

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 202-212.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 3. P. 202-212.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.11:631.559 (470.56)
doi: 10.33284/2658-3135-106-3-202

Продолжительность и условия межфазных периодов вегетации как факторы продуктивности сортов яровой пшеницы в Оренбургском Предуралье

Ишен Насанович Бесалиев¹, Александр Леонидович Панфилов²

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹orniish_tzk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9389-1938>

²panfilov-1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1210-6350>

Аннотация. Продолжительность периода вегетации сортов яровой пшеницы определяет их принадлежность к группе спелости и в значительной степени характеризует биологические особенности при формировании продуктивности. В последние годы в результате изменений климатических факторов метеосостояния межфазных периодов оказывают существенное влияние на их продолжительность. Статья содержит результаты исследований за 6 лет по продолжительности межфазных периодов вегетации сортов яровой мягкой пшеницы, их связи с урожайностью и зависимостью от метеорологических условий. Годы исследований отличались наличием благоприятных (2017, 2022 гг.), средних по благоприятности (2016 г.) и исключительно неблагоприятных (2018, 2019, 2020 гг.) лет. Длительность периода вегетации изменялась от 69 до 85 дней по сорту Учитель, от 72 до 90 дней – по сорту Тулайковская золотистая и от 69 до 92 дней – по сорту Ульяновская 105. Рассчитаны коэффициенты зависимости продолжительности межфазных периодов от средней и максимальной температуры воздуха как основных слагающих факторов благоприятности метеосостояния и зависимости урожайности сортов от продолжительности периодов вегетации. Установлено, что урожайность яровой пшеницы тесно связана с продолжительностью всего периода вегетации ($r=0,976$), а также в значительной мере – с продолжительностью периода всходы-кущение ($r=0,900$), кущение-выход в трубку ($r=0,514$), выход в трубку-колошение ($r=0,844$). Рассчитаны оптимальные параметры продолжительности межфазных периодов вегетации, при которых возможно формирование максимальной урожайности сортов яровой пшеницы в условиях зоны исследований.

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, урожайность, межфазный период, коэффициент корреляции

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ -2022-0014).

Для цитирования: Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л. Продолжительность и условия межфазных периодов вегетации как факторы продуктивности сортов яровой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 202-212. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-202>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Duration and conditions of interphase periods of vegetation as productivity factors of spring wheat varieties in Orenburg Cis-Urals

Ishen N Besaliev¹, Alexander L Panfilov²

^{1,2}Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹orniish_tzk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9389-1938>

²panfilov-1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1210-6350>

Abstract. The duration of the vegetation period of a spring wheat variety determines its belonging to the ripeness group and largely characterizes the biological characteristics in the formation of productivi-

ty. In recent years, as a result of changes in climatic factors, the meteorological conditions of interphase periods have a significant impact on their duration. The article contains the results of 6-year studies on the duration of interphase periods of vegetation of varieties of spring soft wheat, their relationship with productivity and dependence on meteorological conditions. The years of research differed in the presence of favorable (2017, 2022), average (2016) and extremely unfavorable (2018, 2019, 2020) years. The duration of the growing season varied from 69 to 85 days for *Uchitel* variety, from 72 to 90 days for the *Tulajkovskaya zolotistaya* variety, and from 69 to 92 days for the *Ulyanovskaya 105* variety favorable weather conditions and the dependence of the yield of varieties on the duration of the growing season. It has been established that the yield of spring wheat is closely related to the duration of the entire growing season ($r = 0.976$), as well as to a large extent with the duration of the period shoots - tillering ($r = 0.900$), tillering - tube growth ($r = 0.514$), tube growth – heading ($r = 0.844$). The optimal parameters of the duration of the interphase periods of vegetation were calculated, at which the formation of the maximum yield of spring wheat varieties under the conditions of the study area is possible.

Keywords: spring wheat, variety, yield, interphase period, correlation coefficient

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2024 FSBRI FRC BST RAS (FNWZ -2022-0014).

For citation: Besaliev IN, Panfilov AL. Duration and conditions of interphase periods of vegetation as productivity factors of spring wheat varieties in Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):202-212. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-202>

Введение.

Изменения климата, обусловленные повышением температуры воздуха, неравномерным выпадением осадков в период вегетации или их отсутствием, являются факторами, влияющими на продуктивность сельскохозяйственных культур. При этом значительное влияние потепление климата оказывает на время наступления и продолжительность фаз вегетации.

Яровая пшеница, являющаяся основной культурой, возделываемой в зерносеющих регионах нашей страны (Кумратова А.М. и Алещенко В.В., 2021), в значительной мере снижает продуктивность при стрессе от засухи (Wang X et al., 2019).

