

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-1-108-127>

УДК 551.583:633.1(476)

Определение оптимальных сроков сева озимых культур на территории Беларуси в условиях современного изменения климата

***В.И. Мельник, Ю.А. Бондаренко,
Ю.А. Бровка, М.А. Хитриков***

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь
v.melnik2016@mail.ru*

На основании данных наблюдений гидрометеорологической сети Беларуси, полученных результатов исследований по кустистости и литературным данным уточнены критерии сумм температур для расчета оптимальных сроков сева озимых зерновых культур (пшеница, тритикале, рожь). Определены периоды сроков сева и средняя температура воздуха за эти периоды, обеспечивающие наиболее тесную связь между началом и окончанием сроков сева озимых зерновых культур. Получены уравнения связи дат начала и окончания сроков сева озимых зерновых культур по пунктам наблюдений в зависимости от средней температуры воздуха. Определены оптимальные сроки сева озимых зерновых культур за 2000–2020 гг. Получено распределение сумм активных температур осеннего периода (районирование) территории Беларуси. Разработан алгоритм учета прогнозируемой температуры воздуха на сентябрь для уточнения оптимальных сроков сева озимых зерновых культур в конкретном году.

Ключевые слова: изменение климата, суммы температур, даты прекращения вегетации, оптимальные сроки сева озимых зерновых культур

Determination of optimal sowing periods for winter crops on the territory of Belarus in the context of modern climate change

***V.I. Melnik, Yu.A. Bondarenko,
Yu.A. Brovka, M.A. Khitrykau***

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk, Belarus
v.melnik2016@mail.ru*

Criteria of cumulative temperatures for the calculation of optimal sowing periods for winter grain crops (wheat, triticale, rye) were specified on the basis of monitoring data from the hydrometeorological observation network, results of tilling capacity studies, and literary sources. The optimal sowing periods and average air temperature for these periods were determined, which provide the highest correlation between the beginning and end of the sowing periods for winter crops. The equations of the relationship between the dates of the beginning and end of winter grain crop sowing at the observation stations are derived depending on average air temperature. Optimal periods for sowing winter grain crops were determined for the period from 2000 to 2020. A distribution of cumulative

active temperatures (zoning) on the territory of Belarus for the autumn period was obtained. An algorithm for specifying optimal sowing periods for winter grain crops in a particular year on the basis of forecasted temperature for September was developed.

Keywords: climate change, cumulative temperatures, nongrowing season dates, optimal sowing periods for winter grain crops

Введение

Последствия изменения климата в Беларуси оказывают существенное влияние на сектор сельского хозяйства. В условиях изменения климата и увеличения теплообеспеченности осеннего периода требуется уточнение сроков сева озимых зерновых культур. Для озимых зерновых культур сроки сева устанавливаются с таким расчетом, чтобы растения до прекращения вегетации хорошо раскустились и приобрели закалку к низким температурам в зимний период. При отклонении сроков сева от оптимальных на 15–20 дней урожайность озимых в зависимости от почвенно-климатических условий района снижается на 15–30 % и более [11]. По другим оценкам, посев озимых до оптимальных сроков сева также ведет к снижению урожая в пределах 1–1,2 % за одни сутки по причине перерастания и более значительного повреждения посевов вредителями и болезнями из-за ухудшения условий перезимовки. Посев озимых после оптимальных сроков снижает урожайность в пределах 0,9–1 % за сутки опоздания из-за плохого осеннего кушения и ухудшения перезимовки [15]. Принято считать, что посев раньше оптимальных сроков приводит к большему недобору зерна, чем посев после них. В условиях Нечерноземной зоны подтверждено, что темпы развития озимых культур в основном определяет температура воздуха. Цель данного исследования – определить оптимальные сроки сева озимых зерновых культур на территории Беларуси в условиях современного изменения климата.

Материалы и методы исследований

Исходными данными для выполнения работы являются данные Государственного климатического кадастра, агрометеорологические наблюдения государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. Анализ материалов, построение рисунков, таблиц выполнено с применением программного пакета MS Office Excel. Для анализа пространственных особенностей изменения средних значений температуры и осадков в период потепления климата 2000–2020 гг. использован разработанный в Институте природопользования НАН Беларуси сеточный архив метеорологических данных государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь с 1945 по 2020 год. Для расчета оптимальных сроков сева озимых зерновых культур на территории Беларуси (по полученным уравнениям связи дат начала и окончания сроков сева озимых зерновых культур по пунктам

наблюдений в зависимости от средней температуры за периоды) использована созданная в среде MATLAB специальная компьютерная программа.

Результаты и их обсуждение

Оценка теплообеспеченности осеннего периода на территории Беларуси в условиях современного изменения климата

В условиях современного потепления климата теплообеспеченность растений осенью улучшилась. Прирост тепла обусловлен не только повышением температурного режима, но и увеличением продолжительности осенней вегетации. Сроки перехода средней суточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ осенью за период потепления сместились на более поздние. По средним многолетним данным за период 2000–2020 гг. почти на всей территории Брестской, в западной половине Гродненской и Гомельской областей переход среднесуточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ сместился на первую декаду ноября. Позже всего данный переход осуществляется в крайних юго-западных районах Брестской области (рис. 1).

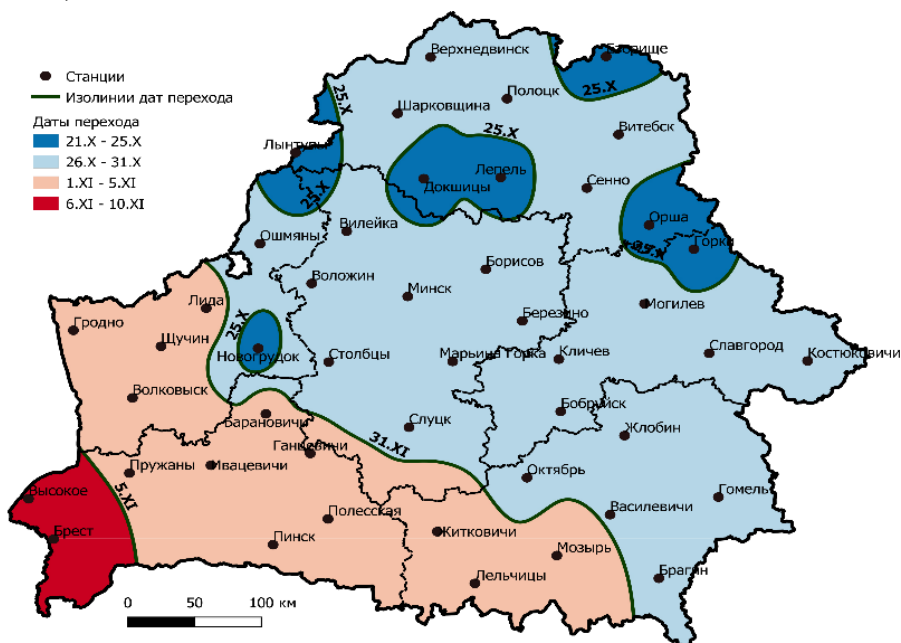


Рис. 1. Дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха осенью через $+5^{\circ}\text{C}$ за 2000–2020 гг.

