

УДК 551.525(476.1)

ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Ю. П. Городнюк¹, А. А. Волчек², С. В. Сидак³

¹ Магистр, аспирант кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: juliagirodniuk99@gmail.com

² Д. г. н. РФ и РБ, профессор, профессор кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: volchak@tut.by

³ Магистр физ.-мат. н., старший преподаватель кафедры математики и информатики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: harchik-sveta@mail.ru

Реферат

На основании анализа многолетних данных за период 1981–2020 гг. установлена статистически значимая связь между урожайностью озимых зерновых и метеорологическими параметрами Брестского района. Сельское хозяйство во многом определяется погодными и климатическими условиями. Для достижения максимальной урожайности сельскохозяйственных культур требуются оптимальное сочетание тепла и влаги при рациональном пищевом режиме. При выращивании зерновых культур важно принимать во внимание их особенности и минимизировать негативные воздействия на растения. В статье представлены основные факторы, влияющие на урожайность озимых зерновых культур. Климат Брестского района, расположенного в западной части Восточно-Европейской равнины, является умеренно-континентальным. Современное климатическое потепление привело к значительному повышению температуры воздуха, частым оттепелям в зимний период, что может неблагоприятно влиять на урожайность озимых культур.

Разработана нами двухкомпонентная модель, позволяющая с высокой точностью (средняя абсолютная ошибка составила 1,8 ц/га в абсолютных и 7,2 % в относительных показателях) предсказывать урожайность озимых зерновых Брестского района. Модель представляет собой эффективный инструмент управления сельскохозяйственным производством, позволяющий учитывать климатические параметры при прогнозировании урожайности озимых зерновых. В ходе исследования были выявлены ключевые метеорологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на урожайность. Результаты полученных исследований могут быть использованы управлениями по сельскому хозяйству и продовольствию для оценки планируемого валового сбора озимых зерновых, при разработке аграрной политики, планирования бюджета на поддержку сельского хозяйства, оптимизации структуры посевных площадей и мониторинга продовольственной безопасности.

Ключевые слова: изменение климата, температура воздуха, осадки, урожайность, регрессия, озимые зерновые, модель.

TWO-COMPONENT CLIMATE MODEL OF WINTER GRAIN YIELD AT THE REGIONAL LEVEL

Y. P. Haradniuk, A. A. Volchak, S. V. Sidak

Abstract

Based on the analysis of multi-year data for the period 1981–2020 a statistically significant relationship has been established between the yield of winter grain and the meteorological parameters of the Brest region. Agriculture is largely determined by weather and climate conditions. To achieve the maximum yield of agricultural crops, an optimal combination of heat and moisture is required with a rational food regime. When growing crops, it is important to take into account their features and minimize the negative effects on plants. The article presents the main factors affecting the yield of winter crops. The climate of the Brest district, located in the western part of the East European Plain, is moderately continental. Modern climate warming has led to a significant increase in air temperature, frequent warming in the winter, which can adversely affect the yield of winter crops.

We developed a two-component model that allows with high accuracy (the average absolute error was 1.8 c/ha in absolute and 7.2 % in relative terms) to predict the yield of winter grain Brest district. The model is an effective tool for managing agricultural production, allowing you to take into account climate parameters when predicting the yield of winter grains. During the study, key meteorological factors were identified that have the greatest impact on yield. The results of the obtained studies can be used by the agriculture and food departments to assess the planned gross harvest of winter grains, in the development of agricultural policy, planning the budget for supporting agriculture, optimizing the structure of sowing areas and monitoring food security.

Keywords: climate change, air temperature, precipitation, yield, regression, winter grains, model.

Введение

Озимые зерновые являются ведущей сельскохозяйственной культурой для условий Беларуси. Беларусь занимает 5-е место среди стран СНГ по среднечасовому производству зерна [1]. Урожайность озимых зерновых является ключевым фактором, способствующим устойчивому развитию государства, влияя на экономику, продовольственную безопасность, социальные аспекты и экологическую стабильность. Информация об ожидаемых оценках урожайности озимых зерновых культур играет важную роль в принятии решений на различных уровнях: от индивидуальных фермеров до государственных структур. Так, прогнозные оценки урожайности озимых зерновых культур используются для планирования посевов, выбора сортов и оптимизации агротехнических мероприятий, разработки государственной аграрной политики, устойчивых практик ведения хозяйства.

