадков (мм) за холодный период (октябрь – март); P_m – сумма осадков (мм) за тёплый период (апрель – сентябрь); $0,18\sum T_{>10^{\circ}}$ – испаряемость за год. Для оценки влагообеспеченности территории более предпочтителен показатель увлажнения по Сапожниковой, так как учитывает осадки как тёплого, так и холодного периодов (последние входят с меньшим удельным весом), что в большей степени соответствует фактическому режиму увлажнения.

Для оценки сельскохозяйственной продуктивности климата введено понятие биоклиматического потенциала (БКП) территории [Гордеев и др., 2006] – комплекс метеорологических факторов, определяющих рост и развитие растений. По мнению Д.И. Шашко, максимальная биологическая продуктивность определяется суммарным влиянием тепла, влаги и почвенного плодородия. В условиях отдельного региона со сходными почвенными условиями, определяющими потенциальную урожайность, является соотношение тепла и влаги. БКП при этом представляет отношение суммы среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации к аналогичной сумме для реперной территории, умноженной на коэффициент, отражающий влияние влагообеспеченности на урожай:

$$БКП = \frac{K_{p(ку)} \times \sum t_{ак}}{\sum t_{ак(баз)}}, \quad (2)$$

где БКП – относительные значения биоклиматического потенциала, $K_{p(ку)}$ – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения; $\sum t_{ак}$ – сумма средних су-

точных температур воздуха за период активной вегетации в данном месте; $\sum t_{\text{ак(баз)}}$ – базисная сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации (1900°С).

Коэффициент роста в данной формуле представляет собой отношение урожайности в данных условиях влагообеспеченности к максимальной урожайности в условиях оптимальной влагообеспеченности. Его значение можно аппроксимировать выражением:

$$K_{p(\text{кy})} = 1,51g(20KY) - 0,21 + 0,63KY - (KY)^2, \quad (3)$$

где KY – коэффициент годового атмосферного увлажнения, равный отношению количества осадков к сумме средних суточных значений дефицита влажности воздуха.

Мы в своем исследовании рассчитывали показатель увлажнения и биоклиматический потенциал по области для двух периодов (1988–2000 гг. и 2001–2014 гг.) в связи с изменениями в конце XX века характера атмосферной циркуляции, повлиявшими на тепло- и влагообеспеченность растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сельскохозяйственная оценка территории с точки зрения климатических условий предполагает определение агроклиматических ресурсов, то есть совокупности агроклиматических условий, определяющих урожай возделываемых культур. Агроклиматическое районирование – это деление территории на районы по признаку сходства и различия их агроклиматических условий. Проведение агроклиматического районирования обосновывает выращиваемые и потенциально возможные сельскохозяйственные культуры.

Впервые карта общего агроклиматического районирования территории СССР была составлена в 1933 г. Г.Т. Селяниновым. Первое агроклиматическое районирование Белгородской области было составлено в 70-х гг. прошлого столетия и отражало агроклиматические условия в регионе, сложившиеся во второй половине XX столетия.

С начавшимся современным потеплением по Белгородской области за последние 25 лет произошло увеличение суммы активных температур выше +10 °С в среднем на 300 °С. Отмечен рост сумм эффективных температур на 200–250 °С, определивший изменение агроклиматических условий.

На рисунках 1–2 представлены карты современного агроклиматического районирования для «скользящих» тридцатилетних рядов метеорологических наблюдений 1961–1990 гг., 1971–2000 гг. и 1981–2010 гг.

Как известно, начало современных климатических изменений специалисты соотносят с началом 70-х годов прошлого века. Но в начале рассматриваемого периода наблюдалось потепление по так называемому «зимнему типу». С изменением характера атмосферной циркуляции в 1998 году [Lebedeva *et al.*, 2016], произошли изменения в термическом режиме летнего периода, которые отразились в том, что в начале XXI века в Белгородской области не стало первого (северного) агрометеорологического района, но появился третий агрометеорологический район, ранее характерный для более южных областей страны [Чендев и др., 2016].