Fig. 1. Date of sustainable transition of average daily temperature below $+5^{\circ}\text{C}$ in autumn in 2000–2020.

В сравнении с периодом до потепления (1960–1988 гг.), за последнее двадцатилетие переход среднесуточной температуры воздуха через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ осенью на большей территории Беларуси происходит в среднем на 2–4 дня, в Могилевской и на юго-западе Брестской области – на 5–7 дней позже.

Увеличение сумм температур в период осенней вегетации в условиях изменения климата более ярко выражено в последнем двадцатилетии. Суммы активных температур выше $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за период с 1 сентября до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 2000–2020 гг. в сравнении с периодом до потепления на большей территории страны увеличились в среднем на 60–90 $^{\circ}\text{C}$, на юге Брестской области – на 100 $^{\circ}\text{C}$ [6]. Территория, на которой за период осенней вегетации накапливается 600 $^{\circ}\text{C}$ и более активных температур выше $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, за последнее двадцатилетие заметно расширилась. В Гомельской, на большей части территории Брестской и в западной половине Гродненской области сумма активных температур выше $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за период с 1 сентября до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в среднем за 2000–2020 гг. составляет 600–650 $^{\circ}\text{C}$, в крайних южных и западных районах Брестской области – более 650 $^{\circ}\text{C}$, максимум в Бресте – 735 $^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

Распределение сумм температур осеннего периода на территории Беларуси за 2000-2020 гг.

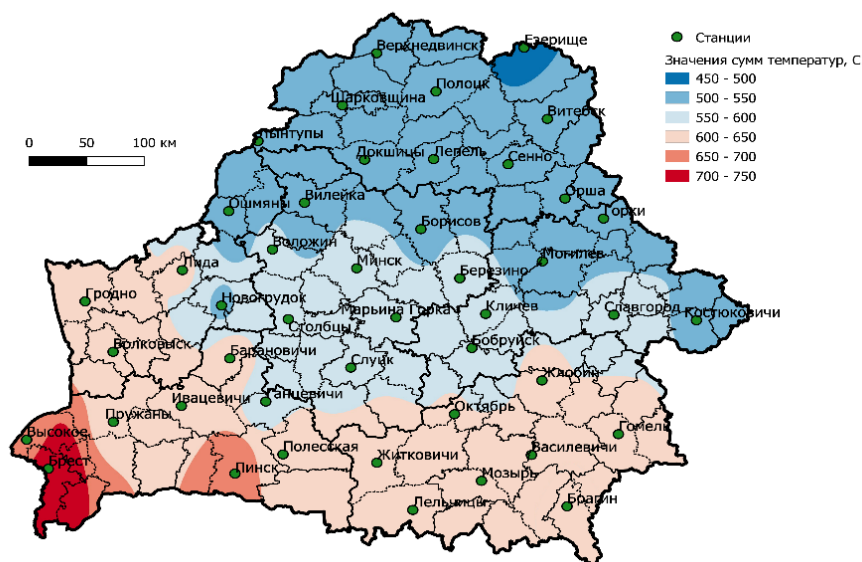


Рис. 2. Распределение сумм температур ($^{\circ}\text{C}$) осеннего периода за 2000–2020 гг. на территории Беларуси.

Fig. 2. Distribution of sums of temperatures ($^{\circ}\text{C}$) for autumn period in Belarus in 2000–2020.

Приведенные данные распределения сумм температур осеннего периода могут быть использованы при планировании работ по севу озимых зерновых культур в районах, не имеющих пунктов наблюдений.

Оценки увлажнения осеннего периода территории Беларуси подробно изложены в [6]. В целом отмечается улучшение агрометеорологических условий осеннего периода для сева и последующего роста и развития озимых зерновых культур.

Вызвано это прежде всего ростом температур и увеличением количества осадков за сентябрь–октябрь. Начало сева и последующая вегетация озимых культур в осенний период проходит в целом при достаточном почвенном увлажнении, за исключением отдельных лет, когда сроки посева могут задерживаться из-за отсутствия продуктивной влаги в пахотном слое почвы.

Исследования условий кустистости озимых культур осенью по суммам температур при разных сроках сева

На многочисленных опытах показано, что степень кустистости растений зависит от многих агрономических причин: сроков и способов осеннего сева, качества семян, нормы высева и глубины заделки семян, типа почвы и уровня ее плодородия, а также от агрометеорологических условий – режимов влажности и температуры почвы [11]. В зависимости от погодных условий для достижения кустистости 1,0 требовались суммы температур от 360 до 460 °С. По данным пунктов наблюдений гидрометеорологической сети за 2010–2020 гг. кустистость растений озимой пшеницы в зависимости от сроков сева и погодных условий осеннего периода изменялась от 1,3 до 4,4 побегов на растение. Суммы температур за период от сроков сева на момент ухода растений в зимовку изменялись от 330 до 630 °С.

При этом следует отметить, что не всегда самой высокой кустистости соответствовали самые большие значения сумм температур воздуха, хотя тенденция увеличения числа побегов с ростом сумм температур воздуха имеет место [6] (рис. 3).

Оценка урожайности зерна озимой пшеницы в условиях Центральной зоны Беларуси в зависимости от сроков сева в опытах, проведенных в 2019–2020 гг. на опытном поле РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», показала, что наибольшей урожайности все сорта озимой пшеницы достигали при посеве их в начале третьей декады сентября. При этом кустистость растений перед уходом в зимовку изменялась от 1,0 до 2,6 и составила в среднем 1,7 [4].