Наступление фенологических фаз вегетации является индикатором климатических изменений (Menzel A et al., 2020), оказывающим прямое и косвенное влияние на урожайность культур (Menzel A, 2000). При сокращении сроков прохождения фенологических фаз уменьшается накопление ассимилятов, возможна стерильность пыльцы и другие биохимические нарушения (Kahiluoto H et al., 2019).

Для чистого фотосинтеза оптимальной считается температура +20...+30 °С; при повышении её значений выше +30 °С скорость фотосинтеза снижается (Narayanan S, 2018; Ru C et al., 2023; Fang L et al., 2023). Высокие температуры вызывают снижение фотосинтетического потенциала из-за метаболических нарушений и окислительного повреждения клеток (Akter N and Rafiqul IM, 2017).

Сокращение продолжительности межфазных периодов вегетации является причиной снижения урожайности как твёрдой (Евдокимов М.Г. и др., 2022), так и мягкой пшеницы (Мищенко Л.Н. и др., 2019).

Сообщается (Sonkar G et al., 2019) о снижении урожайности пшеницы на 7 % при повышении средней температуры воздуха на 1 °С, отмечается генетическая обусловленность продолжительности; так, по данным Розовой М.А. с соавторами (2021), коэффициент корреляции длительности периода вегетации с суммой температур составляет 0,60.

Отрицательное воздействие изменения климата можно смягчить за счёт посева сортов с различными периодами вегетации (Ahmad S et al., 2019), применением различных сроков сева (He L et al., 2020).

Цель исследования.

Оценка продолжительности межфазных периодов вегетации сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от температурного режима воздуха, а также изучение связи урожайности с продолжительностью межфазных периодов вегетации.

Материалы и методы исследований.

Объект исследований. Сорты яровой мягкой пшеницы Учитель и Тулайковская золотистая (разновидность альбидум) и Ульяновская 105 (разновидность лютесценс).

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Исследования проводили в центральной зоне Оренбургской области на опытном участке Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФНЦ БСТ РАН). Почвы – чернозём южный тяжелосуглинистый, маломощный, карбонатный. Содержание гумуса в верхнем горизонте составляет 4,2-4,5 %. Данные по температурному режиму воздуха взяты из декадных таблиц метеоусловий Оренбургского ЦГМС-филиала ФГБУ «Приволжское УГМС».

Метеорологические условия в годы исследований существенно различались. В 2016 году условия мая были благоприятными по всем показателям: средней температуре воздуха (на 0,6 °C выше нормы), сумме осадков (175 % к норме) и величине ГТК (0,98 ед.). В июне на фоне оптимального температурного режима воздуха (-0,7 °C от нормы) ощущался недостаток влаги (сумма осадков – 34 % к норме), что определило ГТК этого месяца – 0,22 ед. В июле в 1-2 декадах также выпало мало осадков (не более 26 % от нормы), в 3 декаде температурный фон был оптимальным (на 0,6 °C выше нормы), осадков выпало более двукратной нормы (222 %), ГТК июля – 0,45 ед. Урожайность сортов варьировала от 10,2 до 12,8 ц с 1 га.

В 2017 году при средней температуре мая +14,3 °C (ниже нормы на 1 °C) и сумме осадков 26 мм (97 % от нормы) значение ГТК составило 0,59 ед. В июне этого года температура воздуха была ниже нормы на 2,3 °C, сумма осадков составила 36 мм (98 % нормы), а ГТК – 0,66 ед. В июле средняя температура воздуха превышала норму на 0,6 °C, осадки практически отсутствовали (10 % от нормы), ГТК очень низкий – 0,06 ед. В целом условия года сложились благоприятно для формирования урожая, урожайность сортов яровой пшеницы составила 22,3-38,5 ц с 1 га.

В 2018, 2019, 2020 гг. складывались неблагоприятные метеоусловия для роста и развития растений. Высокие значения средней температуры воздуха отмечались на протяжении всего периода вегетации в 2018 и 2019 гг., максимальная температура воздуха достигала +37...+40 °C, осадки выпадали неравномерно: в 2018 году за май и июнь выпало 80,7 % от нормы осадков, при этом в мае – 113,0 %, в июне – 27,8 %, в 2019 году в мае и июне количество осадков составило 33 % нормы с ГТК этих месяцев 0,18 ед. и 0,50 ед. В 2018 году ГТК июня – 0,19 ед., июля – 0,22 ед. При экстремальных погодных условиях урожайность яровой пшеницы изменялась от 2,1 до 4,7 ц с 1 га в 2018 году и от 2,2 до 4,1 ц с 1 га – в 2019 году.