Рисунок 1. Агроклиматическое районирование за периоды 1961–1990 гг. и 1971–2000 гг.
Figure 1. Agroclimatic zoning for the periods 1961–1990 and 1971–2000

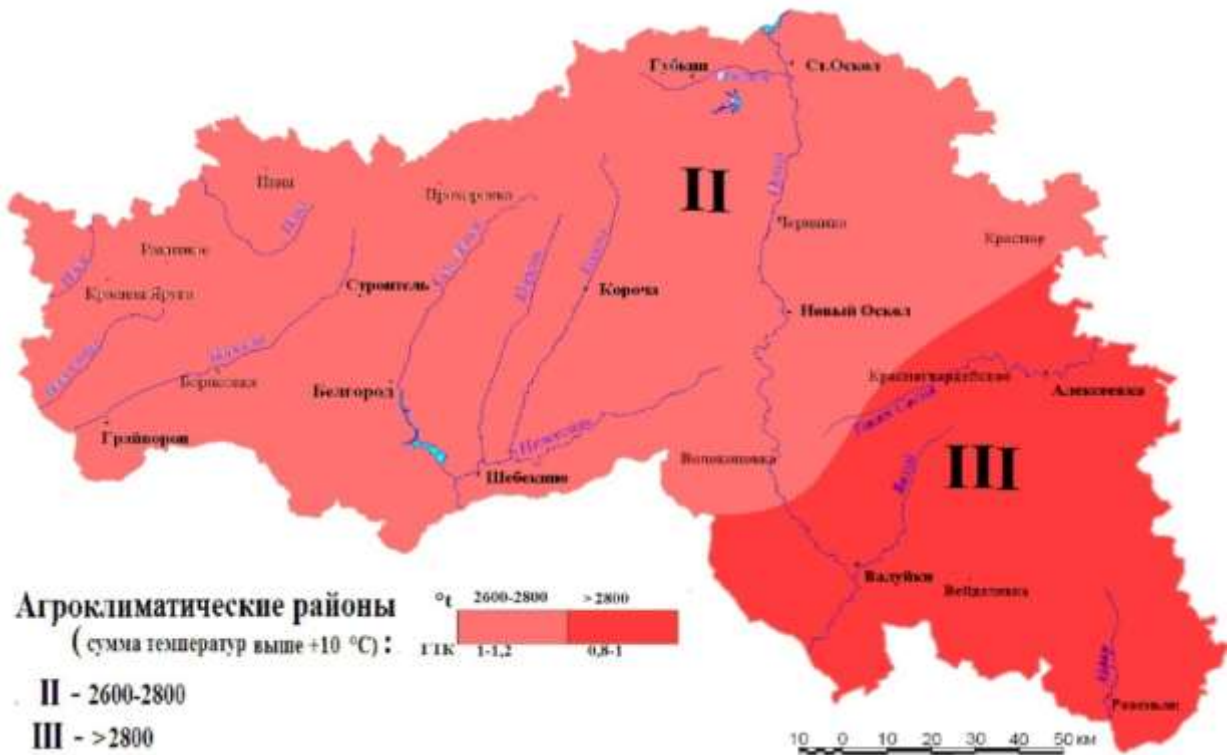


Рисунок 2. Агроклиматическое районирование за период 1981–2010 гг.
Figure 2. Agroclimatic zoning for the period 1981–2010