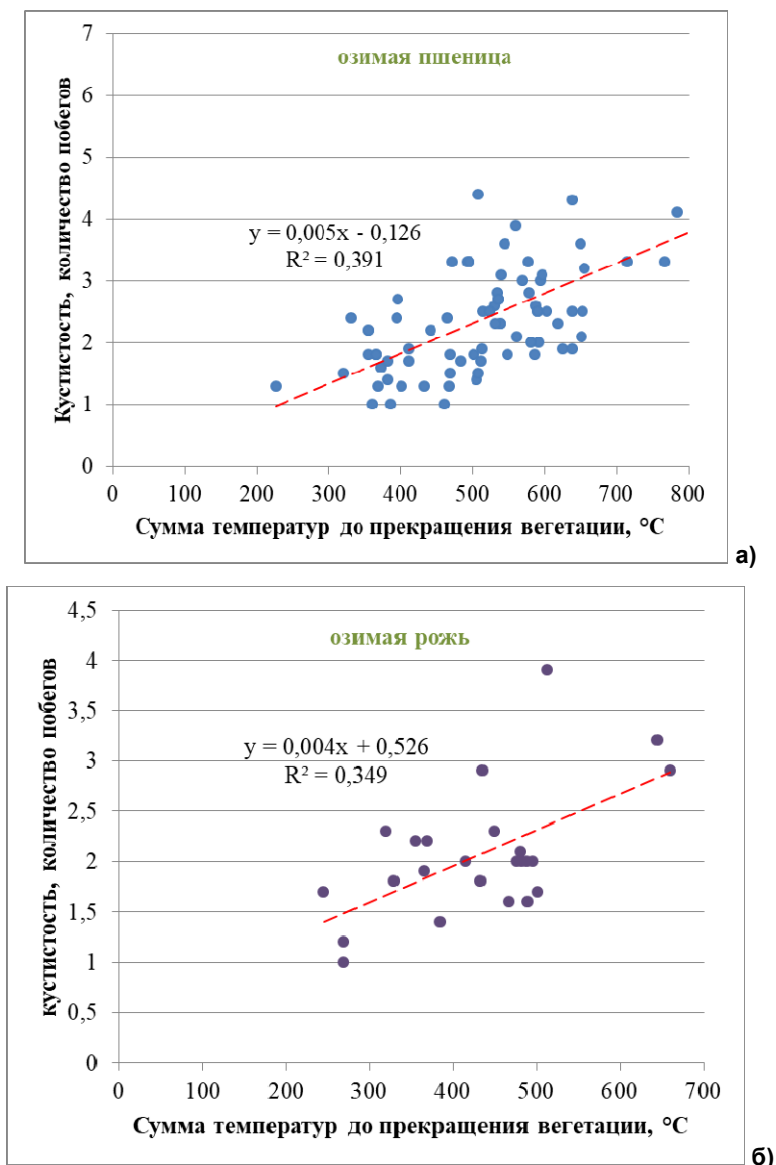


Рис. 3. Зависимость кустистости озимой пшеницы (а) от сумм температур (°C) перед уходом в зиму (по данным пунктов наблюдений за 2010–2020 гг. и полевых опытов за 2019–2020 гг.) и озимой ржи (б) по данным пунктов наблюдений за 2010–2020 гг.

Fig. 3. Dependence of the bushiness of winter wheat (a) on the sum of temperatures (°C) before going into winter (according to data from observation points from 2010 to 2020 and field experiments in 2019–2020) and winter rye (b) (according to data from observation points from 2010 to 2020).

Обоснование сумм температур, необходимых для проведения оптимальных сроков сева озимых культур

Для расчета оптимальных сроков сева озимых зерновых культур, обеспечивающих 2–4 побега, ряд авторов используют суммы эффективных температур 200–300 °С (выше +5 °С) от посева до прекращения вегетации [1, 5, 7, 10], другие авторы используют суммы активных температур воздуха за указанный период [1–3, 9, 12, 14]. В Беларуси в последние годы оптимальные сроки начала и конца сева озимых зерновых культур установлены исходя из следующих показателей достижения сумм температур от посева до прекращения вегетации: озимая пшеница (580, 620–350 °С), озимая рожь (520–290 °С), тритикале (550–320 °С). При таких сроках сева растения могут достигнуть кустистости не менее четырех побегов [12, 13].

В нашем исследовании наряду с литературными данными использованы данные фенологических наблюдений за фазами развития озимых зерновых культур на наблюдательных участках пунктов гидрометеорологических наблюдений за период 1989–2020 гг. За указанный период выбраны годы со сроками сева озимых культур, обеспечивающими наступление кущения только в осенний период. По данным многолетних наблюдений за фазами развития, кущение озимых осенью наступало при достижении в среднем сумм температур от посева до прекращения вегетации 294–430 °С для озимой ржи и 359–479 °С для озимой пшеницы. Суммы температур, необходимые для начала кущения при поздних сроках сева, полученные по данным наблюдений за фазами развития в пунктах метеорологических наблюдений, хорошо согласуются с имеющимися литературными данными (290 °С для озимой ржи и 340–350 °С для озимой пшеницы). Объясняется это тем, что посев в более поздние сроки (окончание посева) происходит при умеренных температурах воздуха и достаточных запасах влаги.

На основании литературных источников, полученных результатов исследований по кустистости, данных пунктов наблюдений гидрометеорологической сети за фазами развития озимых культур осеннего периода, в данном исследовании приняты следующие критерии сумм активных температур: для озимой пшеницы – 465 °С (начало сева) и 350 °С для периода «посев – начало кущения» (конец сева), для озимого тритикале – 435–320 °С соответственно, озимой ржи – 405–290 °С. Принятые суммы температур обеспечивают не менее 2–3-х побегов к моменту прекращения вегетации озимых культур. С учетом дат прекращения вегетации и установленных критериев сумм температур, необходимых для достижения начала и массового кущения озимых, были рассчитаны средние многолетние сроки начала и окончания сева озимых культур за период 2000–2020 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Оптимальные сроки сева озимых зерновых культур по областям Беларуси за 2000–2020 гг.**Table 1.** Optimal sowing terms for winter crops for administrative regions of Belarus in 2000–2020

Область	Озимые зерновые	В том числе		
		озимая пшеница	озимая тритикале	озимая рожь
Витебская	2–20 IX	2–16 IX	5–17 IX	7–20 IX
Минская	5–23 IX	5–19 IX	7–20 IX	10–23 IX
Гродненская	6–26 IX	6–22 IX	8–23 IX	10–26 IX
Могилевская	4–21 IX	4–17 IX	6–19 IX	8–21 IX
Брестская	10 IX–3 X	10–29 IX	12–30 IX	14 IX–3 X
Гомельская	9–28 IX	9–24 IX	11–25 IX	13–28 IX

Примечание. Суммы накопленных температур для озимой пшеницы – 465–350 °С, тритикале – 435–320 °С, озимой ржи – 405–290 °С.

