

**В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков**

*Институт природопользования, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь*

## **ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ НА ПЕРИОД 2016–2035 гг.**

**Аннотация:** Увеличение активных температур, тенденции в изменении атмосферных осадков и других показателей обуславливают необходимость составления климатических прогнозов как на ближайшую перспективу, так и на более отдаленный период. Разработка таких перспективных сценариев крайне необходима для успешной адаптации сельскохозяйственного производства в сложившихся агроклиматических условиях. Цель работы – разработка прогноза изменений биоклиматического потенциала (БКП) территории Беларуси на ближайшую перспективу, определение общих закономерностей изменений БКП в будущем и оценка благоприятности биоклиматических условий для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур. Разработан прогноз изменений БКП за период 2016–2035 гг. на основе глобальной климатической модели HadCM3. Для расчета БКП была использована методика Д. И. Шашко. На основании данных об оптимальных ресурсах тепла и влаги для роста и развития сельскохозяйственных культур были рассчитаны оптимальные значения БКП для их выращивания. Прогноз показал дальнейшее существенное увеличение значений БКП в течение прогнозируемого периода при сохранении тенденций изменений, характерных для периода современного потепления климата. Установлено, что общие закономерности пространственного изменения БКП, в том числе оптимального БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур, сохраняются в будущем.

**Ключевые слова:** биоклиматический потенциал, прогноз, изменения климата, условия выращивания сельскохозяйственных культур

**Для цитирования:** Логинов В. Ф. Прогноз изменений биоклиматического потенциала территории Беларуси на период 2016–2035 гг. / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 1. – С. 51–64. (in Russian)

**V. F. Loginov, M. A. Khitrykau**

*The Institute for Nature Management, the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

## **PREDICTING CHANGES IN BIOCLIMATIC POTENTIAL IN THE TERRITORY OF BELARUS FOR THE PERIOD OF 2016–2035**

**Abstract:** Active temperature increase, trends in atmospheric precipitation changes and other indicators necessitates compilation of climate forecasts both for the near future and for distant period. Development of such prospective scenarios is essential for successful adaptation of agricultural production in the prevailing agro-climatic conditions. The aim of the paper is prediction of changes of bioclimatic potential (BCP) in the territory of Belarus for the near future, to determine general patterns of BCP changes in the future and to assess the favorable bioclimatic conditions for growing specific crops. Forecast of BCP changes is developed for the period of 2016–2035 based on the global climate model HadCM3. The method of D. I. Shashko was used for BCP calculation. Based on the data on optimal heat and moisture resources for growth and development of agricultural crops, the optimal BCP values were calculated. Prediction showed further significant increase in BCP values during the forecast period, while maintaining the trends of changes peculiar of the period of modern climate warming. It is determined that the general patterns of spatial BCP changes, including optimal BCP for growing specific crops, will be relevant in the future.

**Keywords:** climate forecasts, bioclimatic potential, forecast, climate change, conditions for agricultural crops cultivation

**For citation:** Loginov V. F., Khitrykau M. A. Predicting changes in bioclimatic potential in the territory of Belarus for the period of 2016–2035 / *Vesti Natsyonal'nyay akademii navuk Belarusi. Seriya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2018, vol. 56, no 1, pp. 51–64. (in Russian)

**Введение.** Наиболее остро проблема адаптации к изменяющимся климатическим условиям стоит для такой отрасли, как сельское хозяйство, поскольку погодные и климатические условия являются одним из главных факторов, определяющих межгодовую изменчивость величины

урожайности [1, 2]. Ключевой проблемой адаптации сельскохозяйственного производства к изменяющемуся климату является адаптация к повышающимся температурам, пространственно-временным изменениям количества осадков и учащающимся неблагоприятным явлениям. Для принятия решений по адаптации сельского хозяйства необходимы качественные прогнозы изменения погоды и климата.

Наибольшую ценность представляют долгосрочные прогнозы, потому что на их основе составляются планы проведения агротехнических мероприятий: прогнозы погоды на сезон используются для составления планов мероприятий на каждый отдельный год, а прогнозы климата – для перспективного ориентирования и планирования в сельскохозяйственном производстве. В связи с происходящими ныне изменениями климата планирование в долгосрочной перспективе приобретает особую актуальность. Установлено, что за период современного потепления климата (с 1989 г.) на территории Республики Беларусь произошло увеличение сумм активных температур на 300–450 °С, а на большинстве станций страны отмечен рост осадков на 15–50 мм [3–5]. Подобное изменение условий выращивания сельскохозяйственных культур является существенным и служит веским основанием для пересмотра существующего агроклиматического районирования. Существенные изменения климата ожидаются и в будущем [4], поэтому для обеспечения успешной адаптации сельскохозяйственного производства необходимы климатические прогнозы на ближайшую и отдаленную перспективу.

Для практического использования в сельскохозяйственном производстве более удобны комплексные оценки климатических условий выращивания сельскохозяйственных культур, например, рассмотренные в работах [6–8], а не оценки отдельных климатических параметров. В этом свете одним из наиболее простых и удобных способов оценки качества условий выращивания сельскохозяйственных культур в ближайшем будущем является биоклиматический потенциал территории (БКП). [Биоклиматический потенциал – это комплекс климатических факторов, определяющий биологическую продуктивность земли на данной территории [9], выраженный в форме индекса.] БКП прост в расчете и позволяет оценить степень благоприятности ресурсов тепла и влаги для роста и развития сельскохозяйственных культур. Показатель БКП может быть легко адаптирован для различных природных условий и специальных нужд, таких как практические оценки качества текущих и будущих условий выращивания сельскохозяйственных культур.

Показатель БКП разрабатывался для оценки агроклиматических условий на территории СССР, поэтому он получил распространение в странах данного региона. В настоящее время работы по оценке биоклиматического потенциала проводятся преимущественно в России и Украине. Исследования БКП в России включают в себя детальные оценки биоклиматического потенциала отдельных регионов [10, 11], оценки БКП с помощью численных моделей продуктивности сельскохозяйственных культур [12, 13] и обобщающие работы с учетом переоценки БКП в условиях современного потепления климата [14]. Оценками БКП и его изменений на территории Украины занимается научная школа З. А. Мищенко в Одесском государственном экологическом университете [15, 16]. В Беларуси также проводились работы по оценке биоклиматического потенциала территории [17–19], однако преобладающим направлением работ является оценка благоприятности отдельных агроклиматических характеристик для роста и развития растений [20–25].

Цель работы – разработка прогноза изменений биоклиматического потенциала территории Беларуси на ближайшую перспективу, определение общих закономерностей изменений БКП в будущем и оценка благоприятности биоклиматических условий для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур.

**Методика выполнения работ.** Расчет значения биоклиматического потенциала был проведен по методике Д. И. Шашко, разработанной в 1970-х гг. и основывающейся на учете тепловых и влажностных ресурсов, необходимых для развития растений. Для вычисления индекса БКП используется следующая формула [9]:

$$\text{БКП} = K_p \frac{\sum T > 10^\circ\text{C}}{\sum T_{\text{баз}}},$$

где  $\sum T > 10\text{ }^\circ\text{C}$  – сумма активных температур выше  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\sum T_{\text{баз}}$  – базисная сумма температур.  $K_p$  – коэффициент роста по ресурсам влаги, который рассчитывается по формуле

$$K_p = 1,51g(20Md) - 0,24 + 0,36Md - Md^2.$$

Здесь  $Md$  – показатель увлажнения, равный

$$Md = \frac{\sum P}{\sum (E - e)},$$

где  $\sum P$  – годовая сумма осадков;  $\sum (E - e)$  – годовая сумма значений дефицитов влажности воздуха. Полученное значение индекса умножается на 55 и переводится в баллы для удобства сравнения.