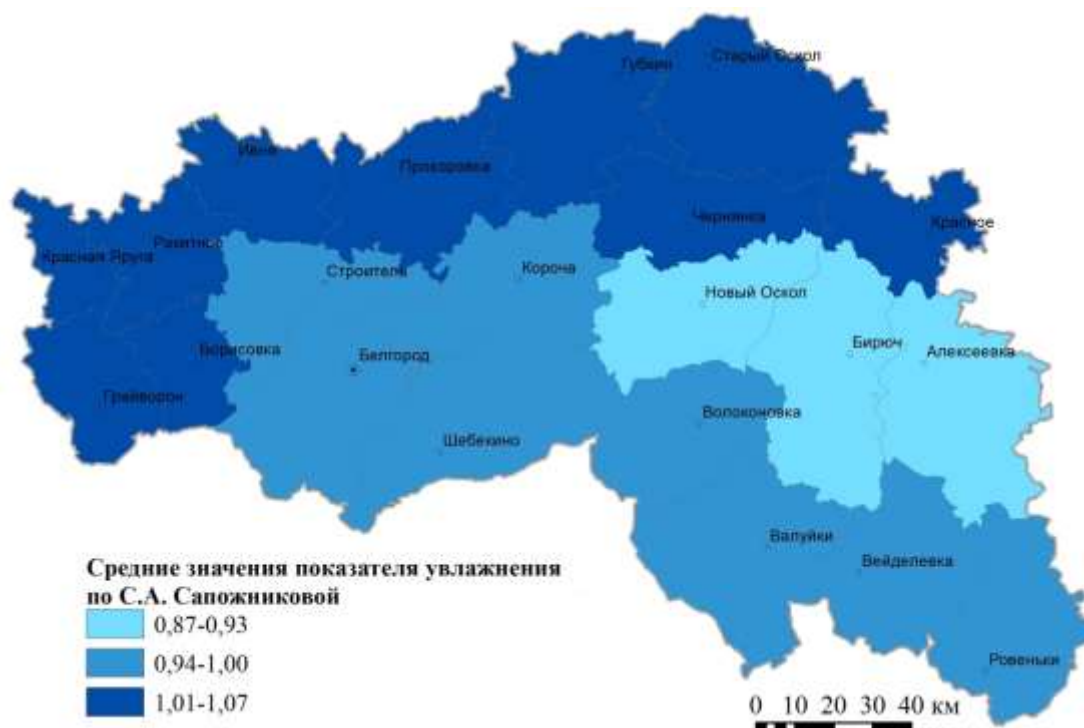


Рисунок 3. Средние значения показателя увлажнения по С.А. Сапожниковой за период 1988–2000 гг
Figure 3. The average indicator value for moisture by S.A. Sapozhnikova for the period 1988–2000



Рисунок 4. Средние значения показателя увлажнения по С.А. Сапожниковой за период 2000–2014 гг.
Figure 4. The average indicator value for moisture by S.A. Sapozhnikova for the period 2000–2014

Таблица 1. Среднеобластные показатели увлажнения (%)
Table 1. The average regional indicators of hydration (%)

Показатель увлажнения	Период 1988–2000 гг.	Период 2001–2014 гг.
Очень засушливо	3,9	1,8
Засушливо	19,1	35,7
Слабо засушливо	28,8	35,7
Оптимально увлажнено	32,7	23,2
Обильно увлажнено	11,6	0
Избыточно увлажнено	3,9	1,8
Переувлажнено	0	1,8

Таблица 2. Среднеобластные величины относительных значений БКП, %
Table 2. The average regional relative values of BCP, per cent

БКП	Период 1988–2000 гг.	Период 2001–2014 гг.
Пониженный	0	10
Средний	96	81
Повышенный	4	9