Приведенные в табл. 1 оптимальные сроки сева озимых культур рассчитаны по многолетним данным. Планирование оптимальных сроков начала сева озимых культур требует возможности оценок и учета изменения температуры воздуха в осенний период в каждом конкретном году. Для этого были разработаны расчетные методы определения оптимальных сроков сева озимых культур.

Определение оптимальных сроков сева озимых по уравнениям

В 80-х годах прошлого столетия агрометеорологами Беларуси была установлена зависимость между оптимальной датой начала сева озимых культур и средней температурой воздуха за осенний период (с 25 августа по 25 октября), которая выражается полиномом второй степени [7]. В современный период изменения климата зависимость сроков сева озимых зерновых культур от средней температуры воздуха за период третья декада августа – третья декада сентября для северных районов Нечерноземной зоны – получена российскими учеными и хорошо описывается полиномом третьей степени [10]. Нами для расчета оптимальных сроков сева с помощью установленных критериев по суммам температур, необходимых для наступления кушения озимых культур осенью до даты прекращения вегетации, были рассчитаны ежегодные оптимальные сроки сева. Проведенный анализ материалов за 2000–2020 гг. (рассмотрено более 1000 годо-случаев; расчеты оптимальных сроков сева за каждый год велись с использованием компьютерной программы, созданной в среде MATLAB) помог установить наиболее тесную связь между средней

температурой воздуха за осенний период с 10 сентября по 15 ноября и оптимальным сроком начала сева озимых (озимой пшеницы) (рис. 4).



Рис. 4. Зависимость даты начала сева озимой пшеницы от средней температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за период с 10 сентября по 15 ноября (по данным пунктов наблюдений) за 2000–2020 гг.

Fig. 4. Dependence of the beginning date of winter wheat sowing from average air temperature ($^{\circ}\text{C}$) from September 10th to November 15th (according to the data from observation points) in 2000–2020.

Уравнение этой зависимости имеет следующий вид:

$$D = -0,13T^3 + 3,37T^2 - 21,8T + 49,34, \quad (1)$$

где D – искомая дата начала оптимального срока сева озимой пшеницы (количество дней, прошедших с 20 августа); T – средняя температура воздуха за текущий период (с 10 сентября по 15 ноября) на ближайшей станции.

Аналогичные зависимости были установлены между средней температурой воздуха за период с 10 сентября по 15 ноября и оптимальным сроком начала сева озимого тритикале, а также между средней температурой воздуха за период с 15 сентября по 15 ноября и оптимальным сроком начала сева озимой ржи (уравнения 2, 3):

$$D = -0,14T^3 + 3,5T^2 - 22,28T + 51,27, \quad (2)$$

$$D = -0,17T^3 + 3,87T^2 - 22,67T + 50,67, \quad (3)$$

где D – искомая дата начала оптимального срока сева озимого тритикале (2), озимой ржи (3), считается по количеству дней, прошедших с 20 августа); T – средняя температура воздуха за текущий период (с 10 сентября по 15 ноября для озимого тритикале и с 15 сентября по 15 ноября для озимой ржи) на ближайшей станции.

Коэффициенты детерминации (уравнения 1–3), соответственно, равны $R_{\text{пш}}^2 = 0,758$, $R_{\text{тр}}^2 = 0,731$, $R_{\text{рж}}^2 = 0,763$, что характеризует

высокую зависимость дат начала сева от средних температур воздуха за указанные периоды.

Аналогичным способом были рассчитаны и оптимальные сроки окончания сева озимых культур. В качестве критериев были использованы следующие суммы температур: озимая пшеница – 350 °С, озимое тритикале – 320 °С, озимая рожь – 290 °С. Связь между средней температурой за период и оптимальными датами окончания сева озимых выражается уравнениями:

$$D = -0,21T^3 + 4,6T^2 - 26T + 58, \quad (4)$$

$$D = -0,19T^3 + 4,3T^2 - 24T + 55, \quad (5)$$

$$D = -0,22T^3 + 4,8T^2 - 26T + 60, \quad (6)$$

где D – искомая дата окончания срока сева озимой пшеницы (4); озимого тритикале (5); озимой ржи (6). Считается по количеству дней, прошедших с 20 августа); T – средняя температура воздуха за период с 20 сентября по 10 ноября.

Коэффициенты детерминации (уравнения 4–6), соответственно, равны $R_{\text{пш}}^2 = 0,76$, $R_{\text{тр}}^2 = 0,745$, $R_{\text{рж}}^2 = 0,722$.

Установлена тесная связь между оптимальными датами начала и окончания сева озимых культур, которая выражается уравнением:

$$y = -0,0049x^2 + 1,225x + 8,104, \quad R^2 = 0,99, \quad (7)$$

где y – дата окончания сева; x – дата начала сева. Ошибка уравнения $E = \pm 1$ день.

Для удобства в работе связь дат начала и окончания сева озимых указана в виде графика на рис. 5.

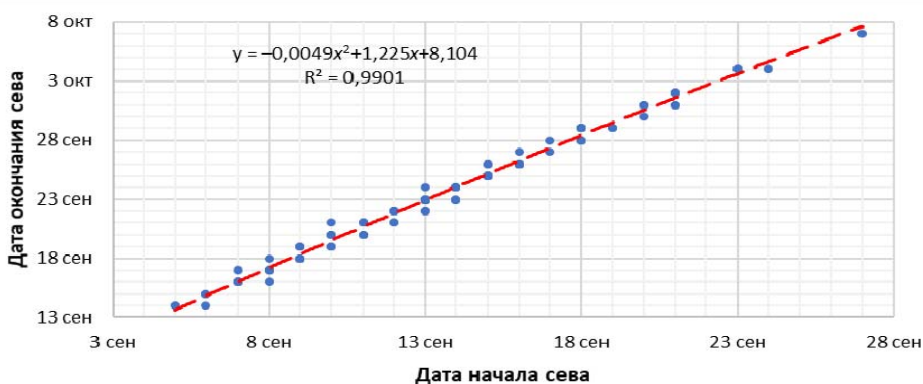


Рис. 5. Связь между сроками начала (x) и окончания (y) сева озимых культур на территории Беларуси.

