

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ К НЕМУ

Анатолий Иванович Грабовец, член-корреспондент РАН, профессор  
Марина Анатольевна Фоменко, доктор сельскохозяйственных наук  
Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Ростовская область, Россия  
E-mail: grabovets\_ai@mail.ru

**Аннотация.** Климат меняется в сторону аридности. Наиболее значимым стал фактор «засухоустойчивость». С помощью генетической коадаптации потенциальную урожайность зерна в этих условиях удалось поднять до 10,7 т/га. Индекс урожайности вырос с 36 до 40%. Дальнейшее его увеличение при засухе ограничивается количеством биологического урожая. Используя трансгрессию можно решить эту проблему и получать генотипы с большей надземной массой за счет уменьшения коэффициента водопотребления при синтезе метаболитов. Интенсивность фотосинтеза определяется отношением урожая к площади листьев. Засухоустойчивость генотипа оценивали по массе зерна с растения или площади. Проблему устойчивости к заморозкам решали с помощью трансгрессивной селекции, используя источники этого признака. Он при взаимодействии генов в основном доминирует. Устойчивость к морозам прорабатывали, принимая за базовый показатель значение температуры на глубине залегания узла кущения – минус 18°C. Применяли два метода: получение трансгрессий при привлечении в скрещивания высокопродуктивных среднезимостойких форм и создание высокозимостойких генотипов с использованием в качестве одного из родителей местного морозостойкого материала.

**Ключевые слова:** климат, изменение, озимая пшеница, устойчивость, абиотические стрессоры, селекция

## CLIMATE CHANGE AND SELECTION FEATURES OF WINTER SOFT WHEAT ON PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY TO IT

A.I. Grabovets, Corresponding Member of the RAS, Professor  
M.A. Fomenko, Grand PhD in Agricultural Sciences  
Federal Rostov Agricultural Research Center, Rostov Region, Russia  
E-mail: grabovets\_ai@mail.ru

**Abstract.** The climate is changing towards aridity. "Drought resistance" has become the most important factor. By using genetic coadaptation phenomena, it has been possible to increase the potential grain yield under these conditions up to 10,7 t/ha. This is due to significant growth of the crop yield index (from 36 to 40%). It continued increase in the case of droughts is limited by the biological yield. Using the phenomenon of transgression this problem can be solved with simultaneous obtaining the genotypes with increased top weight by reducing the coefficient of water consumption in the synthesis of metabolites. Along with this value, the photosynthesis intensity is of vital importance. It is determined by such factor as the yield to leaf area ratio. When assessing the heat and drought resistance of genotype, the following marker is used: weight of grain per plant or area. The freezing resistance issue is solved by using the transgressive selection with the sources of this specification. It usually dominates in the case of gene interaction. Despite the warming phenomena, the freezing resistance is also considered. The temperature at the tillering zone depth (–18°C) is used as the core indicator. Two methods are implemented namely: transgressions when attracting the high-yielding medium winter-hardy forms in hybridization and generation of genotypes equal to the high winter-hardy parent plant, with the use of the local frost-resistance material as one of the parent plants.

**Keywords:** climate, change, winter wheat, stability, abiotic stressors, breeding

На планете наблюдается потепление климата. За десять месяцев 2015 года средняя температура оказалась на 1,02°C выше по сравнению с этим периодом в XIX веке. Это обусловлено самым мощным в истории выбросом парниковых газов в 2000–2014 годах. [9]

Намечается тенденция сдвига климатических поясов. [13] В связи с этим меняется выраженность абиотических и биотических лимитирующих факторов при возделывании злаков. [10, 12] Необходимы новые методологии при их селекции, которые бы купировали вызовы климатической вариабельности. Разворачиваются исследования по выведению культурных дикоросов с высоким уровнем адаптации. Создана и включена в Госреестр по всей РФ культурная многолетняя форма пырея *Сова*. [1] Ведется работа по выведению ранней и среднеранней яровой пшеницы, которая при малом количестве