В 2020 году в мае-июне наблюдались резкие перепады декадных показателей температуры воздуха (от +3,5 °C до -4,5 °C) и резкое возрастание значений средней температуры воздуха в июле (на +3,2 °C – в первой декаде и на +8,4 °C – во второй декаде). Температура поверхности почвы составляла +59...+64 °C. Осадки выпали в основном в мае (104,6 % от нормы за месяц, в том числе за её вторую декаду – 230 %). В июне осадки выпали в третьей декаде (171 % нормы). ГТК в этом году снижался от начала вегетации (май – 0,60 ед.) к её завершению (июль – 0,28 ед.), а урожайность сортов была в пределах 3,9-6,8 ц с 1 га.

Особенности погодных условий вегетационного периода 2022 года определили факторы, оказавшие наибольшее влияние на формирование урожайности изученных культур – рекордное количество осадков, выпавших сразу же после сева: 41 мм – во второй и 77 мм – в третьей декадах мая. Всего в этом месяце выпало 127 мм осадков – наибольшее количество за всю историю метеонаблюдений по г. Оренбургу. Май характеризовался холодной погодой, среднесуточная температура воздуха в течение всего месяца составила +12,2 °C против +15,3 °C по норме. Температура воздуха в июне (+19,8 °C) и первой декаде июля (+19,3 °C) были также ниже нормы: +20,5 °C и

+22,2 °С соответственно. Количество осадков в июне составило половину месячной нормы, в июле – в пределах нормы, в августе осадки отсутствовали. Погодные условия до фазы молочной спелости зерна были близки к оптимальным, что положительно повлияло на формирование урожая. Урожайность изученных сортов составляла от 11,8 ц с 1 га до 21,3 ц с 1 га.

Погодные условия периода вегетации яровой мягкой пшеницы в годы проведения исследований отражали степень их изменчивости в последние годы и характеризовались наличием как остро засушливых, так и благоприятных лет, что позволяет рассматривать полученные результаты полевых исследований отражением объективных реакций сортов изученной культуры на погодные факторы.

Схема эксперимента. Опытный участок расположен в Оренбургском районе Оренбургской области. Для анализа взяты материалы полевого опыта за 2016-2020 гг. и 2022 г. с сортами яровой мягкой пшеницы на фоне различных приёмов основной обработки почвы: вспашка и безотвальное рыхление зяби. В статье использованы данные по наступлению фенологических фаз вегетации и урожайности сортов яровой мягкой пшеницы Учитель, Тулайковская золотистая и Ульяновская 105 по фону отвальной вспашки. Изученные сорта относятся к группе среднеспелых. По характеристике сортов продолжительность вегетации сорта Учитель составляет 76-86 дней, сорта Тулайковская золотистая – 77-87 дней, а сорта Ульяновская 105 – 77-95 дней.

Фоны основной обработки почвы закладывались осенью предшествующего года. Весной проведено покровное боронование, предпосевная культивация, посев и послепосевное прикатывание. Норма высева семян – 4,0 млн всхожих семян на 1 гектар. Повторность опыта – четырёхкратная. Площадь делянки – 49,5 кв.м. Уборка делянок – комбайном Террион. Закладка опыта проведена в соответствии с методикой Доспехова Б.А. (1985).

Учёт фенологических фаз вегетации проводился согласно Методики государственного сортоиспытания ... (1989). Для исчисления продолжительности вегетационного периода использовано Приложение 26 Методики государственного сортоиспытания... (2019).

Оборудование и технические средства. При проведении эксперимента использована, российская сельскохозяйственная техника: тракторы Т-25, плуг ПН-5-35, борона зубовая БЗСС-1,0, культиватор КПС-4, сеялка СН-16П, тракторы МТЗ-1221 (Белорусь).

Статистическая обработка. Математические зависимости данных выполнены методом корреляционного-регрессионного анализа (Фёрстер Э. и Рёнц Б., 1983).

Результаты исследований.

Продолжительность периода вегетации изученных сортов по годам опытов зависела от благоприятности условий лет и имела сортовые различия (табл. 1).

Таблица 1. Продолжительность периода вегетации сортов яровой мягкой пшеницы в годы исследований

Table 1. Duration of vegetation period of soft spring wheat varieties within the years of research

Год / Year	Период вегетации сортов, дней / <i>Vegetation period of varieties, days</i>		
	Учитель / <i>Uchitel</i>	Тулайковская золотистая / <i>Tulajkovskaya zolotistaya</i>	Ульяновская 105 / <i>Ulyanovskaya 105</i>
2016	75	77	76
2017	85	87	95
2018	69	72	69
2019	77	78	82
2020	77	78	81
2022	83	90	92

В благоприятные годы (2017 и 2022) продолжительность вегетации достигала максимальных значений по сортовым характеристикам, а в неблагоприятные годы (2018, 2019, 2020) она рез-

ко снижалась, особенно у сорта Учитель в 2018 году. Математическая зависимость урожайности яровой пшеницы от продолжительности периода вегетации достоверно высокая: коэффициент корреляции равен 0,976; графически установлено, что максимальная теоретическая урожайность (28,2 ц с 1 га) формируется при продолжительности периода вегетации 90 дней, а при сокращении её до 74 дней она снижается до 2,6 ц с 1 га (рис. 1).