Fig. 5. Dependence between beginning (x) and end (y) of sowing of winter crops in Belarus.

Как видно из графика, сев озимых должен проводиться в сжатые сроки, в основном в течение 10 дней. Зависимость дат окончания сева от дат его начала позволяет по графику определить дату окончания сева озимых без прогноза погоды (по дате начала сева и многолетней разнице дат начала и окончания сева) и не требует расчетов по уравнению по каждой культуре ежегодно.

В табл. 2 приведена средняя температура воздуха для каждого пункта наблюдений за периоды (10.09 – 15.11 для озимой пшеницы и озимого тритикале и 15.09 – 15.11 для озимой ржи), которая были использованы для расчетов дата начала и окончания сроков сева озимых культур.

Таблица 2. Средняя температура воздуха (°C) за периоды для расчетов сроков сева озимых культур

Table 2. Average air temperature (°C) for the periods used for calculations of sowing terms of winter crops

Пункт наблюдений	Срок сева озимых культур		
	Начало сева озимых		Окончание сева озимых
	пшеница, тритикале 10.09 – 15.11	рожь 15.09 – 15.11	пшеница, тритикале, рожь 20.09 – 10.11
Витебская область			
Езерище	6,92	6,47	6,49
Верхнедвинск	7,26	6,77	6,70
Полоцк	7,15	6,63	6,56
Шарковщина	7,55	7,05	7,01
Витебск	7,46	6,93	6,92
Лынтупы	7,20	6,72	6,67
Докшицы	7,22	6,75	6,71
Лепель	7,21	6,74	6,73
Сенно	7,42	6,95	6,99
Березинский заповедник	7,06	6,56	6,52
Орша	7,11	6,60	6,58
Минская область			
Вилейка	7,70	7,21	7,16
Борисов	7,55	7,02	7,00
Воложин	7,79	7,26	7,24
Минск	7,86	7,32	7,29
Березино	7,56	7,04	7,02
Марьино Горка	7,94	7,41	7,41
Столбцы	8,02	7,51	7,48
Слуцк	8,17	7,65	7,64

Пункт наблюдений	Срок сева озимых культур		
	Начало сева озимых		Окончание сева озимых
	пшеница, тритикале 10.09 – 15.11	рожь 15.09 – 15.11	пшеница, тритикале, рожь 20.09 – 10.11
Гродненская область			
Ошмяны	7,66	7,16	7,12
Лида	8,25	7,76	7,73
Гродно	8,46	7,98	7,96
Новогрудок	7,79	7,27	7,27
Волковыск	8,63	8,14	8,14
Могилевская область			
Горки	6,95	6,43	6,43
Мстиславль	7,46	6,89	6,82
Могилев	7,28	6,76	6,76
Кличев	7,59	7,09	7,07
Славгород	7,68	7,16	7,16
Костюковичи	7,44	6,93	6,93
Бобруйск	7,68	7,18	7,17
Брестская область			
Барановичи	8,33	7,82	7,82
Ганцевичи	8,26	7,78	7,76
Ивацевичи	8,71	8,22	8,20
Пружаны	8,61	8,13	8,12
Высокое	8,96	8,49	8,47
Полесская	8,25	7,76	7,76
Пинск	9,03	8,53	8,53
Брест	9,51	9,02	9,01
Гомельская область			
Чечерск	7,82	7,36	7,82
Жлобин	8,27	7,75	8,27
Октябрь	8,21	7,70	8,21
Гомель	8,57	8,03	8,57
Василевичи	8,31	7,81	8,31
Житковичи	8,54	8,04	8,54
Мозырь	8,67	8,13	8,67
Брагин	8,31	7,81	8,31
Лельчицы	8,55	8,11	8,55

С использованием уравнений 1–6 и данных табл. 2 рассчитаны оптимальные сроки начала и конца сева озимых культур (табл. 3, 4).

Таблица 3. Оптимальные сроки сева озимых культур за 2000–2020 гг. на территории Беларуси

Table 3. Optimal sowing terms of winter crops in Belarus in 2000–2020

Пункт наблюдений	Оптимальные сроки сева начала и конца сева озимых культур		
	пшеница	тритикале	рожь
Витебская область			
Езерище	5–14 IX	7–17 IX	9–19 IX
Верхнедвинск	7–16 IX	9–18 IX	11–21 IX
Полоцк	6–15 IX	8–17 IX	10–20 IX
Шарковщина	9–18 IX	11–20 IX	13–23 IX
Витебск	8–17 IX	10–20 IX	12–22 IX
Лынтупы	6–15 IX	9–18 IX	11–20 IX
Докшицы	7–16 IX	9–18 IX	11–21 IX
Лепель	7–16 IX	9–18 IX	11–21 IX
Сенно	8–18 IX	10–20 IX	13–23 IX
Березинский заповедник	6–15 IX	8–17 IX	10–19 IX
Орша	6–15 IX	8–17 IX	10–20 IX
Минская область			
Вилейка	10–19 IX	12–22 IX	14–24 IX
Борисов	9–18 IX	11–20 IX	13–23 IX
Воложин	10–19 IX	13–22 IX	15–25 IX
Минск	11–20 IX	13–23 IX	15–25 IX
Березино	9–18 IX	11–20 IX	13–23 IX
Марьина Горка	11–21 IX	14–23 IX	16–26 IX
Столбцы	12–21 IX	14–24 IX	16–27 IX
Слуцк	13–22 IX	15–25 IX	17–28 IX
Гродненская область			
Ошмяны	9–19 IX	12–21 IX	14–24 IX
Лида	13–23 IX	16–26 IX	18–29 IX
Гродно	15–25 IX	17–27 IX	20–30 IX
Новогрудок	10–20 IX	13–22 IX	15–25 IX
Волковыск	16–26 IX	18–29 IX	21–2 X
Могилевская область			
Горки	5–14 IX	7–16 IX	9–19 IX
Мстиславль	8–16 IX	10–19 IX	12–22 IX
Могилев	7–16 IX	9–18 IX	11–21 IX
Кличев	9–18 IX	11–21 IX	13–24 IX
Славгород	9–19 IX	12–22 IX	14–24 IX
Костюковичи	8–17 IX	10–20 IX	12–22 IX
Бобруйск	9–19 IX	12–22 IX	14–24 IX