Урожайность озимых зерновых формируется под воздействием множества факторов. Показатели урожайности определяются наследственными свойствами растений и влиянием энергетического,

водного и пищевого режимов почвы и атмосферы, которые определяются климатическими факторами и уровнем агротехники. Потребности сельскохозяйственной культуры в тепле, влаге и питании в каждый период вегетационного цикла обусловлены эволюцией и проявляются в виде собственных оптимумов элементов среды [2].

Актуальность исследования влияния климатических условий на продуктивность сельскохозяйственного производства несомненна. Как отмечал К. А. Тимирязев, «климатические данные представляют интерес для сельского хозяйства тогда, когда известны требования, предъявляемые растениями». По мнению Н. И. Вавилова, «климатические факторы в стране, взятой в целом, являются определяющими в проблеме урожайности. Они сильнее экономики, сильнее техники». Исследование климатических ресурсов применительно к разным аспектам сельскохозяйственного производства представляет сложную задачу, так как все компоненты, входящие в нее (живые объекты и климат), характеризуются большой изменчивостью. Поэтому, чтобы дать климату сельскохозяйственную оценку, требуется устано-

вить количественные характеристики потребности культур в тепле, влаге и других необходимых факторах.

Ведущую роль в определении климатических особенностей региона играет именно циркуляция воздушных масс в атмосфере. Исследования показывают, что тенденция изменений климата в ближайшие десятилетия сохранятся. Существенное изменение условий произрастания сельскохозяйственных культур в результате глобального потепления климата требует корректировок в практике ведения сельского хозяйства, а также учитывать при разработке стратегии развития сельскохозяйственного производства и его адаптации к изменениям климата. Для этого необходимо иметь прогнозные показатели изменения климата на ближайшие десятилетия по отношению к базовому периоду. На территории Беларуси работа о взаимосвязи урожайности сельскохозяйственных культур и природно-климатических факторов проводится в Республиканском гидрометеорологическом центре, Научно-исследовательском институте почвоведения и агрохимии, Институте природопользования, Белорусском государственном университете. Этой проблемой занимаются Т. Н. Кулаковская, И. М. Богдевич, В. В. Лапа, А. Н. Витченко, В. Ф. Логинов, В. И. Мельник, Г. И. Сачок, П. А. Ковриго и др.

В связи с глобальными изменениями климата за последний тридцатилетний период отклик изменения урожайности озимых зерновых культур на погодные условия стал более выраженным [3]. Быстрое увеличение температуры воздуха при практически постоянной годовой сумме осадков способствует увеличению частоты и длительности атмосферных и почвенных засух, которые наносят серьезный ущерб сельскому хозяйству. Зависимость урожайности от климатических параметров становится все более сложной, и понимание этой связи необходимо для разработки стратегий адаптации к изменению климата и обеспечения продовольственной безопасности.

Согласно проведенным исследованиям, воздействие климатических изменений будут испытывать все сельскохозяйственные культуры по всему миру [4]. Неблагоприятные изменения в урожайности и объемах фактически собранной сельскохозяйственной продукции, обусловленные глобальным изменением климата, ожидаются в перспективе до 2050 г. в засушливых странах [5]. В странах же с умеренно континентальным климатом, наоборот, возможен рост продуктивности сельскохозяйственных культур за счет повышения теплообеспеченности в вегетационный период.

Для получения высоких и устойчивых урожаев озимых зерновых культур в условиях изменения климата необходимо комплексно учитывать все агроэкологические факторы, способствующие нормальному росту и развитию растений. Лишь при таком подходе можно добиться устойчивого и эффективного производства. Многочисленные исследования показывают, что климатические условия всё чаще выступают ограничивающим фактором, который не позволяет полностью раскрыть адаптивный потенциал растений и в полной мере реализовать достижения селекционеров.