На следующем этапе рассчитывали оптимальные значения биоклиматического потенциала для наиболее распространенных в Беларуси сельскохозяйственных культур: озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя, овса, кукурузы, гречихи, льна-долгунца, картофеля и сахарной свеклы. Для этих целей была использована следующая методика. Базисная сумма температур  $\sum T_{\text{баз}}$  в исходной расчетной формуле была заменена на минимальные биологические суммы температур выше  $10\text{ }^\circ\text{C}$ , необходимые для развития отдельных сельскохозяйственных культур. Затем в формулу был введен уточняющий коэффициент на величину доступной влаги для растений вида

$$K = \frac{0,75 \sum P}{\sum P_0},$$

где  $\sum P$  – общее суммарное количество осадков;  $\sum P_0$  – минимальное оптимальное количество осадков, необходимое для развития сельскохозяйственных культур. Сведения о величине биологических сумм температур были взяты из работы З. А. Мищенко [15], а о величине оптимального количества осадков – из работы М. К. Каюмова [26]. Значения биологических сумм температур и оптимального количества осадков для развития сельскохозяйственных культур, использованные при расчетах, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. **Биоактивные суммы температур и оптимальные значения количества осадков, необходимые для развития сельскохозяйственных культур**

T a b l e 1. **Bioactive sums of temperature and optimal precipitation values necessary for agricultural crops development**

| Культура       | Биологическая сумма температур, $^\circ\text{C}$ | Оптимальное количество осадков, мм | Культура        | Биологическая сумма температур, $^\circ\text{C}$ | Оптимальное количество осадков, мм |
|----------------|--|------------------------------------|-----------------|--|------------------------------------|
| Яровая пшеница | 1700   | 450                                | Кукуруза        | 2500   | 560                                |
| Озимая пшеница | 1500   | 425                                | Гречиха         | 1400   | 270                                |
| Озимая рожь    | 1400   | 400                                | Лен-долгунец    | 1100   | 450                                |
| Яровой ячмень  | 1450   | 365                                | Картофель       | 1800   | 460                                |
| Овес           | 1550   | 350                                | Сахарная свекла | 2200   | 575                                |

Текущая тенденция изменений БКП по территории Беларуси такова, что значения индекса увеличиваются на протяжении всего периода современного потепления климата (с 1989 г.). Значения биоклиматического потенциала за период 2001–2015 гг. (вторая фаза периода современного потепления климата) составляют 155–175 баллов. Средние значения БКП для отдельных сельскохозяйственных культур за аналогичный период приведены в табл. 2.

Расчет значений биоклиматического потенциала был проведен на основании прогнозных значений метеорологических параметров за период 2016–2035 гг. Эти данные были получены по результатам эксперимента с использованием ансамблевой климатической модели HadCM3 Центра Хэдли по изменениям климата (Великобритания). Для расчетов были отобраны четыре различ-

Т а б л и ц а 2. Значения БКП для отдельных сельскохозяйственных культур за период 2001–2015 гг.

T a b l e 2. BCP values for the specified agricultural crops for the period of 2001–2015

| Культура       | Значение БКП | Культура        | Значение БКП |
|----------------|--------------|-----------------|--------------|
| Яровая пшеница | 100–130      | Кукуруза        | 50–70        |
| Озимая пшеница | 120–160      | Гречиха         | 200–270      |
| Озимая рожь    | 130–180      | Лен-долгунец    | 150–210      |
| Яровой ячмень  | 140–190      | Картофель       | 90–120       |
| Овес           | 140–190      | Сахарная свекла | 60–80        |

ных ансамбля (№ 1, № 4, № 7 и № 10). Нами были использованы данные эксперимента по сценарию RCP 4.5<sup>1</sup> – изменение концентрации парниковых газов в атмосфере. Данный сценарий был выбран потому, что является наиболее адекватным отображением возможного изменения концентрации парниковых газов в атмосфере в ближайшем будущем (до 2040 г.), не занижающим и не завышающим оценки [27]. Численный эксперимент охватывал период 2006–2035 гг., размеры ячейки расчетной сетки составляли 2,5° по широте и 3,75° по долготе. Для характеристики изменений по Беларуси было отобрано 15 точек, охватывающих территорию между 50° с. ш. и 57,5° с. ш. и 22,5° в. д. и 33,75° в. д. Точка с координатами 57,5° с. ш., 22,5° в. д. была исключена, потому что результаты численного эксперимента показали неадекватные значения температуры по ней. Временной шаг расчетов составлял 1 день. Источником данных послужила база данных Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (США)<sup>2</sup>.

Для более детального изучения особенностей изменения биоклиматического потенциала в будущем рассматриваемый период был разделен на два подпериода продолжительностью 10 лет: 2016–2025 гг. и 2026–2035 гг., в зависимости от характера изменения температур по сезонам [28].

Для построения карт было использовано программное обеспечение ArcGIS<sup>3</sup>. Для интерполяции значений был применен метод сплайн.

**Анализ полученных результатов.** Для обеспечения связанности результатов данной работы и результатов, полученных в рамках предыдущего исследования БКП территории Беларуси [19], был проведен сравнительный анализ значений БКП за период 2006–2015 гг., для которого были доступны как данные метеорологических наблюдений, так и данные эксперимента с использованием численной климатической модели. Было определено, что значения БКП, полученные по результатам эксперимента с использованием численной климатической модели, имеют существенную систематическую погрешность. Значения среднесуточной температуры, рассчитанные с помощью всех ансамблей климатической модели, систематически оказывались ниже фактических значений. По этой причине суммы активных температур выше 10°C и, как следствие, итоговые значения БКП, рассчитанные по данным глобальной климатической модели, были ниже реальных. Небольшая систематическая погрешность также была свойственна значениям дефицита насыщения влажности воздуха, рассчитанным по данным глобальной климатической модели. Непосредственный расчет дефицита насыщения влажности воздуха в модели HadCM3 не проводится, поэтому он рассчитывался на основании показателей количества осадков, атмосферного давления и удельной влажности воздуха с помощью эмпирических формул по методике ВМО<sup>4</sup>, что привело к возникновению небольших систематических погрешностей. Таким образом, для того чтобы результаты расчета значений БКП на

<sup>1</sup> RCP (Representative Concentration Pathways) – группа сценариев, описывающих возможные изменения концентрации парниковых газов в атмосфере. Цифры в названии сценария означают величину радиационного форсинга парниковых газов. Согласно данному сценарию, к 2050 г. концентрация углекислого газа в атмосфере составит 0,054 %. В настоящее время она составляет 0,04 %.

<sup>2</sup> База климатических данных Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса [Электронный ресурс] // Lawrence Livermore National Laboratory. – Режим доступа: <https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/>. – Дата доступа: 05.12.2016.

<sup>3</sup> ArcGIS Online : облачная картографическая платформа [Электронный ресурс] // ArcGIS. – Режим доступа: <https://www.arcgis.com/>. – Дата доступа: 25.01.2017.