Рис. 1 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от продолжительности периода вегетации
Figure 1 – Yield of spring wheat depending on the length of the growing season

Фактическая урожайность сорта Учитель составила от 11,8 до 22,3 ц с 1 га в благоприятные годы и от 2,2 до 4,7 ц с 1 га – в неблагоприятные. У сорта Тулайковская золотистая урожайность в благоприятные годы изменялась от 17,8 до 27,0 ц с 1 га, снижаясь в неблагоприятные до 3,8-4,8 ц с 1 га. По сорту Ульяновская 105 урожайность изменялась в пределах 21,3-38,5 ц с 1 га в благоприятные годы и от 4,0 до 6,8 ц с 1 га – в неблагоприятные. У менее продуктивного сорта Учитель снижение урожайности связано с сокращением периода вегетации в целом и основных межфазных периодов, в частности.

Рассмотрение продолжительности каждого межфазного периода по сортам в разрезе лет исследований показывало, что наибольшей изменчивости подвержена продолжительность периодов: всходы-кущение, кущение-колошение, колошение-молочная спелость и значительны сортовые особенности (табл. 2-4).

Условия периода всходы-кущение определяют развитие первичной и вторичной корневых систем, величина которых в значительной степени влияет на формирование вегетативной массы. Продолжительность периода всходы-кущение в существенной степени зависела от условий лет и в благоприятные годы составляла 16-19 дней, снижаясь в годы с неблагоприятными условиями до 10-15 дней. Корреляционное отношение связи продолжительности данного периода с урожайностью составляло 0,900 при коэффициенте детерминации 81,05 % с расчётной максимальной урожайностью 20,0 ц с 1 га при продолжительности периода в 19 дней и снижением урожайности до 4,7 ц с 1 га при длине периода в 10 дней. По нашим расчётам, корреляционное отношение связи средней температуры воздуха с продолжительностью данного периода вегетации составило 0,893, оптимальное значение средней температуры воздуха +16,0 °С. Продолжительность данного периода была также тесно связана с максимальной температурой воздуха (корреляционное отношение 0,908) и оптимальной следует считать её значение +21,9 °С. В годы исследований только в половине лет условия периода всходы-кущение были благоприятными для формирования продуктивности яровой пшеницы.

Таблица 2. Продолжительность межфазных периодов вегетации сорта яровой пшеницы
Учитель по годам исследований

Table 2. The duration of the interphase periods of vegetation of the spring wheat variety
Uchitel by years of research

Фазы / Phases	Годы / Years					
	2016	2017	2018	2019	2020	2022
Всходы-кущение / <i>Shoots-tillering</i>	18	18	11	13	13	17
Кущение-выход в трубку / <i>Tillering-exit to the tube</i>	14	14	14	16	12	12
Выход в трубку-колошение / <i>Exit to the tube-heading</i>	12	14	16	15	16	16
Колошение-молочная спелость / <i>Heading-milky ripeness</i>	15	20	9	15	18	14
Молочная спелость-молочно-восковая спелость / <i>Milky ripeness-milky-waxy ripeness</i>	6	6	6	5	4	7
Молочно-восковая спелость-восковая спелость / <i>Milky-waxy ripeness-waxy ripeness</i>	6	5	7	6	6	13
Восковая спелость-полная спелость / <i>Wax ripeness-full ripeness</i>	5	8	6	7	8	4

Таблица 3. Продолжительность межфазных периодов вегетации сорта яровой пшеницы
Тулайковская золотистая по годам исследований

Table 3. Duration of interphase periods of vegetation of the spring wheat variety Tulajkovskaya
zlotistaya according to the years of research

Фазы / Phases	Годы / Years					
	2016	2017	2018	2019	2020	2022
Всходы-кущение / <i>Shoots-tillering</i>	18	18	10	13	13	17
Кущение-выход в трубку / <i>Tillering-exit to the tube</i>	14	15	14	16	13	12
Выход в трубку-колошение / <i>Exit to the tube-heading</i>	14	14	18	15	17	18
Колошение-молочная спелость / <i>Heading-milky ripeness</i>	13	21	10	16	16	13
Молочная спелость-молочно-восковая спелость / <i>Milky ripeness-milky-waxy ripeness</i>	6	5	6	5	5	7
Молочно-восковая спелость-восковая спелость / <i>Milky-waxy ripeness-waxy ripeness</i>	7	6	7	6	7	17
Восковая спелость-полная спелость / <i>Wax ripeness-full ripeness</i>	5	8	7	7	7	6

Таблица 4. Продолжительность межфазных периодов вегетации сорта яровой пшеницы
Ульяновская 105 по годам исследований