осадков успевает сформировать хозяйственно значимый урожай качественного зерна. [4] Внимание уделяют пшеницам-двуручкам с коротким периодом яровизации (10...15 суток), дающим урожай при осеннем и ранневесеннем посеве. [7]

По каждой культуре, в зависимости от почвенно-климатической зоны ее возделывания, должны быть разработаны и апробированы свои методы селекции. В северных регионах России – на повышение морозостойкости, устойчивости к полеганию и болезням, южных – на интенсивность при возделывании, высокое качество и другие свойства. [7, 8, 12] В основном применяют трансгрессивную и маркерную селекцию, мутагенез, биотехнологические методы, межвидовую гибридизацию. [2]

Цель работы – анализ изменчивости климата и степени выраженности лимитирующих стрессоров среды

в бассейне реки Дон (Ростовская область), а также особенностей использования гибридизации, как основного метода создания генетической изменчивости, способной адаптироваться к этим изменениям.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в Федеральном Ростовском аграрном научном центре (2000–2021 годы) с использованием собственных статистических данных с 1985 года. Местность – степь, климат – континентальный, почва – чернозем с низкими запасами фосфатов. Селекционировали озимую мягкую пшеницу *Triticum aestivum* L. Объекты изучения – гибридный материал, популяции, линии и сорта местной селекции. Методы общепринятые. Селекционный питомник закладывали необмолоченными колосьями (30...40 тыс. генотипов). Полевые исследования и учеты проводили согласно Методикам Государственной комиссии по сортоиспытанию РФ (1980) и методическим указаниям ВИР по изучению мировой коллекции (1977). Морозостойкость определяли собственным оригинальным методом с применением камеры низких температур (20 ч при минус 18°C на узле кушения). [3] Использовали данные метеопункта «Тарасовское опытное поле» Ростовской области.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В XXI веке темпы потепления на севере Ростовской области (площадь пашни – 6 млн га) продолжают усиливаться. Среднегодовая температура воздуха за 1985–2021 годы выросла на 1,51°C. Осенне-зимние месяцы по сравнению с многолетними данными стали теплее на 2,8...3,3°C, весенне-летние – 2,6...5,7°C. Годовая амплитуда температуры воздуха достигала 60...70°C (рис. 1). Периоды с морозами были в 2015 году – минус 26,5°C, 2016 – минус 29,2°C и 2017 – минус 23°C, температура на узле кушения – минус 7...минус 8°C. Однако в 2014 году морозы достигали минус 29°C, на глубине узла кушения – минус 17°C. Оттепели после морозов обуславливали образование ледяной корки на посевах (2003, 2006). Усиление

проявления низких температур и заморозков в апреле-мае при вегетации озимой пшеницы происходило в 2000, 2002, 2006, 2009, 2010, 2014, 2020 годах.

В зоне исследований максимум осадков передвинулся с летнего периода на осень-зиму и начало марта. По мере роста положительных температур нарастал дефицит почвенной и воздушной влаги, особенно в летние месяцы. Ее потери усиливались из-за черного цвета почвы (чернозем).

За последние 20 лет, на фоне повышения среднемесячных температур, среднегодовая сумма осадков варьировала от 276 (2013) до 687 мм (2019).

Еще более резкая флуктуация с количеством осадков происходит в период основного этапа онтогенеза озимых растений в апреле-июле (рис. 2).

Среднемноголетняя норма осадков за апрель-июль составила 199 мм. Засушливыми были 2001–2004, 2006, 2007, 2009, 2011–2016, 2020 годы (50...87% нормы).

Из-за аридизации среды не хватает влаги в период рекомендованного срока посева для зоны. Он сместился с 25 августа на 5 сентября и далее.

За 2000–2021 годы основными лимитирующими стрессорами стали жара, засуха и заморозки при вегетации озимых в апреле-первой декаде мая. Зимние морозы теперь на третьем месте. В таких условиях важно определить взаимосвязь урожая зерна с элементами его структуры (табл. 1).