<sup>4</sup> Technical Regulations. Vol. 1. General meteorological standards and recommended practices. Geneva : World Meteorological Organization, 1988. 88 p.

основе данных глобальной климатической модели были сопоставимы с расчетами по данным реальных наблюдений, необходимо введение экспертных поправок, представляющих собой разность между действительными значениями БКП и значениями БКП, рассчитанным по данным глобальной климатической модели за период 2006–2015 гг. (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. **Поправки к значениям БКП**

Table 3. **Adjustments for BCP values**

| Значения БКП  | Величина поправки, баллы | Значения БКП                        | Величина поправки, баллы |
|---|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| БКП, рассчитанный непосредственно по методике Д. И. Шашко | 27,6                     | Оптимальный БКП для овса            | 25,1                     |
|   |                          | Оптимальный БКП для кукурузы        | 9,7                      |
| Оптимальный БКП для озимой пшеницы                        | 21,4                     | Оптимальный БКП для гречихи         | 36,1                     |
| Оптимальный БКП для яровой пшеницы                        | 17,8                     | Оптимальный БКП для льна-долгунца   | 27,5                     |
| Оптимальный БКП для озимой ржи                            | 24,4                     | Оптимальный БКП для картофеля       | 16,5                     |
| Оптимальный БКП для ячменя                                | 25,8                     | Оптимальный БКП для сахарной свеклы | 10,8                     |

Данные поправки были использованы для того, чтобы получить уточненные значения БКП за период 2006–2015 гг., а затем на их основе вывести уточненные значения БКП для последующих периодов.

Значения индекса БКП, полученные для периода 2016–2025 гг., представлены на рис. 1–3.

Как видно на рис. 1, значения биоклиматического потенциала по территории Беларуси и смежным территориям соседних стран повышаются при продвижении с севера и северо-запада на юг и юго-восток. В северной части рассматриваемой территории направление изолиний БКП близко

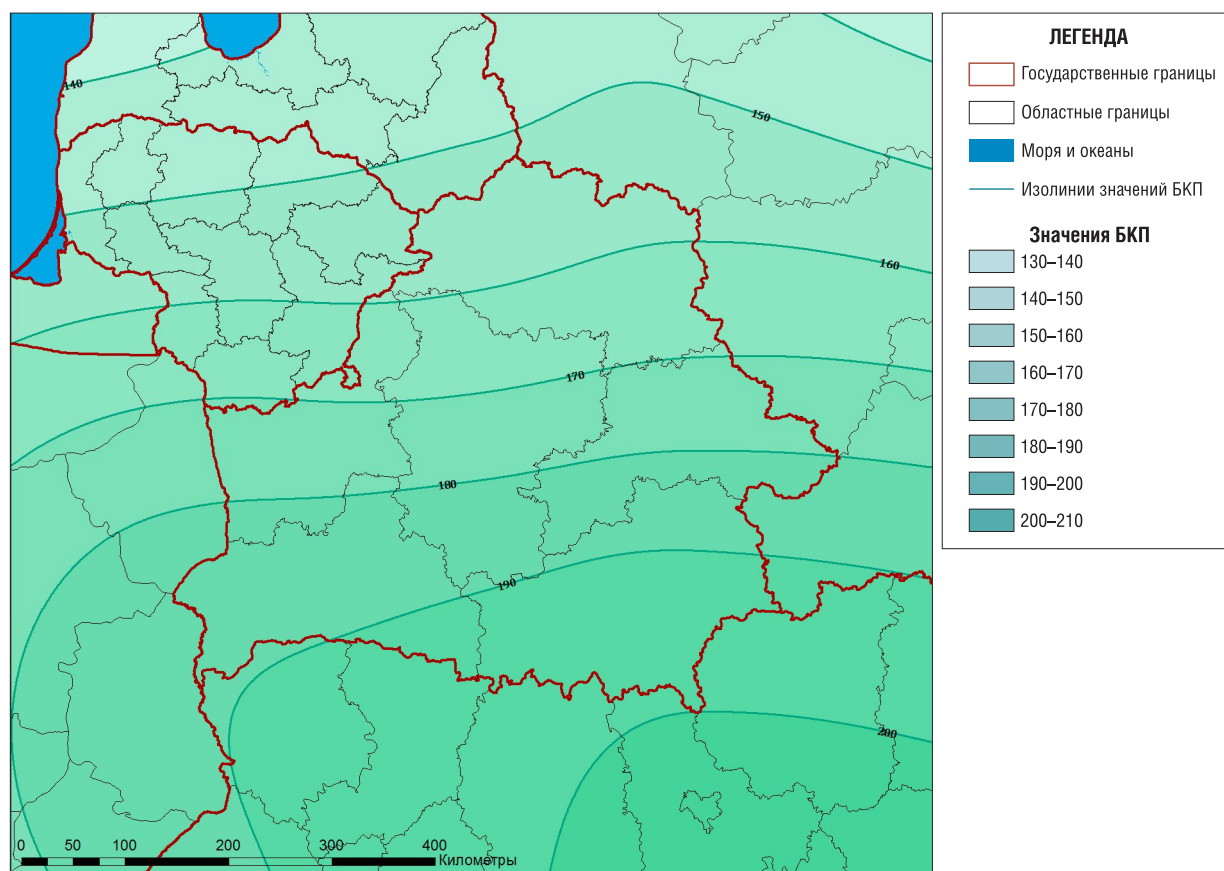


Рис. 1. Прогнозные значения БКП за период 2016–2025 гг.