Поэтому для планирования и принятия инвестиционных решений в аграрном производстве важной предпосылкой является моделирование процессов с целью надежного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с учетом природно-климатических факторов [6, 7].

В настоящее время исследованиям влияния климата на изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур посвящен ряд отечественных и зарубежных работ [8–11 и др.]. В работе [12] представлены обобщенные оценки влияния наблюдаемых в последние десятилетия изменений климата на продуктивность и устойчивость сельского хозяйства России. Количественная оценка откликов урожайности и валовых сборов зерновых и зернобобовых культур, как в целом в Российской Федерации, так и в разрезе Федеральных округов и регионов, на возможные климатические изменения в долгосрочном периоде (до 2100 года) представлена в работе [13]. Рассчитанные статистические характеристики общей климатической и технологической изменчивости урожайности зерновых культур показывают, что в целом для территории Беларуси вклад климата в общую дисперсию урожайности составляет от 22 до 81 % [14]. Согласно системе Болина «климат – сельское хозяйство», различают два основных вектора в исследовании взаимосвязи этих двух составляющих: первый вектор направлен на оценку влияния на урожайность

осредненных за какой-либо период климатических параметров; второй – на оценку влияния на урожайность повторяемости экстремальных климатических явлений, представляющих наибольшие риски для сельского хозяйства [15, 16]. Исследования приходят к противоречивым выводам, что связано с разнообразием факторов, таких как региональные особенности, типы культур, методы ведения сельского хозяйства. Эти разногласия подчеркивают сложность взаимодействия между климатическими изменениями и агрономическими показателями, требуя дальнейших исследований для более глубокого понимания этого важного вопроса. С одной стороны, потепление климата влечет за собой такое положительное влияние, как продление вегетационного периода (позволяет растениям лучше развиваться и накапливать больше питательных веществ), улучшение фотосинтетических процессов, снижение риска зимних повреждений (уменьшает вероятность вымерзания озимых зерновых), разработка и адаптация новых сортов и др. [14]. С другой стороны, рост повторяемости теплых зим повышает опасность развития процессов вымокания, выпирания всходов, образования ледяной корки, а также способствует увеличению количества вредителей и зимующих сорняков, что негативно сказывается на показателях урожайности. Частые оттепели вызывают сход снега, в результате чего растения становятся уязвимыми к последующим заморозкам.

Учитывая актуальность исследуемой темы, целью данных исследований является разработка перспективной модели для получения прогнозных оценок урожайности озимых зерновых на примере Брестского района на основе ретранализа урожайности и климатических характеристик.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- выявление климатических параметров, в наибольшей степени влияющих на урожайность озимых зерновых культур в Брестском районе;
- оценка вклада выделенных климатических параметров в изменчивость урожайности озимых зерновых в Брестском районе;
- разработка модели, описывающей зависимость урожайности озимых зерновых на основе трендовой составляющей и климатических параметров.

Исходные данные и методы исследования

Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за урожайностью озимых зерновых в Брестском районе за период с 1981 по 2020 гг. Использованы данные Министерства статистики и анализа Республики Беларусь об урожайности озимых зерновых культур и материалы Республиканского гидрометеорологического центра о температурах воздуха, количестве осадков по метеостанции Брест. В работе реализованы методы статистической обработки данных наблюдений, в частности, методы корреляционного и регрессионного анализа, аналитических расчетов, анализ временных рядов [17, 18].

Исходной базой исследования послужили следующими данные за период 1981–2020 гг.:

- среднегодовая урожайность озимых зерновых $Y(t)$, ц/га, t – номер года;
- среднемесячные температуры воздуха $\bar{T}_i(t)$, °C, i – номер месяца;
- средняя максимальная температура воздуха $\bar{T}_{max_i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- средняя минимальная температура воздуха $\bar{T}_{min_i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- абсолютная максимальная температура воздуха $T_{max_i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- абсолютная минимальная температура воздуха $T_{min_i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- число дней с морозом в соответствующем месяце, $m_i(t)$, i – номер месяца;
- месячная сумма осадков, $P_i(t)$, мм, i – номер месяца.