Пункт наблюдений	Оптимальные сроки сева начала и конца сева озимых культур		
	пшеница	тритикале	рожь
Брестская область			
Барановичи	14–24 IX	16–26 IX	19–29 IX
Ганцевичи	13–23 IX	16–26 IX	18–29 IX
Ивацевичи	16–26 IX	19–29 IX	21 IX–2 X
Пружаны	16–26 IX	18–29 IX	21 IX–2 X
Высокое	18–28 IX	20 IX–1 X	23 IX–4 X
Полеская	13–24 IX	16–26 IX	18–29 IX
Пинск	18–29 IX	21 IX–1 X	23 IX–4 X
Брест	21 IX–1 X	24 IX–4 X	27 IX–7 X
Гомельская область			
Чечерск	10–21 IX	13–23 IX	15–26 IX
Жлобин	13–23 IX	16–26 IX	18–29 IX
Октябрь	13–23 IX	15–26 IX	18–28 IX
Гомель	15–25 IX	18–28 IX	20 IX–1 X
Василевичи	14–24 IX	16–26 IX	19–29 IX
Житковичи	15–25 IX	18–28 IX	20 IX–1 X
Мозырь	16–26 IX	18–29 IX	21 IX–2 X
Брагин	14–23 IX	16–26 IX	18–29 IX
Лельчицы	15–26 IX	18–29 IX	21 IX–2 X

Таблица 4. Оптимальные сроки начала и конца сева озимых зерновых культур за 2000–2020 гг. по областям Беларуси

Table 4. Optimal sowing terms of winter grain crops in 2000–2020 for administrative regions of Belarus

Область	Озимые зерновые	В том числе		
		озимая пшеница	озимая тритикале	озимая рожь
Витебская	5–23 IX	5–18 IX	7–20 IX	9–23 IX
Минская	9–28 IX	9–22 IX	11–25 IX	13–28 IX
Гродненская	9 IX–2 X	9–26 IX	12–29 IX	14 IX–2 X
Могилевская	5–24 IX	5–19 IX	7–22 IX	9–24 IX
Брестская	13 IX–7 X	13 IX–1 X	16 IX–4 X	18 IX–7X
Гомельская	10 IX–2 X	10 IX–26 IX	13 IX–29 IX	15 IX–2 X

Примечание. Суммы накопленных температур для озимой пшеницы 465–350 °С, тритикале 435–320 °С, озимой ржи 405–290 °С.

Рассчитанные нами сроки сева озимых культур являются более точными по сравнению с данными, указанными в табл. 1, и хорошо согласуются с датами начала и окончания сроков сева озимых, обеспечивающих с 75-процентной вероятностью осеннее кущение растений, указанных в рабочем плане проведения осенних полевых работ в сельскохозяйственных организациях республики в 2021 году и в последних исследованиях РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» [8].

Для определения начала оптимального сева в конкретном году надо знать среднюю температуру за осенний период по близлежащему пункту наблюдений (см. табл. 2) и прогноз погоды на сентябрь, который дается в конце августа. На октябрь и ноябрь прогноза нет, поэтому средняя температура за осенний период будет складываться из прогнозируемой температуры воздуха на сентябрь и средней многолетней за октябрь и ноябрь. Температура воздуха в сентябре прогнозируется на 0,5 °С, 1 °С, 1,5 °С, 2 °С, 3 °С, 4 °С выше нормы или на 0,5 °С, 1 °С, 1,5 °С, 2 °С, 3 °С, 4 °С ниже нормы. По табл. 5 рассчитываем поправку к средней температуре за осенний период.

Таблица 5. Таблица расчета поправок температуры воздуха (°С) для уточнения сроков начала сева озимых культур по прогнозу температуры на сентябрь в конкретном году

Table 5. Table for calculation of air temperature (°C) corrections for specification of the beginning of sowing terms of winter crops according to the temperature forecast for September in a given year

Увеличение (+), уменьшение (-) температуры воздуха по прогнозу в сентябре, °С	Поправка средней температуры воздуха для озимой пшеницы и тритикале, °С	Поправка средней температуры воздуха для озимой ржи, °С
+0,5	0,16	0,13
+1,0	0,31	0,26
+1,5	0,47	0,39
+2,0	0,63	0,52
+3,0	0,94	0,77
+4,0	1,25	1,03
-0,5	-0,16	-0,13
-1,0	-0,31	-0,26
-1,5	-0,47	-0,39
-2,0	-0,63	-0,52
-3,0	-0,94	-0,77
-4,0	-1,25	-1,03

В табл. 6 приведены даты начала сева озимых культур в зависимости от температуры воздуха за период осенней вегетации (температура воздуха приводится для каждой культуры построчно в (°С) на даты с 1 по 30 сентября).

Таблица 6. Выбор сроков начала сева озимых культур в зависимости от температуры воздуха (°С) в период осенней вегетации

Table 6. Selection of the beginning of sowing terms of winter crops depending on air temperature (°C) in the period of autumn vegetation

Культура	Дата начала сева, температура воздуха, (°С)									
	1 сен	2 сен	3 сен	4 сен	5 сен	6 сен	7 сен	8 сен	9 сен	10 сен
Пшеница	6,08	6,29	6,49	6,68	6,86	7,04	7,20	7,37	7,53	7,68
Рожь	4,38	4,83	5,12	5,37	5,59	5,79	5,97	6,15	6,32	6,48
Тритикале	5,61	5,86	6,08	6,29	6,48	6,66	6,84	7,01	7,17	7,33
	11 сен	12 сен	13 сен	14 сен	15 сен	16 сен	17 сен	18 сен	19 сен	20 сен
Пшеница	7,84	7,99	8,14	8,29	8,44	8,60	8,75	8,90	9,05	9,21
Рожь	6,64	6,79	6,94	7,09	7,23	7,38	7,52	7,66	7,81	7,95
Тритикале	7,48	7,64	7,79	7,94	8,09	8,24	8,38	8,53	8,68	8,83
	21 сен	22 сен	23 сен	24 сен	25 сен	26 сен	27 сен	28 сен	29 сен	30 сен
Пшеница	9,36	9,52	9,69	9,86	10,03	10,21	10,40	10,61	10,82	11,07
Рожь	8,10	8,24	8,39	8,54	8,69	8,85	9,01	9,18	9,36	9,54
Тритикале	8,98	9,14	9,29	9,45	9,61	9,78	9,96	10,14	10,33	10,54

**Алгоритм расчета оптимальных сроков сева озимых
зерновых культур в зависимости от прогноза
температуры воздуха на сентябрь**

1. Выбираем пункт наблюдений и культуру, для которой необходимо определить дату начала сева.