Fig. 1. BCP predicted values for the period of 2016–2025

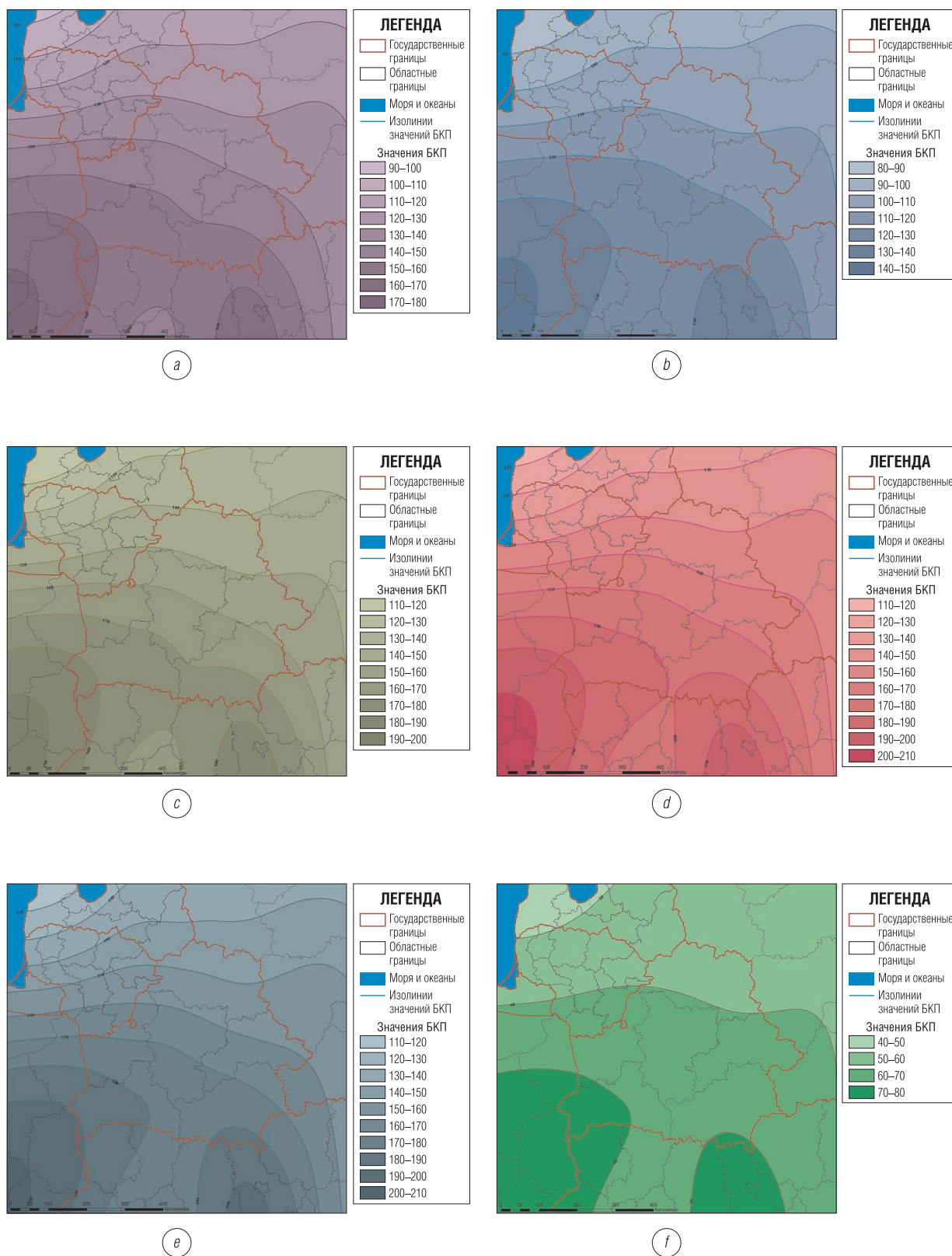


Рис. 2. Прогнозные оптимальные значения БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур за период 2016–2025 гг.: *a* – озимой пшеницы; *b* – яровой пшеницы; *c* – озимой ржи; *d* – ячменя; *e* – овса; *f* – кукурузы

Fig. 2. Predicted optimal BCP values for specified agricultural crops cultivation for the period of 2016–2025: *a* – winter wheat; *b* – spring wheat; *c* – winter rye; *d* – barley; *e* – oat; *f* – maize

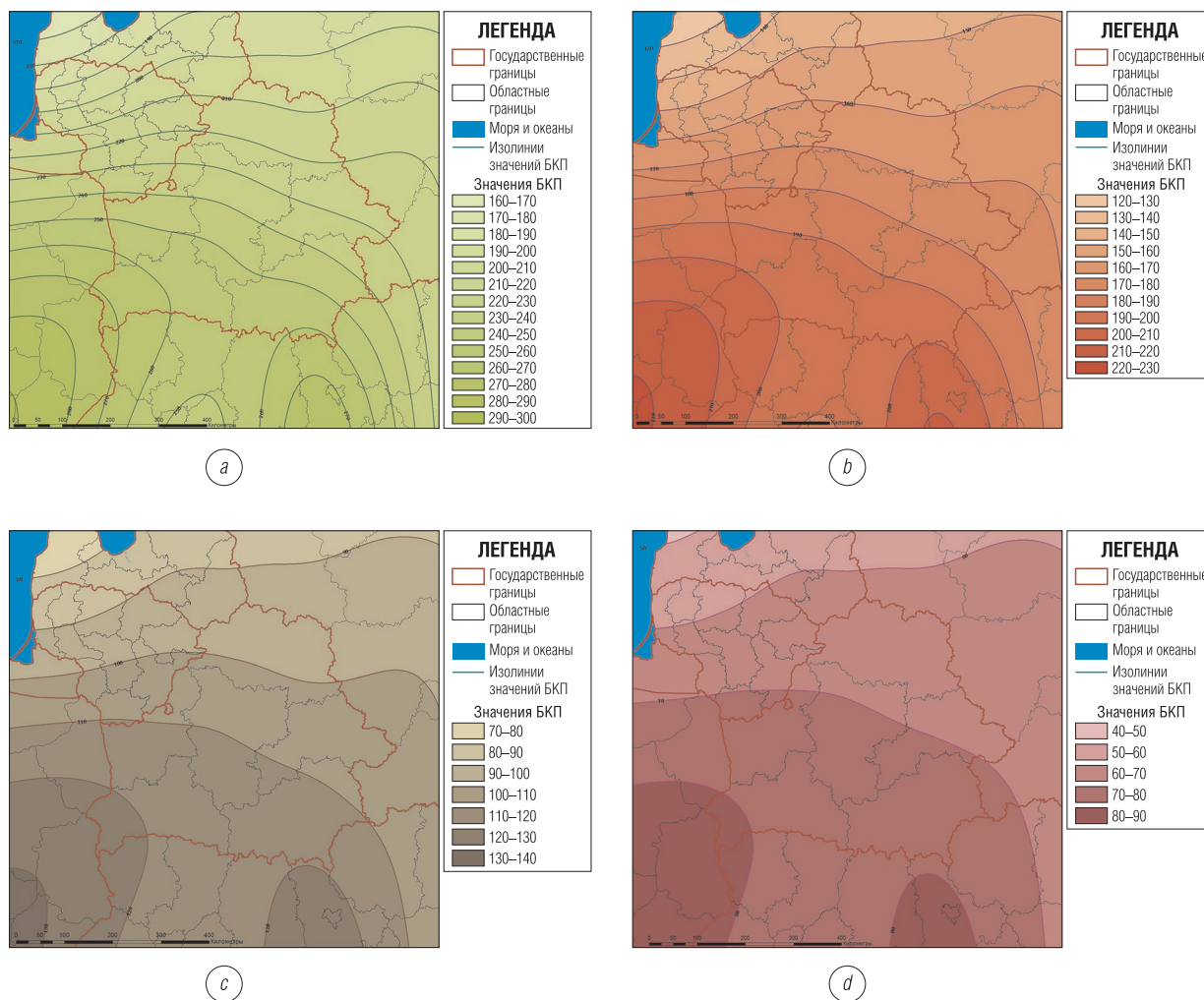


Рис. 3. Прогнозные оптимальные значения БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур за период 2016–2025 гг.: *a* – гречихи; *b* – льна-долгунца; *c* – картофеля; *d* – сахарной свеклы

Fig. 3. Predicted optimal BCP values for specified agricultural crops cultivation for the period of 2016–2025: *a* – buckwheat; *b* – flax; *c* – potato; *d* – sugar beet

к широтному. Отдельных локальных максимумов и минимумов значений БКП не прослеживается. Подобное распределение объясняется тем, что масштаб расчетной сетки климатической модели оказался слишком велик для того, чтобы описать возможные местные аномалии распределения значений БКП. Характер распределения значений БКП схож с характером распределения величины сумм активных температур выше 10 °С. Значения этого показателя оказали наибольшее влияние на итоговую величину БКП. Расчет показал, что за период 2016–2025 гг. средние значения биоклиматического потенциала по территории Беларуси составят 155–195 баллов. Они выше значений за предшествующий период (2001–2015 гг.) на 5–20 баллов при среднем превышении 8–14 баллов для отдельно взятых узлов сетки. Необходимо отметить значительно возросший разброс значений БКП по территории страны: в течение периода 2001–2015 гг. значения БКП по территории Беларуси составляли от 155 до 175 баллов, а в 2016–2025 гг. разброс составит от 155 до 195 баллов. Причина этого заключается в том, что использованные для прогноза БКП метеорологические характеристики отличались значительной изменчивостью. Эта особенность наиболее четко прослеживается для характеристики температуры. Кроме этого необходимо отметить еще одну особенность изменений БКП: за период текущего потепления климата (2001–2015 гг.)<sup>5</sup> на территории Украины произошло

<sup>5</sup> Анализ процессов урбанизации и мелиорации земель на территории Беларуси как фактор изменения свойств подстилающей поверхности и климата: отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси; рук. В. Ф. Логинов. – Минск, 2017. – 220 с. – № ГР 20160128.