Результаты и их обсуждение

Временные ряды урожайности как правило рассматривают как сумму двух компонентов: детерминированной временной функции

(тренда) и случайных отклонений от неё [19]. Трендовая составляющая ($Y_{\text{тр}}(t)$) представляет собой отклик изменения урожайности на улучшение технологий выращивания сельскохозяйственных культур при условии относительно стабильных во временном аспекте агроклиматических характеристик. Случайная компонента ($Y_{\text{кл}}(t)$) обусловлена преимущественно погодными условиями на всех этапах возделывания сельскохозяйственных культур. В этом случае обобщенную двухкомпонентную модель урожайности можно представить в виде:

$$Y(t) = Y_{\text{тр}}(t) + Y_{\text{кл}}(t). \quad (1)$$

Выполненные в работе [20] исследования по изучению закономерностей формирования урожайности основных сельскохозяйственных культур за период 2007–2019 гг. по совокупности хозяйств юго-запада Беларуси показали, что урожайность основных культур описывается полиномом второго порядка. Однако увеличение рядов наблюдений за исследуемой характеристикой требует пересмотра полученных тенденций.

Поэтому на первом этапе выполнен анализ временного ряда урожайности озимых зерновых Брестского района за период 1981–2020 гг., демонстрирующий значительные колебания данного показателя по годам (рисунок 1). В качестве предиктора в модель введен номер года по тренду (n). Номер года по тренду за 1981 г. принят за единицу. Выявлено, что наиболее точно динамику урожайности за исследуемый период описывает полином 3-й степени. Величина R^2 показывает, что

вклад полиномиального тренда в общую изменчивость урожайности озимых зерновых значительный и составляет 0,76.

На втором этапе из исходного временного ряда урожайности удалена трендовая компонента, что позволило выделить остаточные значения (рисунок 2).

Наличие множества факторов, влияющих на формирование озимых зерновых культур, делает необходимым отбор тех из них, влияние которых на урожайность наиболее значимо. Поэтому на третьем этапе выполнен корреляционный анализ климатических факторов и ряда отклонений урожайности озимых зерновых от трендовой составляющей. В результате анализа получено, что значимое влияние на урожайность озимых культур Брестского района в t -м году оказывают следующие показатели: среднемесячная температура апреля $\bar{T}_4(t)$, средняя минимальная температура января $\bar{T}_{\min,1}(t)$, абсолютная максимальная температура февраля $T_{\max,2}(t)$, абсолютная минимальная температура ноября в предшествующем календарном году $T_{\min,11}(t-1)$, средняя температура декабря в предшествующем календарном году $\bar{T}_{12}(t-1)$, средняя минимальная температура декабря в предшествующем календарном году $\bar{T}_{\min,12}(t-1)$, число дней с морозом в сентябре предшествующего года $m_9(t-1)$, суммарное количество осадков в ноябре, декабре и январе ($P_{11}(t-1) + P_{12}(t-1) + P_1(t)$). Обобщив полученные связи урожайности с климатическими факторами и временной составляющей, получена итоговая двухкомпонентная модель урожайности озимых зерновых Y в t -м году:

$$Y(t) = (0,0049n^3 - 0,267n^2 + 3,811n - 14,8) + (1,052\bar{T}_4(t) - 0,355\bar{T}_{\min,1}(t) + 0,299T_{\max,2}(t) + 0,718T_{\min,11}(t-1) + 6,198\bar{T}_{12}(t-1) - 5,463\bar{T}_{\min,12}(t-1) - 0,207m_9(t-1) - 0,590T_{\max,9}(t) - 0,022(P_{11}(t-1) + P_{12}(t-1) + P_1(t)) - 0,240). \quad (2)$$

Полученные смоделированные значения отклонений от тренда представлены на рисунке 3. Итоговая смоделированная урожай-

ность зерновых по двухкомпонентной модели (2) представлена на рисунке 4.