Table 4. Duration of interphase periods of vegetation of the spring wheat variety Ulyanovskaya 105
by years of research

Фазы / Phases	Годы / Years					
	2016	2017	2018	2019	2020	2022
Всходы-кущение / <i>Shoots-tillering</i>	18	16	10	13	15	19
Кущение-выход в трубку / <i>Tillering-exit to the tube</i>	14	15	15	17	14	14
Выход в трубку-колошение / <i>Exit to the tube-heading</i>	14	18	17	17	17	18
Колошение-молочная спелость / <i>Heading-milky ripeness</i>	14	22	8	14	16	14
Молочная спелость-молочно-восковая спелость / <i>Milky ripeness-milky-waxy ripeness</i>	6	6	5	5	4	6
Молочно-восковая спелость-восковая спелость / <i>Milky-waxy ripeness-waxy ripeness</i>	6	10	8	7	8	15
Восковая спелость-полная спелость / <i>Wax ripeness-full ripeness</i>	4	8	6	9	7	6

В период от кущения до колошения в оптимальных погодных условиях проходит дальнейшее развитие вторичной корневой системы и возможно формирование придаточных и узловых корней. Длительность периода кущение-выход в трубку по годам исследований изменялась от 12 до 16 дней по сорту Учитель и от 14 до 18 дней – у сортов Тулайковская золотистая и Ульяновская 105, т. е. сокращение данного периода характерно для менее продуктивного сорта. Связь продолжительности данного периода с урожайностью – средняя: корреляционное отношение 0,514 и оптимальной следует считать его продолжительность 14 дней, при которой формируется урожайность 13,9 ц с 1 га с 1 га; а сокращение до 12 дней, как и удлинение до 16 дней нежелательны, так как приводят к снижению урожайности.

Межфазный период выход в трубку-колошение – наиболее ответственный для формирования урожайности яровой пшеницы. В этот период интенсивно протекают ростовые процессы, определяются размеры колоса, его озернёность. В условиях Оренбургского Предуралья продолжительность данного периода составляла 12-16 дней у сорта Учитель и 14-18 дней – у сортов Тулайковская золотистая и Ульяновская 105. Связь урожайности яровой пшеницы с продолжительностью данного периода выражалась корреляционным отношением 0,844, оптимальным следует считать его продолжительность 18 дней, при которой урожайность может составить 22,2 ц с 1 га. Связь продолжительности данного периода со средней и максимальной температурой воздуха – средняя: коэффициент корреляции – соответственно 0,621 и 0,736 при оптимальной продолжительно 16-17 дней. Математическими расчётами установлено, что оптимальные значения средней температуры воздуха для данного периода вегетации составляют +20,3 °С, а максимальной – не более +25,5 °С.

После колошения яровой пшеницы, в период генеративного развития, наиболее продолжительным был период от колошения до молочной спелости зерна. В наших исследованиях в зависимости от условий лет он составлял от 13 до 21 дня. Условия данного периода определяют размеры зёрен, массу 1000 зёрен и фактическую продуктивность колоса. Существенная зависимость продолжительности данного периода обнаруживается как со средней температурой воздуха (коэффициент корреляции 0,960), так и с её максимальными значениями (коэффициент корреляции 0,883). Согласно математическим расчётам оптимальной средней температурой воздуха в этот период является +20,5 °С, а максимальной – не более +27,5 °С; урожайность яровой пшеницы может составить 17,8-18,7 ц с 1 га. При росте соответствующих значений температуры воздуха до +27,5 °С и +34,0 °С урожайность снижается до 9,0-10,6 ц с 1 га.

Межфазный период молочная спелость-молочно-восковая спелость в условиях изучаемой зоны проходил за 4-7 дней, и его продолжительность имела высокую связь с температурным режимом воздуха: оптимальным следует считать среднюю температуру воздуха +24,0 °С, а максимальную – +28,1 °С, при которых она проходит за 6 дней; при росте средней температуры данного периода до +31,1 °С, а максимальной – до +39,0 °С продолжительность составляет 4 дня. Результатом снижения продолжительности данного периода является увеличение в урожае доли невыполненного зерна, снижение массы 1000 зёрен.

Период от молочно-восковой спелости до восковой спелости более продолжителен среди других межфазных периодов генеративной фазы и имеет сортовую специфику: у сорта Учитель он проходил за 6-13 дней, у сорта Тулайковская золотистая – за 6-17 дней, у сорта Ульяновская 105 – за 6-15 дней, причём у двух последних сортов более существенно данный межфазный удлиняется в благоприятные годы. В засушливые годы различия малосущественны. Для данного периода, условия которого важны для формирования размеров и выполненности зерна, оптимальными по результатам математических расчётов следует считать среднюю температуру воздуха +22,0 °С, максимальную – +26,9 °С с продолжительностью в 10 дней; при увеличении значений температуры соответственно до +30,9 °С и +38,9 °С данная фаза проходит за 5 дней.