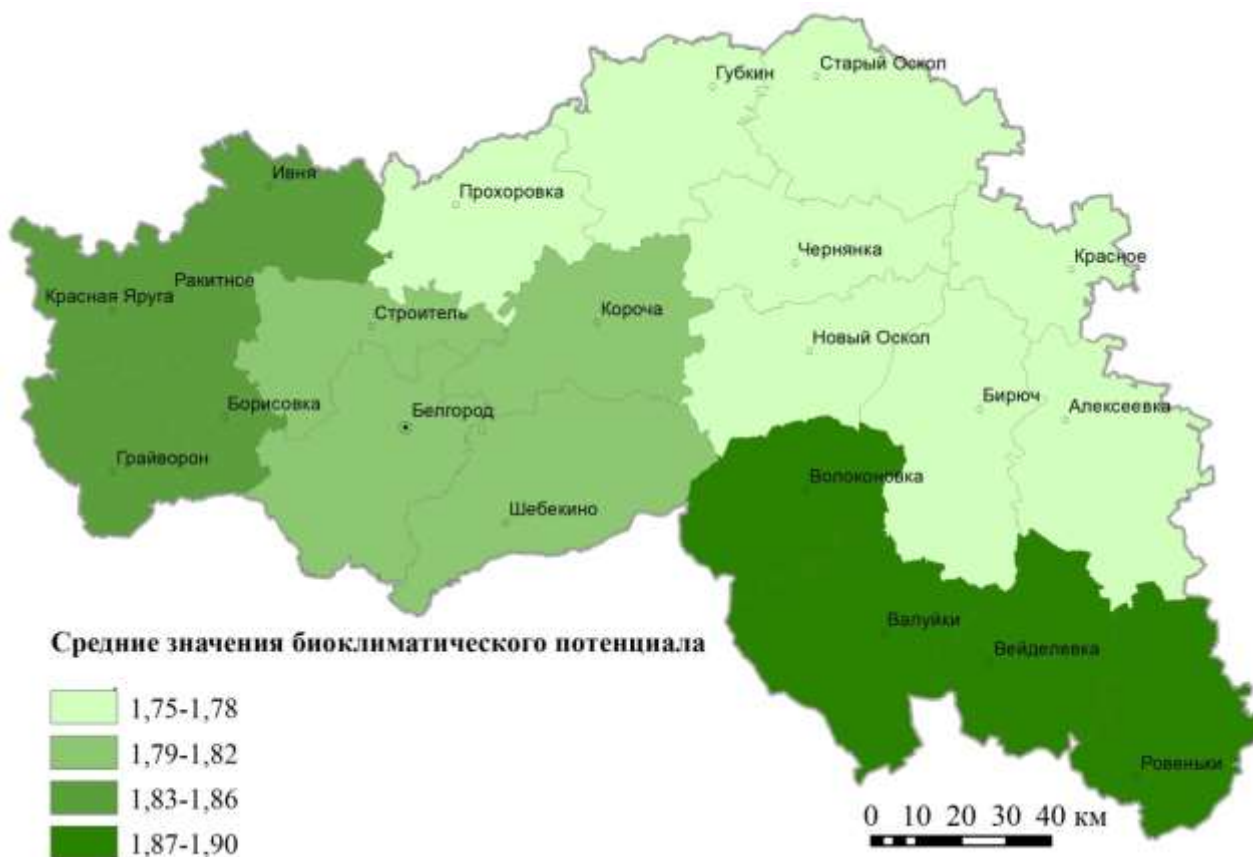


Рисунок 5. Средние значения БКП за период 1988–2000 гг.
Figure 5. The average values of bioclimatic potential for the period 1988–2000

Изменение агрометеорологического районирования региона влияет на структуру посевных площадей, позволяя выращивать теплолюбивые виды растений (виноград, орехи). В частности, в последние годы в Белгородской области активно внедряется в севооборот соя, активизируется садоводство, характерное для Белогорья на рубеже XIX–XX столетий, но уже с более широким набором видов и сортов семечковых и косточковых культур. Фермерские хозяйства начали успешно развивать бахчеводство.

Для проведения сортоиспытаний новых видов растений и планирования севооборотов потребители агрометеорологической информации крайне заинтересованы в данных о влагообеспеченности с учётом административного деления территории. Для этого были составлены карты показателя увлажнения, представленные на рисунках 3 и 4.

Фактические средние значения показателя увлажнения (по Сапожниковой) в регионе ухудшились: с 0,985 в 1988–2000 гг. до 0,888 в 2001–2014 гг. (таблица 1).

При этом в конце XX века на западе и северо-востоке Белгородской области показатель увлажнения изменялся в пределах 1,03–1,06, а в начале XXI века для всей территории области показатель увлажнения был ниже 1. В начале XXI века засушливость территории Белгородской области усилилась по сравнению с последним десятилетием XX века в 1,4 раза.

Показатель увлажнения указывает на снижение вероятности оптимального увлажнения в вегетационный период. Увлажнение стало нестабильным с общим трендом к усилению засушливости.

Происходящие климатические изменения определили тенденции изменения биоклиматического потенциала. Биоклиматический потенциал Белгородской области за прошедшие годы изменился от 1,81 в период 1988–2000 гг. до 1,85 в начале XXI столетия (рисунки 5, 6).

Качественная оценка биоклиматического потенциала в регионе по двум периодам показала, что в первом периоде в 96 % случаев БКП характеризовался как средний и в 4 % – как повышенный; во втором периоде возросла изменчивость исследуемого параметра – наряду со средними значениями БКП (81 %) в 10 % случаев данный показатель был пониженным, а в 9 % – повышенным (таблица 2).

По территории Белгородской области различия в формировании биоклиматического потенциала проявляются следующим образом: на юго-востоке региона характерные для первого периода (1988–2000 гг.) средние показатели БКП сменились большей неустойчивостью – повышенный БКП стал наблюдаться в 14 % случаев, а пониженный – в 7 % случаев. На западе области 100 % средний БКП первого периода в начале XXI века был дополнен в 7 % случаев пониженными значениями и в 93 % случаев средними значениями показателя. В центральной части Белгородской области, где в предшествующий период в 92 % случаев наблюдались средние значения БКП, а в 8 % случаев – пониженные значения, в современных условиях в 71 % случаев характерны средние значения, в 21 % случаев – пониженные значения и в 8 % случаев – повышенные значения БКП. Северо-восток региона характеризуется переходом БКП к росту изменчивости показателя: в 14 % случаев – пониженные значения, в 79 % случаев – средние значения и в 7 % случаев – повышенные значения БКП.