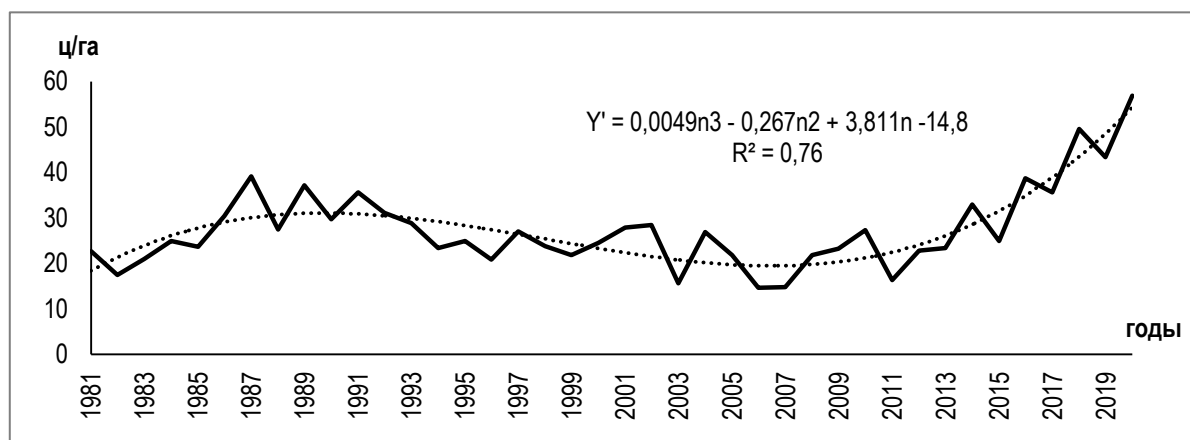


Рисунок 1 – Урожайность озимых зерновых в Брестском районе за период 1981–2020 гг.

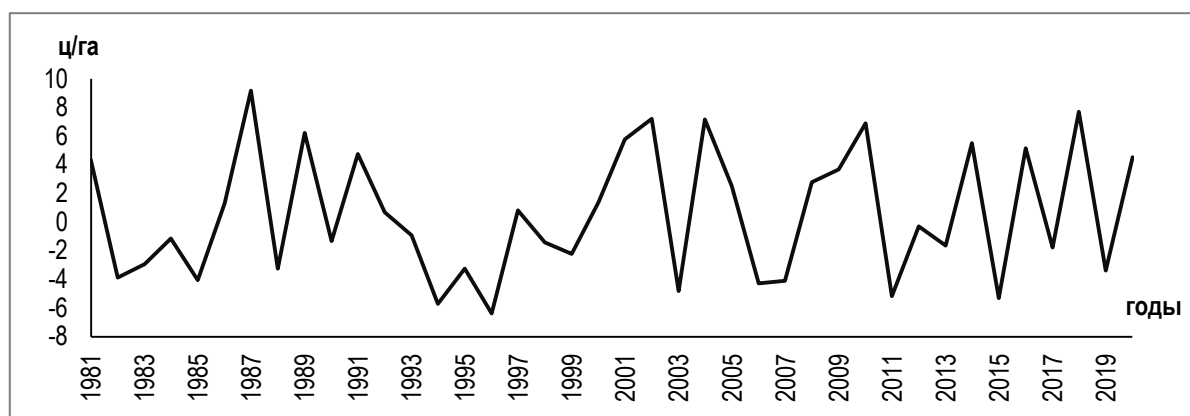


Рисунок 2 – Динамика отклонения урожайности озимых зерновых от трендовой составляющей