Продолжительность периода восковая-полная спелость в значительной мере зависит от температурного режима воздуха, что подтверждается высокими корреляционными отношениями как со средней температурой воздуха (0,959), так и с её максимальными значениями (0,832). Опти-

мальными значениями следует считать +20,9 °С по средней и +27,7 °С – по максимальной температуре, при которых продолжительность данного периода может составлять 7-8 дней. Сокращение до 5-6 дней следует рассматривать как отрицательный фактор повышения средней температуры воздуха в данный период до +26,3 °С, а максимальной – до +33,3 °С.

Обсуждение полученных результатов.

Наблюдаемое в последние годы потепление климата отрицательно сказывается на фенологии сельскохозяйственных культур, в особенности яровой пшеницы. За анализируемый период три года из шести лет опытов отличались высоким режимом температуры воздуха, оказавшим негативное влияние на формирование продуктивности яровой пшеницы. Все зерновые культуры имеют базовую потребность в температуре и продолжительности фенологических фаз, изменения которых приводят к нарушениям в росте и развитии растительного организма, что отражается на урожайности. В соответствии с полученными закономерностями укорачивание продолжительности межфазных периодов вегетации яровой пшеницы является одним из факторов снижения урожайности яровой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья. В свою очередь снижение продолжительности межфазных периодов вегетации происходит как следствие роста температуры воздуха из-за глобальных климатических изменений, наблюдаемых в последние годы во многих регионах. По данным Поскребышевой М.М. и Исмагилова Р.Р. (2020), наиболее сильное влияние изменение гидротермических условий на Давлекановском ГСУ Республики Башкортостан оказывало на продолжительность периодов кущение-колошение и колошение-восковая спелость зерна. Достоверно высокая ($r=0,83$) зависимость урожайности мягкой яровой пшеницы от длительности периода вегетации получена для Северного Казахстана (Сыздыкова Г.Т. и др., 2018). Результаты наших исследований вписываются в данный алгоритм отрицательного воздействия высоких, а в отдельные годы критически высоких температур, на нарушение оптимального ритма наступления фенологических фаз, что в конечном итоге приводит к снижению урожайности. Установлена сортовая специфика в продолжительности межфазных периодов, что позволяет отметить возможность применения селекционных приёмов для решения этого непростого вопроса.

Заключение.

Температура воздуха является важнейшей составляющей окружающей среды, определяющей рост, развитие и, в конечном итоге, конечную продуктивность сельскохозяйственных культур, в частности, яровой пшеницы. Продолжительность периода вегетации данной культуры, возделываемой в условиях Оренбургского Предуралья, подвержена значительной изменчивости в зависимости от температурного режима воздуха по фазам роста и развития. Сокращение периода вегетации, так же как и его межфазных периодов, является одним из составляющих отрицательного воздействия изменения климата на урожайность яровой пшеницы.

Список источников

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 5-e izd., dop. i pererab. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p. (*In Russ.*)].
2. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Пахотина И.В. Влияние продолжительности периода вегетации на формирование хозяйственно-ценных признаков твёрдой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вестник КрасГу. 2022. № 11(188). С. 19-26. [Evdokimov MG, Yusov VS, Pakhotina IV. The growing season duration influence on the formation of economically valuable hard spring wheat traits in Western Siberia. Bulletin of KSAU. 2022;11(188):19-26. (*In Russ.*)]. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-19-26