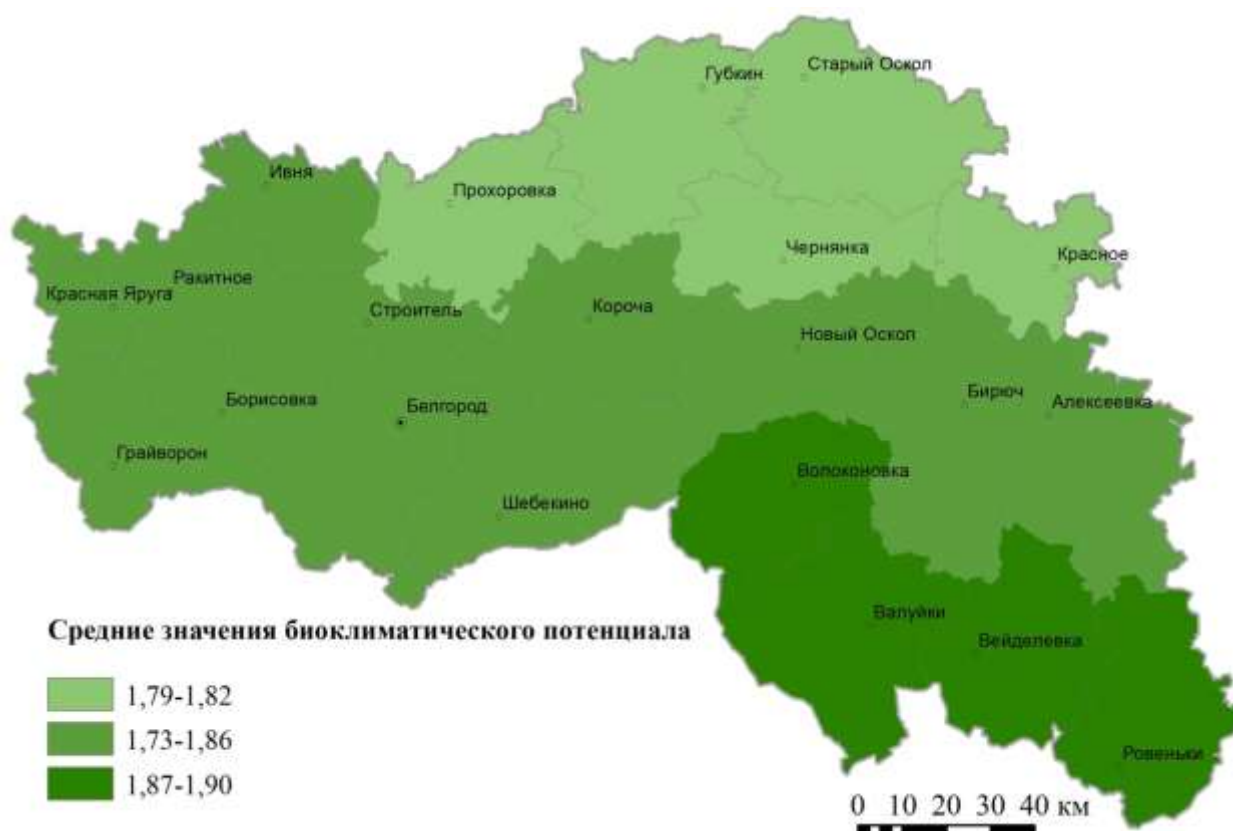


Рисунок 6. Средние значения БКП за период 2001–2014 гг.
Figure 6. The average values of bioclimatic potential for the period 2001–2014

ВЫВОДЫ

В начале нового тысячелетия в Белгородской области изменилось агроклиматическое районирование: исчез первый агрометеорологический район, первый заменился вторым, на месте второго появился третий. На территории области стало возможным выращивание более южных сортов сельскохозяйственных культур.

Происходящие климатические изменения привели к повышению биоклиматического потенциала территории, что в целом положительно для агропромышленного комплекса. Но следует отметить, что рост значений БКП незначителен (от 1,81 до 1,85) и происходит на фоне снижения показателей увлажнения на 10 %. Наблюдаемый рост засушливости при активном росте температур в летний период может в дальнейшем негативно сказаться на биоклиматическом потенциале территории.