Рисунок 3 – Моделирование отклонений ряда урожайности от тренда

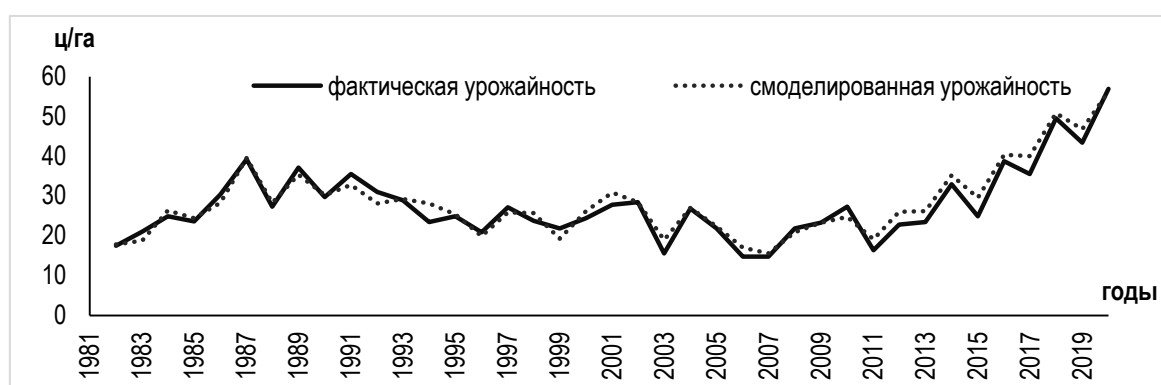


Рисунок 4 – Фактическая и смоделированная урожайность озимых зерновых в Брестском районе за период 1981–2020 гг.

Средняя абсолютная ошибка модели для Брестского района составила 1,8 ц/га, а средняя абсолютная ошибка в процентах – 7,2 %. Таким образом, при исследовании влияния большого числа факторов на урожайность применение двухкомпонентной модели и аппарата корреляционного и регрессионного анализа показало высокую эффективность.

Заключение

В ходе исследования была установлена корреляционная связь между метеорологическими параметрами и урожайностью озимых зерновых Брестского района на основании многолетних данных за период 1981–2020 гг. Разработана двухкомпонентная модель, которая способна с высокой степенью точности предсказывать урожайность озимых зерновых в Брестском районе. Исходя из полученных данных, выявили, что средняя абсолютная ошибка составила 1,8 ц/га в абсолютных и 7,2 % в относительных показателях.

Полученные результаты могут быть использованы управлениями по сельскому хозяйству и продовольствию для оценки планируемого валового сбора озимых зерновых, при разработке аграрной политики, планировании бюджета на поддержку сельского хозяйства, оптимизации структуры посевных площадей и мониторинга продовольственной безопасности.

Список цитированных источников

1. Продовольственная безопасность Беларуси-2022 // Белта. – URL: <https://www.belta.by/infographica/view/prodovolstvennaja-bezopasnost-belarusi-26589> (дата обращения: 19.02.2025).
2. Волчек, А. А. Влияние изменения температур холодного периода на урожайность озимых зерновых в Беларуси / А. А. Волчек, Ю. П. Городнюк // Междунар. научн.практ. конф., Хазарский университет, г. Баку, 5–6 декабря 2022 года. – Баку, Азербайджан, 2023. – С. 209–212.
3. Городнюк, Ю. П. Различия формирования урожайности озимых зерновых культур Брестской области / Ю. П. Городнюк // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2023» / редкол.: А. Г. Баханович (пред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2024. – С. 75.
4. Городнюк, Ю. П. Особенности изменения зимнего температурного режима Белорусского Полесья / Ю. П. Городнюк // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения : сборник научных статей Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных, приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов, Брест, 28 марта 2024 г. / Министерство образования Республики Беларусь, учреждение образования «Брестский государственный технический университет» ; редкол.: А. А. Волчек [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 112–116.
5. Ксенофонтов, М. Ю. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе / М. Ю. Ксенофонтов, Д. А. Ползиков // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 3 (180). – С. 82–92.
6. Соболев, О. С. Моделирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в условиях долгосрочных климатических изменений / О. С. Соболев // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 6. – С. 99–104.
7. Бисчоков, Р. М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей / Р. М. Бисчоков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 146–157.
8. Рысин, И. И. Моделирование влияния климатических факторов на урожайность зерновых культур (на материалах Удмуртии) / И. И. Рысин, П. Б. Акмаров, О. П. Князева // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 465–472.