3. Кумратова А.М., Алещенко В.В. Продуктивность зернового производства в России: тенденции и перспективы // Вестник Казанского ГАУ. 2021. № 3(63). С. 142-146. [Kumratova AM, Aleshchenko VV. Productivity of grain production in Russia: trends and prospects. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2021;3(63):142-146. (*In Russ.*)]. doi: 10.12737/2073-0462-2021-142-146
4. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с. [Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozjajstvennyh kul'tur. Vyp 2: Zernovye, krupjanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury. Moscow; 1989:194 p. (*In Russ.*)].
5. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 2019. 329 с. [Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozjajstvennyh kul'tur. Vyp. 1. Obshhaja chast'. Moscow; 2019:329 p. (*In Russ.*)].
6. Мищенко Л.Н., Терехин М.В., Терехин Н.М. Влияние продолжительности вегетационного периода на урожайность и крупность зерна яровой пшеницы в условиях Амурской области // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 4(52). С. 31-37. [Mishhenko LN, Teryokhin MV, Teryokhin NM. The influence of the duration of the growing season on the crop yield and grain size of spring wheat in the Amur region. Far Eastern Agrarian Herald. 2019;4(52):31-37. (*In Russ.*)]. doi: 10.24411/1999-6837-2019-14049
7. Поскребышева М.М., Исмагилов Р.Р. Темпы роста и развития яровой пшеницы в зависимости от гидротермических условий // Вестник Казанского ГАУ. 2020. № 1(57). С. 38-42. [Poskrebysheva MM, Ismagilov RR. Growth and development rates of spring wheat depending on hydrothermal conditions. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2020;1(57):38-42. (*In Russ.*)]. doi: 10.12737/2073-0462-2020-1-38-42
8. Розова М.А., Зиборов А.И., Егизарян Е.Е. Связь температурных показателей периода вегетации с основными агрономически значимыми характеристиками сортов яровой твердой пшеницы на Алтае // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 9-15. [Rozova MA, Ziborov AI, Egizaryan EE. Relationships of temperature parameters of growing period and major agronomically valuable traits of spring durum wheat varieties in Altai. Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka. 2021;5:9-15. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S2500262721050021
9. Сыздыкова Г.Т., Серeda С.Г., Малицкая Н.В. Подбор сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по адаптивности к условиям степной зоны Акмолинской области Казахстана // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 1. С. 103-110. [Syzydykova GT, Sereda SG, Malitskaya NV. Selection of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties for the adaptability in the conditions of steppe zone of the Akmolinsk region, Kazakhstan. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2018;53(1):103-110. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.103rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.103eng
10. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: рук-во для экономистов / пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. М: Финансы и статистика, 1983. 302 с. [Fyoster E, Ryonc B. Metody korrelyacionnogo i regressionnogo analiza: ruk-vo dlja jekonomistov. Per. s nem. i predisl. Ivanovoj VM. Moscow: Finansy i statistika; 1983:302 p. (*In Russ.*)].
11. Ahmad S, Abbas G, Ahmed M, Fatima Z, Anjum MA, Rasul G, Khan MA, Hoogenboom G. Climate warming and management impact on the change of phenology of the rice-wheat cropping system in Punjab, Pakistan. Field Crops Res. 2019;230:46-61. doi: 10.1016/j.fcr.2018.10.008
12. Akter N, Rafiqul IM. Heat stress effects and management in wheat. A review. Agron Sustain Dev. 2017;37:37. doi: 10.1007/s13593-017-0443-9
13. Fang L, Martre P, Jin K, Du X, van der Putten PEL, Yin X, Struik PC. Neglecting acclimation of photosynthesis under drought can cause significant errors in predicting leaf photosynthesis in wheat. Glob Chang Biol. 2023;29(2):505-521. doi: 10.1111/gcb.16488
14. He L, Jin N, Yu Q. Impacts of climate change and crop management practices on soybean phenology changes in China. Sci Total Environ. 2020;707:135638. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135638
15. Kahiluoto H, Kaseva J, Balek J, Olesen JE, Ruiz-Ramos M, Gobin A, Kersebaum KC, Takáč J, Ruget F, Ferrise R, Bezak P, Capellades G, Dibari C, Mäkinen H, Nendel C, Ventrella D, Rodríguez A, Bindi M, Trnka M. Decline in climate resilience of European wheat. PNAS. 2019;116(1):123-128. doi: 10.1073/pnas.1804387115

16. Menzel A, Yuan Y, Matiu M, Sparks T, Scheifinger H, Gehrig R, Estrella N. Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Glob Change Biol.* 2020;26(4):2599-2612. doi: 10.1111/gcb.15000
17. Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int J Biometeorol.* 2000;44:76-81. doi: 10.1007/s004840000054
18. Narayanan S. Effects of high temperature stress and traits associated with tolerance in wheat. *Open Access J Sci.* 2018;2(3):177-186. doi: 10.15406/oajs.2018.02.00067
19. Ru C, Hu X, Chen D, Wang W, Zhen J, Song T. Individual and combined effects of heat and drought and subsequent recovery on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) photosynthesis, nitrogen metabolism, cell osmoregulation, and yield formation. *Plant Physiol Biochem.* 2023;196:222-235. doi: 10.1016/j.plaphy.2023.01.038
20. Sonkar G, Mall RK, Banerjee T, Sing N, Lakshmi Kumar L, Chand R. Vulnerability of Indian wheat against rising temperature and aerosols. *Environmental Pollution.* 2019;254:112946. doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.114
21. Wang X, Mao Z, Zhang J, Hemat M, Huang M, Cai J, Zhou Q, Dai T, Jiang D. Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to post-anthesis drought stress in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Environmental and Experimental Botany.* 2019;166:103804. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103804