снижение значений БКП относительно предыдущего периода. Однако прогностическая модель не показала эту особенность: согласно данным прогнозных расчетов, значения БКП продолжали равномерно увеличиваться по всей рассматриваемой территории. Это свидетельствует о том, что модель недостаточно корректно описывает реальные изменения БКП на территории Украины.

Как видно на рис. 2, 3, распределение оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур отличается от распределения значений БКП, рассчитанных непосредственно по методике Д. И. Шашко. Наибольшие значения БКП наблюдаются в юго-западном и южном регионах, а наименьшие – в северо-западном. Вследствие этого изолиниям оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур не свойственен широтный характер. Густота изолиний существенно выше на западе рассматриваемой территории, чем на востоке. Данные особенности являются следствием введения уточняющего коэффициента на величину доступной влаги для растений в расчетную формулу биоклиматического потенциала. Тем самым усилилось влияние осадков на итоговую величину БКП, сделав распределение оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур более близким к распределению величины количества осадков. Кроме этого, необходимо отметить следующие особенности. В распределении оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур по рассматриваемой территории четко прослеживается зональность, однако исследование оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур по территории Беларуси и смежных территорий сопредельных стран за предшествующие годы<sup>6</sup> не выявило четко выраженной зональности значений БКП. Исследования [19] показали, что распределение значений БКП характеризовалось преобладанием локальных минимумов и максимумов

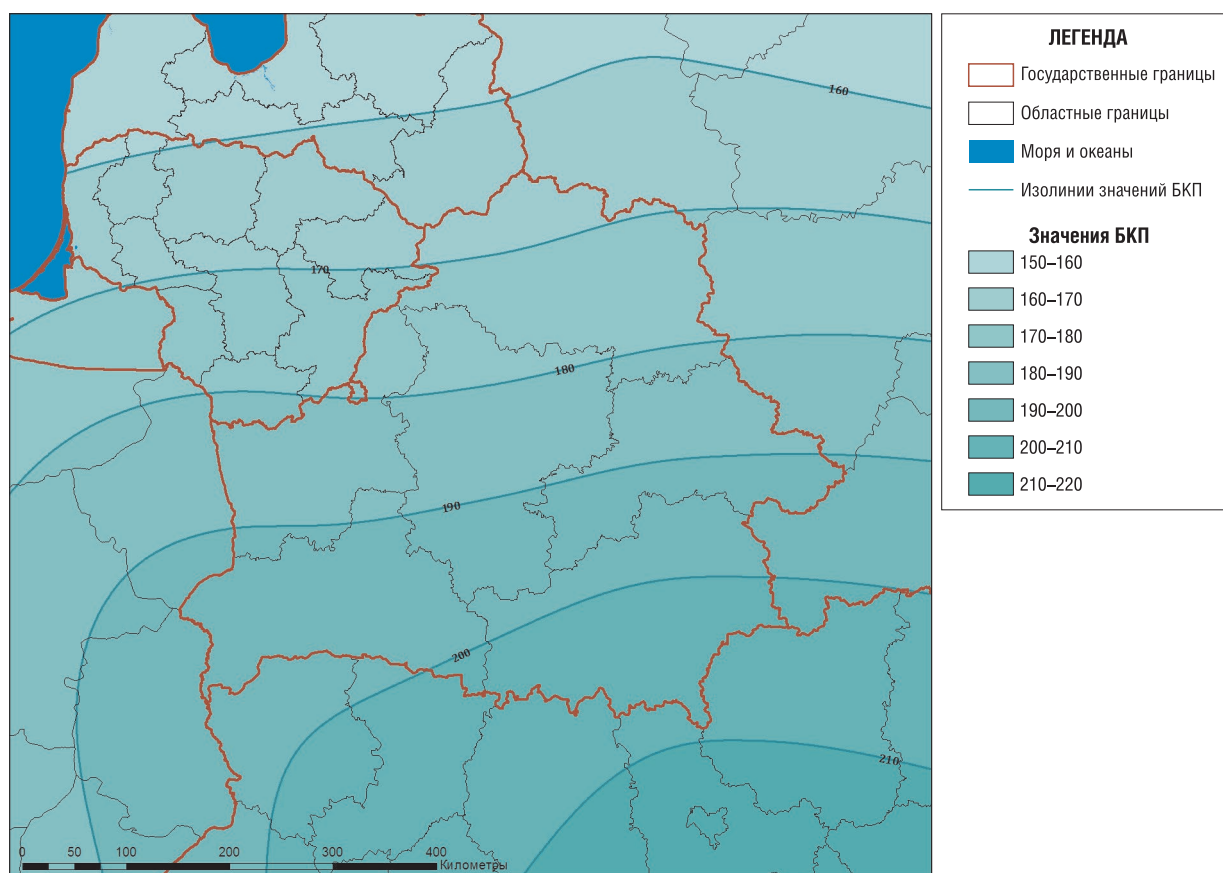


Рис. 4. Прогнозные значения БКП за период 2026–2035 гг.

Fig. 4. Predicted BCP values for the period of 2026–2035

<sup>6</sup> Анализ процессов урбанизации и мелиорации земель на территории Беларуси как фактор изменения свойств подстилающей поверхности и климата: отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси; рук. В. Ф. Логинов. – Минск, 2017. – 220 с. – № ГР 20160128.