2. По табл. 2 находим среднюю температуру воздуха за указанный период для данной культуры по указанному пункту наблюдений.

3. По табл. 5 в зависимости от прогнозируемой температуры на сентябрь находим поправку средней температуры воздуха. Суммируем поправку и среднюю температуру, определенную в предыдущем пункте и получаем расчетную температуру периода.

4. По табл. 6, в зависимости от расчетной температуры за период осенней вегетации, находим оптимальную дату начала сева. В случае, если значение расчетной температуры находится между градациями, приведенными в табл. 6, в качестве даты начала сева следует принимать значение, соответствующее меньшей градации температуры. Например, при расчетном значении температуры 10,2 °С, датой начала сева озимой пшеницы будет 25 сентября, а озимой тритикале – 28 сентября.

Можно прогнозируемую дату начала сева конкретной культуры по указанному пункту по полученной расчетной температуре рассчитать по уравнениям (1–3).

Табл. 3 содержит сведения о датах начала и окончания сроков сева озимых культур, рассчитанным по пунктам наблюдений, примерно 50 районов. Для остальных районов, не имеющих пунктов наблюдений, рекомендуется использовать данные по близлежащим станциям. Для удобства необходимо использовать данные распределения сумм температур осеннего периода (с 1 сентября до даты прекращения вегетации осенью) за период 2000–2020 гг., приведенные на рис. 2. Административные районы и отдельные пункты, попадающие в границы одних сумм температур, наиболее близки по теплообеспеченности и, соответственно, по срокам начала сева озимых культур. Сроки сева озимых культур в каждой области могут отличаться в пределах 1–3 дней. В хозяйствах для полей и участков с выраженным рельефом нужно вводить соответствующие поправки к срокам сева озимых с учетом экспозиции склонов, рельефа местности. На пологих северных склонах (крутизна меньше 10°), получающих меньше тепла, чем ровное место, сев следует начинать на 3–4 дня раньше, чем указано в табл. 6, а на южных склонах той же крутизны, наоборот, можно сеять на 3–4 дня позднее [7]. Чем разнообразнее почвенно-климатические условия области (района), тем продолжительнее оптимальные сроки сева озимой культуры в пределах области (района).

Заключение

1. На основании литературных источников, а также полученных результатов исследований по кустистости, мониторинговых данных пунктов наблюдений гидрометеорологической сети установлены критерии сумм положительных температур для озимых зерновых культур (пшеницы, тритикале, ржи), обеспечивающих 2–3 побега: для озимой пшеницы – 465°C (начало сева) и 350°C для периода «посев – начало кущения» (конец сева), для озимого тритикале – $435\text{--}320^\circ\text{C}$ и озимой ржи $405\text{--}290^\circ\text{C}$.

2. Определены периоды для каждой культуры и средняя температура воздуха за эти периоды, обеспечивающие наиболее тесную связь между началом и окончанием сроков сева озимых зерновых культур.

3. Получены уравнения связи для определения дат начала и окончания сева озимых культур по пунктам наблюдений в зависимости от средней температуры за периоды наиболее тесной зависимости, позволяющие определять оптимальные сроки начала и окончания сева озимых зерновых культур.

4. Определены оптимальные сроки сева озимых зерновых культур по пунктам наблюдений и административным областям на территории Беларуси.

5. Приведен алгоритм расчета оптимальных сроков сева с учетом прогноза температуры воздуха на сентябрь.

6. Выполнено распределение сумм активных температур осеннего периода (районирование) территории, что позволяет выделять административные районы и отдельные пункты, наиболее близкие по срокам начала сева озимых зерновых культур.

Настоящая работа выполнена в рамках Плана научных исследований и разработок общегосударственного, отраслевого назначения, направленных на научно-техническое обеспечение деятельности Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь на 2021 год.

Список литературы

1. *Грингоф И.Г., Клещенко А.Д.* Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2011. 808 с.

2. *Елисеев С.Л.* О сроках посева озимой ржи в Предуралье // *Аграрный вестник Урала*. 2011. № 1 (80). С. 5-6.

3. *Елисеев С.Л., Вершинина Т.С.* Необходимость уточнения срока посева озимой ржи // *Пермский аграрный вестник*. 2017. № 1 (17). С. 32–38.

4. *Кот В.В., Сацюк И.В., Гордей С.И., Шанбанович А.Ю., Лученок А.Н., Ардашников А.Э., Трушко В.Ю.* Урожайность озимой пшеницы в зависимости от сроков сева // *Земледелие и селекция в Беларуси. Сборник научных трудов*. 2021. Вып. 57. С. 77-87.

5. *Мельник В.И.* Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельскохозяйственных культур Беларуси: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск: Инст. проблем исполъз. природ. рес. и экологии, 2004. 21 с.

6. Оценка изменений агроклиматических ресурсов территории Республики Беларусь в период осеннего сева сельскохозяйственных культур: отчет по НИР (заключительный) / Отв. исполнитель В.И. Мельник; Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2021. 64 с. № госрегистрации 20212460.

7. *Пятовская Л.К.* Агрометеорологическое обоснование сроков сева. Минск: Ураджай, 1977. 104 с.

8. Рабочий план проведения осенних полевых работ в сельскохозяйственных организациях республики в 2021 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mshp.gov.by/documents/plant/rabochiy_plan_osennego_seva_v_21_g2.pdf.

9. *Саранин К.И.* Озимая пшеница. М.: Московский рабочий, 1973. 151 с.

10. *Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В.* О сроках сева озимых культур в условиях изменения климата и их прогнозирование в Приволжском федеральном округе // *Труды Гидрометцентра России*. 2011. Вып. 345. С. 175-193.

11. *Федосеев А.П.* Агротехника и погода. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 240 с.