Применение ГИС-технологий позволяет в оперативном режиме предоставлять необходимые картографические материалы органам власти и сельхозпроизводителям для принятия управленческих решений по оптимизации АПК региона.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по проекту № 14-17-00171.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 512 с.
2. Почвы и растительность юга Среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата: монография. – Белгород: КОНСТАНТА, 2016. – 326 с.
3. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Yu.G., Petin A.N., Solovyev A.B. Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and Southern Russia in the Early 21st Century *Advances in Meteorology*. – 2016. – Vol. 2016. – Article ID 5035086, 10 pages; <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5035086>.
4. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G., Kornilov A.G., Lupo A.R. Regional Manifestations of Changes in Atmospheric Circulation in Central Black Earth Region (By the Example of Belgorod Region *Advances in Environmental Biology*), 8(10), June 2014. – Pp. 544–547.
5. Chendev Y.G., Lupo A.R., Lebedeva M.G. Studying Summer Seasons Drought in Western Russia *Advances in Meteorology* Volum, 2014, Article ID 942, 9 pages; <http://dx.doi.org/10.1155/2014/942027>.

Alexandr N. Petin¹, Marina G. Lebedeva², Maria A. Petina³, Yury G. Chendev⁴, Olga V. Krymskaya⁵

APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES FOR THE RAPID ASSESSMENT OF AGRO-CLIMATIC CONDITIONS

ABSTRACT

The global warming of the 20-21st centuries shows itself in different regions of the Earth, and especially in recent years. In the south of the Central Chernozem region, where Belgorod Region is located, climatic change is most significant for the agricultural sector of the economy. To create a theoretical basis for optimization of agricultural production the climatic change has to be presented in terms of cartographic design.

It is recommended to use a wide set of indicators – climate indices for assessment of thermal resources and the character of the territory moistening for the adequate evaluation of the climate change influence on agricultural production.

The change of character of the atmospheric circulation in 1998 resulted in the changes of the thermal regime of the summer period such as that disappearance of the first (North) agrometeorological area in Belgorod Region at the beginning of the 21st century, and the appearance of the third agrometeorological area has been, that was typical earlier for the most southern regions of the country.

Changes in the agrometeorological zoning of the region affect the structure of crop areas and allow cultivating of heat-loving plants (grapes, nuts). In particular, in recent years in Belgorod Re-

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod National Research University”; Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st, 85; *e-mail*: petin@bsu.edu.ru

² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod National Research University”; Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st, 85; *e-mail*: lebedeva_m@bsu.edu.ru

³ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod National Research University”; Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st, 85; *e-mail*: petina_m@bsu.edu.ru

⁴ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod National Research University”; Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st, 85; *e-mail*: chendev@bsu.edu.ru

⁵ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod National Research University”; Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st, 85; *e-mail*: krymskaya@bsu.edu.ru

gion soybeans are actively introduced into the crop rotation and horticulture, typical for Belgorod at the frontier of the 19th-20th centuries, is intensified, but with a wider range of species and varieties of the seeded and drupaceous crops. Farming enterprises has successfully begun to develop the melon growing.

For testing the variety of new species of plants types and planning crop rotations, the users of agrometeorological information are very interested in data on the moisture availability with respect to the administrative division of the territory. For these purposes the maps of the moisture indicator and bioclimatic potential of the territory with respect to the administrative division were compiled.

The application of GIS-technologies allows one in the operative mode to provide the necessary cartographic materials for the authorities and agricultural producers with various time and spatial generalization for making managerial decisions on optimization of regional agricultural complex.

KEYWORDS:

climate change, agroclimatic resources, hydrothermal regime, agroclimatic zoning, bioclimatic potential

REFERENCES

1. Gordeev A.V., A.D. Kleschenko, B.A. Chernyakov, O.D. Sirotenko. Bioklimaticheskii potentsial Rossii: teoriia i praktika [Bioclimatic potential of Russia: theory and practice], Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2006, 512 p. (in Russian).
 2. Pochvy i rastitelnost iuga Srednerusskoi vozvyshehnosti v usloviakh meniaiushchegosia klimata: monografiia [Soils and vegetation of the upland South in a changing climate: a monograph], Belgorod: KONSTANTA, 2016, 326 p. (in Russian).
 3. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Yu.G., Petin A.N., Solovyev A.B. Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and Southern Russia in the Early 21st Century, *Advances in Meteorology*, 2016, Vol. 2016, Article ID 5035086, 10 pages; <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5035086>.
 4. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G., Kornilov A.G., Lupo A.R. Regional Manifestations of Changes In Atmospheric Circulation in Central Black Earth Region (By the Example of Belgorod Region *Advances in Environmental Biology*), 8 (10), June 2014, pp. 544–547.
 5. Chendev Y.G., Lupo A.R., Lebedeva M.G. Studing Summer Seasons Drought in Western Russia, *Advances in Meteorology*, Vol. 2014, Article ID 942, 9 pages; <http://dx.doi.org/10.1155/2014/942027>.
-