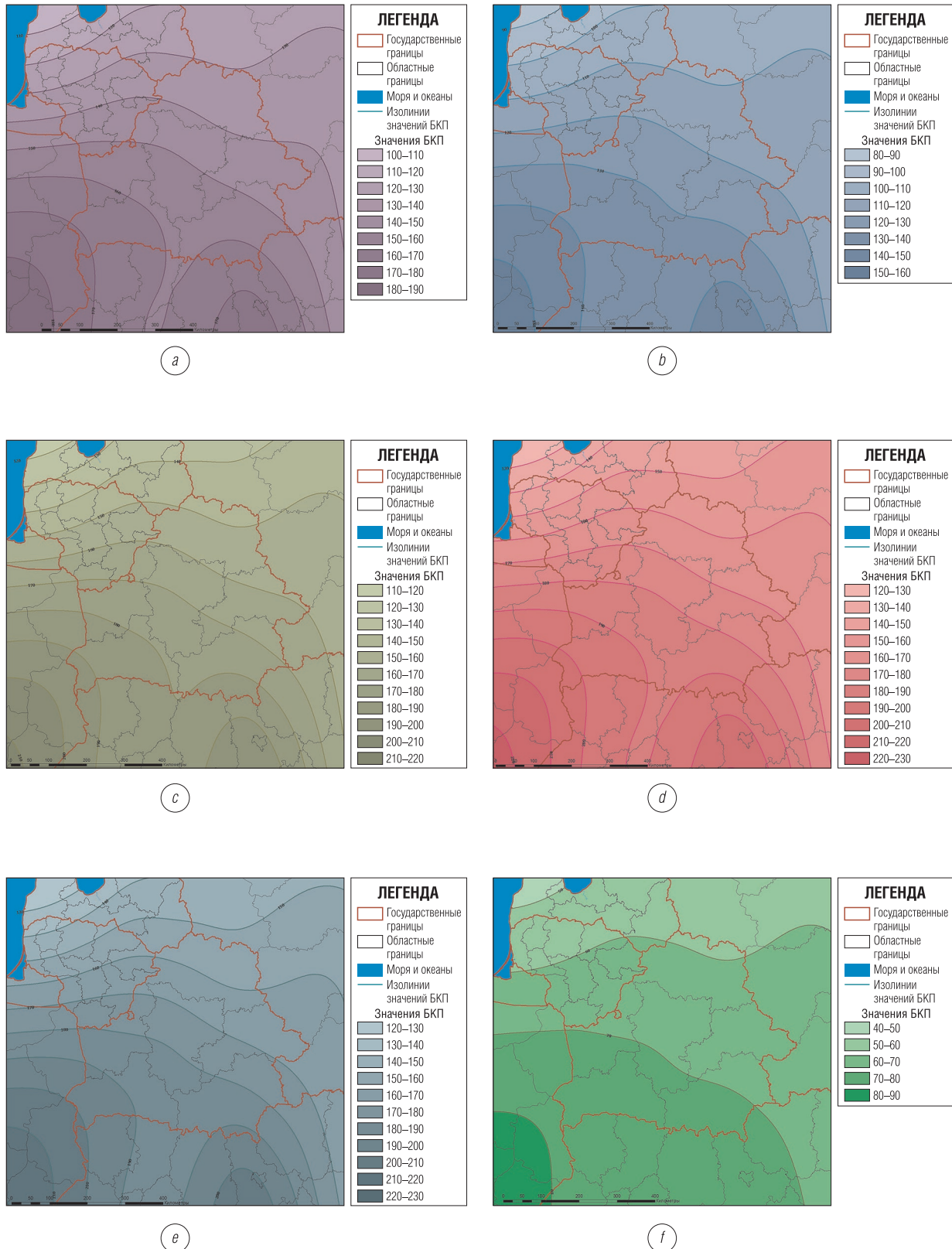


Рис. 5. Прогнозные оптимальные значения БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур за период 2026–2035 гг.: *a* – озимой пшеницы, *b* – яровой пшеницы, *c* – озимой ржи, *d* – ячменя, *e* – овса, *f* – кукурузы

Fig. 5. Predicted optimal BCP values for specified agricultural crops cultivation for the period of 2026–2035: *a* – winter wheat; *b* – spring wheat; *c* – winter rye; *d* – barley; *e* – oat; *f* – maize

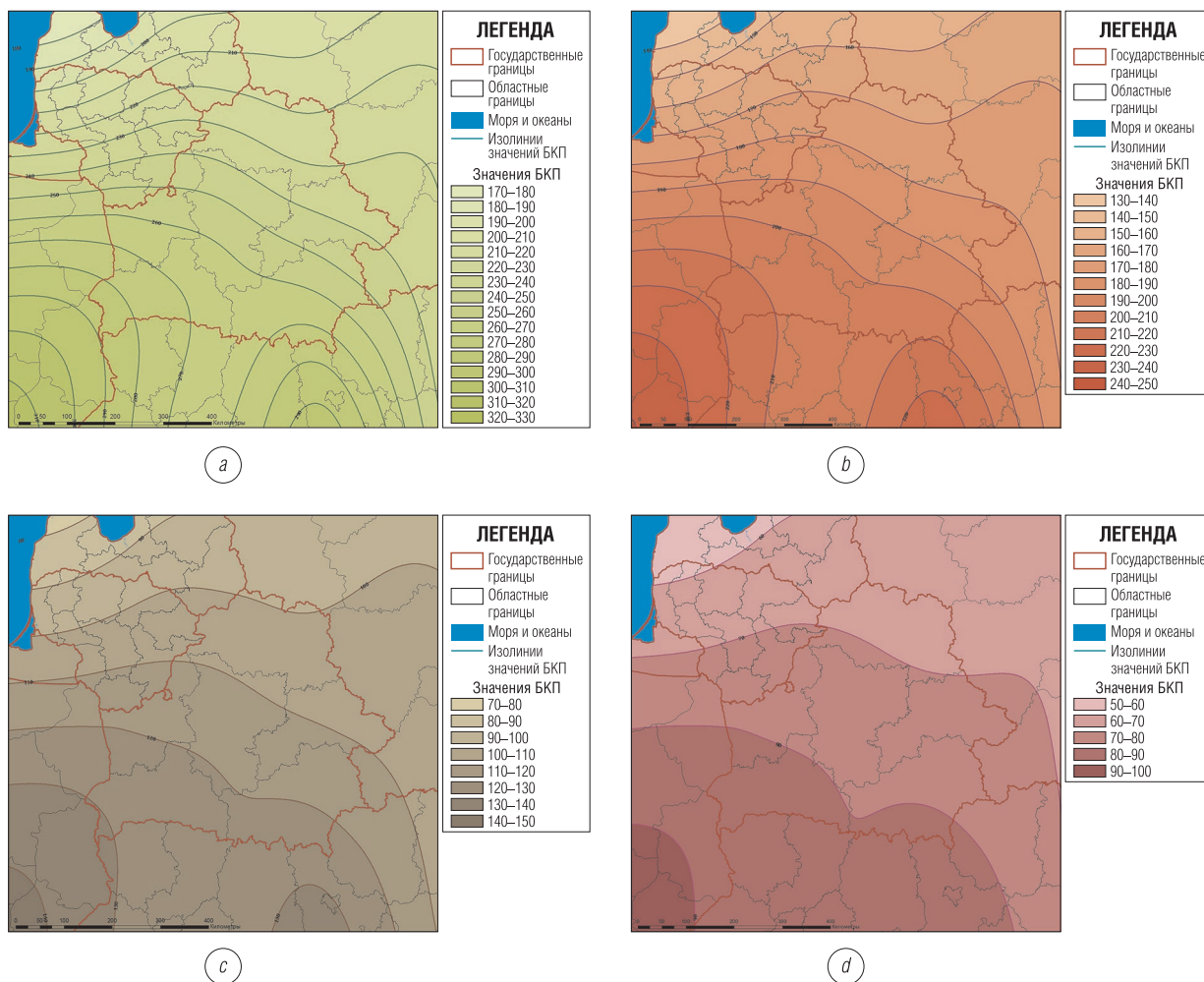


Рис. 6. Прогнозные оптимальные значения БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур за период 2026–2035 гг.: *a* – гречихи, *b* – льна-долгунца, *c* – картофеля, *d* – сахарной свеклы

Fig. 6. Predicted optimal BCP values for specified agricultural crops cultivation for the period of 2026–2035: *a* – buckwheat; *b* – flax; *c* – potato; *d* – sugar beet

различной величины, что говорит о сильном влиянии местных особенностей распределения температуры и количества осадков на итоговую величину БКП. Это связано с использованием крупномасштабной расчетной сетки в климатической модели для получения значений БКП. На всех картах прослеживается область пониженных значений БКП, расположенная в западной части Украины. Эта крупная аномалия распределения оптимальных значений БКП для сельскохозяйственных культур прослеживалась ранее на протяжении всего периода современного потепления климата (1989–2015 гг.)<sup>7</sup>. Величина прироста значений индекса БКП для выращивания сельскохозяйственных культур относительно предыдущего периода (2001–2015 гг.) изменялась в зависимости от культуры и составила от 5 до 10 баллов. Наиболее выраженный рост значений БКП был характерен для льна-долгунца, наименее выраженный – для овса и картофеля. На севере рассматриваемой территории происходило более заметное увеличение значений БКП, чем на юге. Подобные изменения согласуются с общими особенностями изменений климатических характеристик, свойственными территории Беларуси в предыдущие периоды [4].