12. *Шашко К.Г., Привалов Ф.И., Холодинский В.В., Волкова А.И., Сацюк И.В., Счастливая А.А., Акулич И.С., Кулаева А.А.* Ретроспективный анализ оптимальности сроков сева озимых зерновых в Республике Беларусь за 1996–2011 годы в связи с потеплением климата // *Земляробства і ахова раслін*. 2012. № 3. С. 6-8.

13. Шашко К.Г., Привалов Ф.И., Холодинский В.В. Оптимизация сроков сева озимых зерновых культур в связи с потеплением климата Беларуси // Земледелие и селекция Беларуси. 2012. Вып. 50. С. 179-187.

14. Шкляр А.Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве Беларуси. Минск: Вышэйшая школа, 1973. 430 с.

15. Шпаар Д., Адам Л., Гинант Х. и др. Зерновые культуры; под общ. ред. Д. Шпаара. Минск: ФУАИинформ, 2000. 442 с.

References

1. Gringof I., Kleshchenko A. Osnovy sel'skhozyaystvennoy meteorologii. Tom 1. Potrebnost' sel'skhozyaystvennykh kul'tur v agrometeorologicheskikh usloviyakh i opasnye dlya sel'skhozyaystvennogo proizvodstva pogodnye usloviya [Bases of agricultural meteorology. Vol. 1. Need of crops for agrometeorological conditions and dangerous weather conditions for agriculture]. Obninsk: RIHMI-WDC Publ., 2011, 808 p. [in Russ.]

2. Eliseyev S. O srokah poseva ozimoy rzhi v Predural'ye [On rye sowing terms in Cis-Ural region]. *Agrarny vestnik Urala [Agrarian bulletin of the Urals]*. 2011, vol. 80, no. 1, pp. 5-6 [in Russ]

3. Eliseev S., Vershinina T. Neobhodimost' utochneniya sroke poseva ozimoy rzhi [Necessity to specify the sowing time of winter rye]. *Permiski agrarnyy vestnik [Perm agrarian journal]*, 2017, no. 1 (17), pp. 32-38 [in Russ.].

4. Kot V., Satsyuk I., Gordey S., Shanbanovich A., Luchenok A., Ardashnikova A., Trushko V. Urozhaynost' ozimoy pshenitsy v zavisimosti ot srokov seva [Winter wheat yield in relation to sowing dates]. *Zemlyedeliye i selektsiya v Belarusi [Agriculture and selection in Belarus]*, 2021, vol. 57, pp. 77-87 [in Russ.]

5. Melnik V. Vliyaniye izmeneniya klimata na agroklimaticheskie resursy i produktivnost' sel'skhozyaystvennykh kul'tur v Belarusi [Effect of climate change on agroclimatic resources and productivity of crops in Belarus]: candidate of geographical sciences dissertation abstract. Minsk: Institut problem ispol'zovaniya prirodnnykh resursov i ekilogii. Minsk, 2004, 21 p. [in Russ.]

6. Otsenka izmeneniya agroklimaticheskikh resursov territorii Respubliki Belarus' v period osennego seva sel'skhozyaystvennykh kul'tur: otchyot po NIR (zaklyuchitel'nyy) [Estimation of agroclimatic resource changes on the territory of Republic of Belarus during autumn sowing period of crops: final research report], No. of state registration: 20212460. Minsk: Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi Publ. [Institute for Environmental Management of NAS of Belarus Publ.], 2021, 64 p. [in Russ.]

7. Pyatovskaya L. Agrometeorologicheskoye obosnovaniye srokov seva [Agrometeorological basis of sowing terms]. Minsk: Uradzhay Publ. [Harvest Publ.], 1977, 104 p. [in Russ.]

8. Rabochiy plan provedeniya osennih polevykh rabot v sel'skhozyaystvennykh organizatsiyakh respubliky v 2021 godu [Work plan of autumn field works in agricultural organizations of the republic in 2021]. Available at: https://mshp.gov.by/documents/plant/rabochiy_plan_osennego_seva_v_21_g2.pdf. [in Russ.]

9. Saranin K. Ozimaya pshenista [Winter wheat]. Moscow, Moskovskiy rabochiy publ. [Moscow Worker Publ.], 1973, 151 p. [in Russ.]

10. *Strashnaya A., Maksimenkova T., Chub O.* O srokah seva ozimyh kul'tur v usloviyah izmeneniya klimata i ih prognozirovanie v Privolzhskom federal'nom okruge [On sowing terms of winter crops under the conditions of climate change and their forecast in Volga Federal District]. *Trydy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of Russia]*. 2011, vol. 345, pp. 175-193 [in Russ.]

11. *Fedoseev. A.* Agrotehnika i pogoda [Agricultural technology and weather]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ. [Hydrometeorological Publication], 1979, 240 p. [in Russ.]

12. *Shashko K., Privalov F., Holodinskiy V., Volkova A., Satsyuk I., Schastnaya A., Akulich I., Kulayeva A.* Retrospektivnyy analiz optimal'nosti srokov seva ozumykh zernovykh v Respublike Belarus' za 1996–2011 gody v svyazi s potepleniem klimata [Retrospective analysis of winter grain crops optimum sowing periods in the Republic of Belarus for 1996–2011 period in connection with climate warming]. *Ziemiropstva i achova raslin [Agriculture and plant protection]*, 2012, no. 3, pp. 6-8 [in Russ.]

13. *Shashko K., Privalov F., Holodinskiy V.* Optimizatsiya srokov seva ozimyh zernovykh kul'tur v svyazi s potepleniem klimata Belarusi [Optimization of sowing terms of winter cereal crops due to climate warming in Belarus]. *Zemlyedeliye i selektsiya v Belarusi [Agriculture and selection in Belarus]*, 2012, vol. 50, pp. 179-187 [in Russ.]

14. *Shklyar A.* Klimaticheskie resursy Byelorussii i ih ispil'zovanie v sel'skom hozyaystve [climatic resources of Belarus and their application in agriculture]. Minsk: Vysheyshaya shkola publ. [Higher school Publ.], 1973, 430 p. [in Russ.]

15. *Shpaar D., Adam L., Ginapp C. et al.* Zernovye kul'tury [Grain crops]; edited by D. Shpaar. Minsk: FUAInform, 2000, 442 p. [in Russ.]

*Поступила 25.02.2022; одобрена после рецензирования 17.03.2022;
принята в печать 30.03.2022.*

*Submitted 25.02.2022; approved after reviewing 17.03.2022;
accepted for publication 30.03.2022.*