References

1. Dospekhov BA. Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., supplement. and reworked. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p.
2. Evdokimov MG, Yusov VS, Pakhotina IV. Influence of the duration of the growing season on the formation of economically valuable traits of hard spring wheat in Western Siberia. *Bulletin of KSAU.* 2022;11(188):19-26. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-19-26
3. Kumratova AM, Aleshchenko VV. Productivity of grain production in Russia: trends and prospects. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University.* 2021;3(63):142-146. doi: 10.12737/2073-0462-2021-142-146
4. Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue 2: Cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops. Moscow; 1989:194 p.
5. Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part. Moscow; 2019:329 p.
6. Mishhenko LN, Teryokhin MV, Teryokhin NM. The influence of the duration of the growing season on the crop yield and grain size of spring wheat in the Amur region. *Far Eastern Agrarian Herald.* 2019;4(52):31-37. doi: 10.24411/1999-6837-2019-14049
7. Poskrebysheva MM, Ismagilov RR. Growth and development rates of spring wheat depending on hydrothermal conditions. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University.* 2020;1(57):38-42. (In Russ.]. doi: 10.12737/2073-0462-2020-1-38-42
8. Rozova MA, Ziborov AI, Egiazaryan EE. Relationship of temperature indicators of the growing season with the main agronomically significant characteristics of spring durum wheat varieties in Altai. *Russian Agricultural Science.* 2021;5:9-15. doi: 10.31857/S2500262721050021
9. Syzdykova GT, Sereda SG, Malitskaya NV. Selection of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties for the adaptability in the conditions of steppe zone of the Akmolinsk region, Kazakhstan. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology].* 2018;53(1):103-110. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.103rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.103eng
10. Fyorster E, Ryonc B. Methods of correlation and regression analysis: a guide for economists. transl. with him. and foreword. V.M. Ivanova. Moscow: Finance and statistics, 1983. 302 p.
11. Ahmad S, Abbas G, Ahmed M, Fatima Z, Anjum MA, Rasul G, Khan MA, Hoogenboom G. Climate warming and management impact on the change of phenology of the rice-wheat cropping system in Punjab, Pakistan. *Field Crops Res.* 2019;230:46-61. doi: 10.1016/j.fcr.2018.10.008
12. Akter N, Rafiqul IM. Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agron Sustain Dev.* 2017;37:37. doi: 10.1007/s13593-017-0443-9

13. Fang L, Martre P, Jin K, Du X, van der Putten PEL, Yin X, Struik PC. Neglecting acclimation of photosynthesis under drought can cause significant errors in predicting leaf photosynthesis in wheat. *Glob Chang Biol.* 2023;29(2):505-521. doi: 10.1111/gcb.16488
14. He L, Jin N, Yu Q. Impacts of climate change and crop management practices on soybean phenology changes in China. *Sci Total Environ.* 2020;707:135638. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135638
15. Kahiluoto H, Kaseva J, Balek J, Olesen JE, Ruiz-Ramos M, Gobin A, Kersebaum KC, Takáč J, Ruget F, Ferrise R, Bezak P, Capellades G, Dibari C, Mäkinen H, Nendel C, Ventrella D, Rodríguez A, Bindi M, Trnka M. Decline in climate resilience of European wheat. *PNAS.* 2019;116(1):123-128. doi: 10.1073/pnas.1804387115
16. Menzel A, Yuan Y, Matiu M, Sparks T, Scheifinger H, Gehrig R, Estrella N. Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Glob Change Biol.* 2020;26(4):2599-2612. doi: 10.1111/gcb.15000
17. Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int J Biometeorol.* 2000;44:76-81. doi: 10.1007/s004840000054
18. Narayanan S. Effects of high temperature stress and traits associated with tolerance in wheat. *Open Access J Sci.* 2018;2(3):177-186. doi: 10.15406/oajs.2018.02.00067
19. Ru C, Hu X, Chen D, Wang W, Zhen J, Song T. Individual and combined effects of heat and drought and subsequent recovery on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) photosynthesis, nitrogen metabolism, cell osmoregulation, and yield formation. *Plant Physiol Biochem.* 2023;196:222-235. doi: 10.1016/j.plaphy.2023.01.038
20. Sonkar G, Mall RK, Banerjee T, Sing N, Lakshmi Kumar L, Chand R. Vulnerability of Indian wheat against rising temperature and aerosols. *Environmental Pollution.* 2019;254:112946. doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.114
21. Wang X, Mao Z, Zhang J, Hemat M, Huang M, Cai J, Zhou Q, Dai T, Jiang D. Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to post-anthesis drought stress in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Environmental and Experimental Botany.* 2019;166:103804. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103804

Информация об авторах:

Ишен Насанович Бесалиев, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 8(3532)30-83-47.

Александр Леонидович Панфилов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 8-9225-58-53-92.

Information about the authors:

Ishen N Besaliev, Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Grain and Forage Crops Technologies, Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 8 (3532)30-83-47.

Alexander L Panfilov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Grain and Forage Crops Technologies, Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89225585392.

Статья поступила в редакцию 26.06.2023; одобрена после рецензирования 01.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was submitted 26.06.2023; approved after reviewing 01.08.2023; accepted for publication 11.09.2023.