Рассмотрим изменения БКП территории Беларуси и смежных территорий соседних стран за период 2026–2035 гг. Результаты расчетов представлены на рис. 4–6.

<sup>7</sup> Анализ процессов урбанизации и мелиорации земель на территории Беларуси как фактор изменения свойств подстилающей поверхности и климата: отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси; рук. В. Ф. Логинов. – Минск, 2017. – 220 с. – № ГР 20160128.

Как видно на рис. 4, общие закономерности распределения БКП по рассматриваемой территории за предыдущий период сохранятся и в 2025–2026 гг. Повышение значений БКП происходит при продвижении с севера и северо-запада на юг и юго-восток. Средние значения индекса БКП за период 2026–2035 гг. составят от 165 до 205 баллов, что в среднем на 10 баллов выше, чем за период 2016–2025 гг. Это согласуется с общей тенденцией повышения БКП для территории Беларуси, где наблюдается прирост значений БКП на 8–12 баллов за десятилетний период, прослеживающийся с самого начала периода современного потепления климата<sup>8</sup>. Подобные изменения объясняются выбранным сценарием изменения концентрации парниковых газов, лежащего в основе прогноза. Сценарий RCP 4.5 предусматривает интенсивный рост концентрации парниковых газов в атмосфере до 2040-х годов. Следствием такого роста концентрации является повышение температуры.

Расчет прогнозных изменений биоклиматического потенциала для отдельных сельскохозяйственных культур за период 2026–2035 гг. показал, что характер распределения значений БКП по рассматриваемой территории не претерпел существенных изменений: максимумы и минимумы значений БКП наблюдаются в тех же регионах, направление изолиний значений БКП сохранились. Отрицательная аномалия значений БКП в Западной Украине сохранилась, но несколько ослабла, а для некоторых культур (кукуруза, рис. 5, *f*), сахарная свекла, рис. 6, *d*) вообще не прослеживается. Прирост значений БКП по сравнению с предыдущим периодом составил 5–10 баллов, но в зависимости от культуры он несколько изменялся: максимальные изменения значений БКП были характерны для льна и гречихи, минимальные – для кукурузы. В отличие от предыдущего периода прирост значений БКП происходил относительно равномерно по всей рассматриваемой территории. Подобные изменения согласуются с общей тенденцией изменений и метеорологических характеристик, лежащих в основе вычисления биоклиматического потенциала [4].

### Выводы

1. Прогноз на основе сценария RCP 4.5 показал дальнейшее существенное увеличение значений БКП в течение прогнозируемого периода при сохранении тенденций изменений, характерных для периода современного потепления климата: БКП территории Беларуси к 2035 г. будет составлять 165–205 баллов, что соответствует БКП юго-западной Украины.

2. Общие закономерности пространственного изменения БКП, в том числе оптимального БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур, сохранятся в будущем: области преобладания высоких и низких значений БКП и направление изолиний значений БКП. Однако отмеченное снижение значений БКП по территории Украины и на отдельных станциях Белорусского Полесья в 2001–2015 гг., вызванное усилением засушливости климата, глобальная климатическая модель не показала.

3. Наиболее крупные локальные экстремумы значений биоклиматического потенциала, сформировавшиеся в течение периода современного потепления климата, в будущем сохранятся, однако могут претерпеть пространственно-временные изменения.

В целом, если исходить из взятого сценария роста концентрации парниковых газов в атмосфере, то биоклиматические условия на территории Беларуси в 2016–2035 гг. будут улучшаться.

### Список использованных источников

1. *Логинов, В. Ф.* Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйство) / В. Ф. Логинов. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 152 с.
2. *Грингоф, И. Г.* Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия / И. Г. Грингоф, А. Д. Клещенко. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – 808 с.

<sup>8</sup> Анализ процессов урбанизации и мелиорации земель на территории Беларуси как фактор изменения свойств подстилающей поверхности и климата: отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси; рук. В. Ф. Логинов. – Минск, 2017. – 220 с. – № ГР 20160128.

3. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов [и др.] ; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Тонпик, 2003. – 330 с.
4. *Логинов, В. Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
5. *Логинов, В. Ф.* Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 179 с.
6. *Колосков, П. И.* Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование / П. И. Колосков. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 328 с.
7. *Сапожникова, С. А.* Опыт агроклиматического районирования территории СССР / С. А. Сапожникова // Вопросы агроклиматического районирования СССР : сб. ст. / ВАСХНИЛ ; ред.: Ф. Ф. Давитай, А. И. Шульгин. – М., 1958. – С. 14–37.
8. *Шашко, Д. И.* Агроклиматическое районирование СССР / Д. И. Шашко. – М. : Колос, 1967. – 335 с.
9. *Шашко, Д. И.* Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.
10. *Бочарова, А. А.* Оценка современных агроклиматических условий на западе Белгородской области [Электронный ресурс] / А. А. Бочарова // Студенческий научный форум: VI Междунар. студ. электрон. науч. конф., 15 февр. – 31 марта 2014 г. – Режим доступа: <https://www.scienceforum.ru/2014/779/4141>. – Дата доступа: 25.01.2017.
11. *Ермакова, Л. Н.* Оценка агроклиматических ресурсов территории Пермского края / Л. Н. Ермакова, Н. И. Толмачева, Е. А. Безматерных // Геогр. вестн. – 2010. – № 2. – С. 52–58.
12. *Сиротенко, О. Д.* Имитационная система «Климат–урожай СССР» / О. Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 4. – С. 107–114.
13. *Сиротенко, О. Д.* Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферы и плодородия почв / О. Д. Сиротенко, Е. В. Авашина, В. Н. Павлова // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 4. – С. 67–73.
14. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.]. – М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. – 516 с.
15. *Мищенко, З. А.* Агроклиматология / З. А. Мищенко. – Киев : КНТ, 2009. – 512 с.
16. *Вольвач, О. В.* Оценка биоклиматического потенциала лесостепных областей Украины применительно к возделыванию кукурузы / О. В. Вольвач // Укр. гідрометеорол. журн. – 2011. – № 8. – С. 162–169.
17. *Коляда, В. В.* Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Беларуси / В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 53–60.
18. *Коляда, В. В.* Биоклиматический потенциал Беларуси в сравнении со странами СНГ и ЕС / В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 17–26.
19. *Логинов, В. Ф.* Пространственно-временные изменения биоклиматического потенциала территории Беларуси / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2017. – № 1. – С. 42–57.
20. *Бровка, Ю. А.* Региональная агроэкологическая оценка неблагоприятных погодно-климатических условий на территории Беларуси : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Ю. А. Бровка. – Минск, 2007. – 209 л.
21. *Витченко, А. Н.* Теоретические и прикладные основы оценки агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.01 / А. Н. Витченко ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1996. – 29 с.
22. *Коляда, В. В.* Оценка факторов изменения агротермических ресурсов Беларуси / В. В. Коляда, Ю. А. Шубская // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск, 2010. – Вып. 17. – С. 118–125.
23. *Коляда, В. В.* Применение аналитических зависимостей для исследования динамики урожайности зерновых культур / В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии. – Минск, 2005. – Вып. 11. – С. 58–65.
24. *Коляда, В. В.* Структурно-функциональные изменения агроценозов Беларуси в условиях потепления климата / В. В. Коляда, Ю. А. Шубская // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 122–131.
25. Агроклиматическая оценка эффективности территориального распределения посевных площадей под различные культуры / В. Ф. Логинов [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии. – Минск, 2003. – Вып. 9. – С. 59–61.
26. *Каюмов, М. К.* Программирование продуктивности полевых культур : справочник / М. К. Каюмов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Росагропромиздат, 1989. – 368 с.
27. Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change / ed.: T. F. Stocker [et al.]. – New York ; Cambridge : Cambridge Univ. Press, 2013. – 1535 p.
28. *Логинов, В. Ф.* Сезонные особенности изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 16–22.