9. Юсупов, М. Ч. Влияние изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур / М. Ч. Юсупов, Д. Т. Юсупов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2020. – № 4 (43). – С. 110–114.
10. Сиптиц, С. О. Методы и модели оценки влияния климата на урожайность сельскохозяйственных культур – зарубежный опыт / С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, Н. Е. Евдокимова // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2020. – № 9 (66). – С. 14–19.
11. Червяков, А. В. К вопросу влияния климата на урожайность сельскохозяйственных культур как фактора устойчивого производства / А. В. Червяков // Epomen. Global. – 2019. – № 1. – С. 104–109.
12. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период с 1989 по 2015 г / В. И. Мельник, И. С. Данилович, И. Ю. Кулешова [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 88–101.
13. Сиптиц, С. О. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России / С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, Н. Е. Евдокимова // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2 (185). – С. 75–86.
14. Клочков, А. В. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур / А. В. Клочков, О. Б. Соломко, О. С. Клочкова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 101–105.
15. Сиротенко, О. Д. Глава 5. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства / О. Д. Сиротенко, В. Н. Павлова // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / под ред. С. М. Семенова. – М. : Росгидромет, 2012. – С. 165–189.
16. Парниковый эффект. Изменение климата и экосистемы / Б. Болин, Б. Р. Деес, Д. Ягер, Р. Уоррик. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 357 с.
17. Сычев, В. Г. Информационные технологии при обработке экспериментальных данных в растениеводстве для прогнозов / В. Г. Сычев, Л. Б. Винничек, О. Н. Суханова // Московский экономический журнал. – 2019. – № 12. – С. 477–484.
18. Деревенец, Д. К. Экономико-математическое моделирование урожайности сельскохозяйственных культур / Д. К. Деревенец, Г. Н. Барсукова // Journal of Agriculture and Environment. – 2024. – № 5 (45). – URL: <https://jae.cifra.science/archive/5-45-2024-may/10.60797/JAE.2024.45.1> (дата обращения: 08.02.2025). – DOI: 10.60797/JAE.2024.45.1.
19. Лебедева, В. М. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. II: Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Кн. 2: Оперативное агрометеорологическое прогнозирование / В. М. Лебедева, А. И. Страшная. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 216 с.
20. Конончук, В. В. Моделирование урожайности зерновых культур в условиях проявления агроэкологических рисков / В. В. Конончук // Вестник Брестского университета. – 2020. – № 1. – С. 90–95.
5. Ksenofontov, M. YU. K voprosu o vliyaniy klimaticheskikh izmeneniy na razvitie sel'skogo hozyajstva Rossii v dolgosrochnoj perspektive / M. YU. Ksenofontov, D. A. Polzikov // Problemy prognozirovaniya. – 2020. – № 3 (180). – С. 82–92.
6. Sobolev, O. S. Modelirovanie urozhajnosti zemnykh i zernobobovykh kul'tur v usloviyakh dolgosrochnykh klimaticheskikh izmeneniy / O. S. Sobolev // Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii. – 2020. – № 6. – С. 99–104.
7. Bischokov, R. M. Analiz, modelirovanie i prognoz urozhajnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur sredstvami iskusstvennykh nejronnykh setej / R. M. Bischokov // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 146–157.
8. Rysin, I. I. Modelirovanie vliyaniya klimaticheskikh faktorov na urozhajnost' zemnykh kul'tur (na materialah Udmurtii) / I. I. Rysin, P. B. Akmarov, O. P. Knyazeva // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 465–472.
9. YUusupov, M. CH. Vliyanie izmeneniya klimata na urozhajnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur / M. CH. YUusupov, D. T. YUusupov // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta Tadzjikistana. – 2020. – № 4 (43). – С. 110–114.
10. Siptic, S. O. Metody i modeli ocenki vliyaniya klimata na urozhajnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur – zarubezhnyj opyt / S. O. Siptic, I. A. Romanenko, N. E. Evdokimova // Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyajstve. – 2020. – № 9 (66). – С. 14–19.
11. CHervyakov, A. V. K voprosu vliyaniya klimata na urozhajnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur kak faktora ustojchivogo proizvodstva / A. V. CHervyakov // Epomen. Global. – 2019. – № 1. – С. 104–109.
12. Ocenka agroklimateicheskikh resursov territorii Belarusi za period s 1989 po 2015 g / V. I. Mel'nik, I. S. Danilovich, I. YU. Kuleshova [i dr.] // Prirodnye resursy. – 2018. – № 2. – С. 88–101.
13. Siptic, S. O. Model'nye ocenki vliyaniya klimata na urozhajnost' zemnykh i zernobobovykh kul'tur v regionah Rossii / S. O. Siptic, I. A. Romanenko, N. E. Evdokimova // Problemy prognozirovaniya. – 2021. – № 2 (185). – С. 75–86.
14. Klochkov, A. V. Vliyanie pogodnykh uslovij na urozhajnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur / A. V. Klochkov, O. B. Solomko, O. S. Klochkova // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2019. – № 2. – С. 101–105.
15. Sirotenko, O. D. Glava 5. Metody ocenki vliyaniya izmenenij klimata na produktivnost' sel'skogo hozyajstva / O. D. Sirotenko, V. N. Pavlova // Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem / pod red. S. M. Semenova. – М. : Rosgidromet, 2012. – С. 165–189.
16. Pamirovyj effekt. Izmenenie klimata i ekosistemy / B. Bolin, B. R. Dees, D. Yager, R. Uorrik. – L. : Gidrometeoizdat, 1989. – 357 s.
17. Sychev, V. G. Informacionnye tekhnologii pri obrabotke eksperimental'nykh dannykh v rastenievodstve dlya prognozov / V. G. Sychev, L. B. Vinnichik, O. N. Suhanova // Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. – 2019. – № 12. – С. 477–484.
18. Derevenec, D. K. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie urozhajnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur / D. K. Derevenec, G. N. Barsukova // Journal of Agriculture and Environment. – 2024. – № 5 (45). – URL: <https://jae.cifra.science/archive/5-45-2024-may/10.60797/JAE.2024.45.1> (дата обращения: 08.02.2025). – DOI: 10.60797/JAE.2024.45.1.
19. Lebedeva, V. M. Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. T. II: Metody raschetov i prognozov v agrometeorologii. Kn. 2: Operativnoe agrometeorologicheskoe prognozirovanie / V. M. Lebedeva, A. I. Strashnaya. – Obninsk : FGBU «VNIIGMI-MCD», 2012. – 216 s.
20. Kononchuk, V. V. Modelirovanie urozhajnosti zemnykh kul'tur v usloviyakh proyavleniya agroekologicheskikh riskov / V. V. Kononchuk // Vestnik Brestskogo universiteta. – 2020. – № 1. – С. 90–95.