## References

1. Loginov V. F. *Climate change in Belarus and its impact on the key sectors of economy (agriculture, forestry and water sector)*. Minsk, Belarusian Research Center "Ecology", 2010. 152 p. (in Russian).
2. Gringof I. G., Kleshchenko A. D. *Bases of agricultural meteorology. Volume I. The needs of crops for agrometeorological conditions and dangerous weather conditions for agriculture production*. Obninsk, VNIIGMI-WDC, 2011. 808 p. (in Russian).
3. Loginov V. F., Sachok G. I., Mikutskii V. S., Mel'nik V. I., Kolyada V. V. *Climate changes in Belarus and its consequences*. Minsk, Tonpik Publ., 2003. 330 p. (in Russian).
4. Loginov V. F. *Global and regional climate changes: reasons and consequences*. Minsk, TetraSystems Publ., 2008. 496 p. (in Russian).
5. Loginov V. F., Mikutskii V. S. *Climate changes: trends, cycles, pauses*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2017. 179 p. (in Russian).
6. Koloskov P. I. *Climatic factor of agriculture and agroclimatic zoning*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974. 328 p. (in Russian).
7. Sapozhnikova S. A. *Experience in agro-climatic zoning of the USSR. Voprosy agroklimaticheskogo raionirovaniya SSSR: sbornik statei* [Issues of agro-climatic zoning of the USSR: collection of articles]. Moscow, 1958, pp. 14–37 (in Russian).
8. Shashko D. I. *Agroclimatic zoning of the USSR*. Moscow, Kolos Publ., 1967. 335 p. (in Russian).
9. Shashko D. I. *Agroclimatic resources of the USSR*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 247 p. (in Russian).
10. Bocharova A. A. Assessment of current agro-climatic conditions in the west of Belgorod region. *Mezhdunarodnaya studentcheskaya elektronnyaya nauchnaya konferentsiya «Studentcheskii nauchnyi forum», 15 fevralya – 31 marta 2014 g.* [VI International Student Electronic Scientific Conference "Student Science Forum", February 15 – March 31, 2014]. Available at: <https://www.scienceforum.ru/2014/779/4141> (accessed 25.01.2017) (in Russian).
11. Ermakova L. N., Tolmacheva N. I., Bezmaternykh E. A. *The evaluation of agro-climatic resources within the territory of Perm region. Geograficheskii vestnik* [Geographical Bulletin], 2010, no. 2, pp. 52–58 (in Russian).
12. Sirotenko O. D. *Imitation system "Climate-crop of the USSR". Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 1995, no. 4, pp. 107–114 (in Russian).
13. Sirotenko O. D., Avashina E. V., Pavlova V. N. Sensitivity of agriculture in Russia to climate change, atmospheric chemical composition and soil fertility. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 1991, no. 4, pp. 67–73 (in Russian).
14. Gordeev A. V. *Bioclimatic potential of Russia: theory and practice*. Moscow, KMK Publishing House, 2006. 516 p. (in Russian).
15. Mishchenko Z. A. *Agroclimatology*. Kiev, 2009. 512 p. (in Russian).
16. Vol'vach O. V. The assessment of bioclimatic potential in Ukrainian forest steppe provinces related to maize growing. *Ukrains'kii gidrometeorologichnii zhurnal = Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2011, no. 8, pp. 162–169 (in Russian).
17. Kolyada V. V. Agroclimatic assessment of productivity of crops in Belarus. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2014, no. 25, pp. 53–60 (in Russian).
18. Kolyada V. V. Bioclimatic potential of Belarus in comparison with the CIS and EU countries. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2013, no. 24, pp. 17–26 (in Russian).
19. Loginov V. F., Khitrikov M. A. Spatiotemporal changes of bioclimatic potential of the territory of Belarus. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no. 1, pp. 42–57 (in Russian).
20. Brovka Yu. A. *Regional agroecological assessment of adverse weather and climate conditions on the territory of Belarus*. Ph.D. thesis in geography. Minsk, 2007. 209 p. (in Russian).
21. Vitchenko A. N. *Theoretical and practical bases for estimation of agroecological potential of landscape in Belarus*. Dr. geogr. sci. abstr. diss. Minsk, 1996. 29 p. (in Russian).
22. Kolyada V. V., Shubskaya Yu. A. Assessment of the factors of changes of agrothermic resources of Belarus. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2010, no. 17, pp. 118–125 (in Russian).
23. Kolyada V. V. Application of analytical dependences for studying the dynamics of grain crops yield. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2005, no. 11, pp. 58–65 (in Russian).
24. Kolyada V. V., Shubskaya Yu. A. Structural and functional changes of agrocenoses of Belarus in the context of climate warming. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2009, no. 16, pp. 122–131 (in Russian).
25. Loginov V. F. Agroclimatic assessment of the effectiveness of spatial distribution of arable land for different crops. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2003, no. 9, pp. 59–61 (in Russian).
26. Kayumov M. K. *Programming of field crops productivity*. 2nd ed. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 1989. 368 p. (in Russian).
27. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M. B., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Yu, Bex V., Midgley P. M. (eds.). *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*. New York, Cambridge, Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
28. Loginov V. F., Brovka Yu. A. Seasonal climate changes features of Belarus. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: collection of scientific papers]. Minsk, 2014, no. 25, pp. 16–22 (in Russian).

### **Информация об авторах:**

*Логинов Владимир Федорович* – академик, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории трансграничного загрязнения и климатологии, Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси (ул. Скорины, 10, 220114 г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

*Хитриков Максим Александрович* – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории трансграничного загрязнения и климатологии, Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси (ул. Скорины, 10, 220114 г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

### **Information about authors**

*Loginov Vladimir F.* – Academician, D.Sc. (Geographical), Professor. The Institute for Nature Management (10 F. Scoriny Str., Minsk 220114, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

*Khitykau Maxim A.* – Postgraduate Student (Geographical). The Institute for Nature Management (10 F. Scoriny Str., Minsk 220114, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by