References

1. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Belarusi-2022 // Belta. – URL: <https://www.belta.by/infographica/view/prodovol'stvennaya-bezopasnost-belarusi-26589> (data obrashcheniya: 19.02.2025).
2. Volchek, A. A. Vliyanie izmeneniya temperatur holodnogo perioda na urozhajnost' ozimnykh zemnykh v Belarusi / A. A. Volchek, YU. P. Gorodnyuk // Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Hazarskij universitet, g. Baku, 5–6 dekabrya 2022 goda. – Baku, Azerbajdzhan, 2023. – С. 209–212.
3. Gorodnyuk, YU. P. Razlichie formirovaniya urozhajnosti ozimnykh zemnykh kul'tur Brestskoj oblasti / YU. P. Gorodnyuk // Sbornik nauchnykh rabot studentov Respubliki Belarus' «NIRS 2023» / redkol.: A. G. Bahanovich (pred.) [i dr.]. – Minsk : Izd. centr BGU, 2024. – С. 75.
4. Gorodnyuk, YU. P. Osobennosti izmeneniya zimnego temperaturnogo rezhima Belorusskogo Poles'ya / YU. P. Gorodnyuk // Inzhenerno-ekologicheskie aspekty i perspektivy razvitiya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya : sbornik nauchnykh statej Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchyonnykh, priurochennoj ko Vsemirnomu dnyu vodnykh resursov, Brest, 28 marta 2024 g. / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', uchrezhdenie obrazovaniya «Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» ; redkol.: A. A. Volchek [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2024. – С. 112–116.

Материал поступил 17.03.2025, одобрен 19.03.2025, принят к публикации 19.03.2025