За 1985–2021 годы средняя хозяйственная урожайность увеличилась на 0,44 т/га, потенциальная – 1,84 т/га. Ее реализации препятствовали засухи первого двадцатилетия XXI века. Итоги исследований дают возможность внести поправки в модель сорта 2021 года. Высокая потенциальная продуктивность генотипов обусловлена выросшим индексом урожая с 32 до 40%. Дальнейший его рост продолжается до тех пор, пока поддерживается определенная величина биологического урожая. Причина заключается в уменьшении емкости депонирования продуктов фотосинтеза. Высота растений с 1985 года (94,2) снизилась до 77,8 см, вес надземной массы (1707) до 1452 г/м<sup>2</sup>. Выявлена четкая корреляционная зависимость между весом

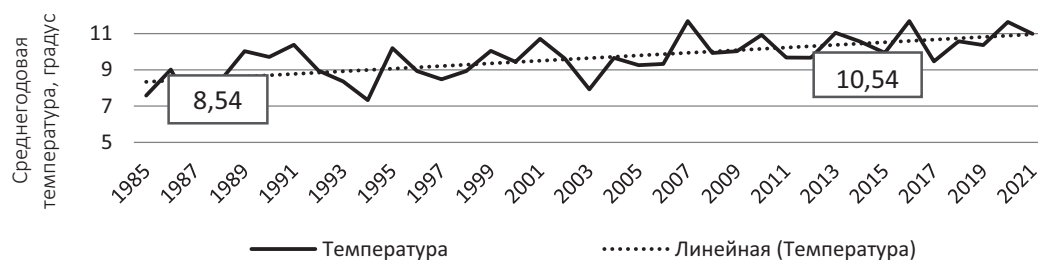


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха (°C) за 1985–2021 годы.

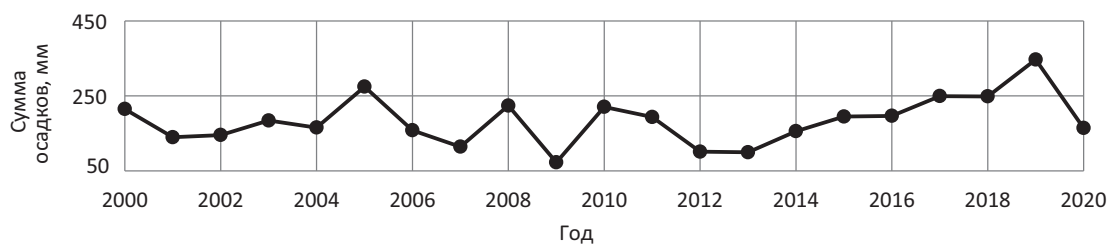


Рис. 2. Динамика осадков за апрель-июль, 2020–2021 годы.

Таблица 1.

## Динамика элементов структуры сортов озимой пшеницы в конкурсных испытаниях (среднее)

Признак	Годы		
	1985–1995	1996–2011	2012–2021
Урожайность, т/га	5,69	5,82	6,13
Максимальная реализованная урожайность, т/га	8,87	9,51	10,71
Количество растений/м <sup>2</sup>	189	152	160
Количество продуктивных стеблей/м <sup>2</sup>	588	622	656
Продуктивная кустистость, шт.	3,11	4,09	4,1
Масса, г			
зерна с растения	3,01	3,7	4,1
зерна с колоса	0,97	0,99	1,1
1000 зерен	40,1	41,6	36,7
Число зерен в колосе, г	23,35	22,5	32,8
Надземная биомасса, г/м <sup>2</sup>	1707	1977	1452
Индекс урожая, %	32,04	32,7	40
Высота растения, см	104,2	99,7	77,8
Длина колоса, см	7,6	7,6	8,9
Емкость ценоза (число зерен/м <sup>2</sup> )	13 729	13 995	19 367

надземной массы и урожаем зерна. По мере уменьшения надземной массы снижалась средняя корреляционная сопряженность признаков: надземная масса и урожай. За 1985–1995 годы она составляла  $0,67 \pm 0,03$ , 2000–2013 –  $0,56 \pm 0,04$ , 2014–2021 –  $0,38 \pm 0,09$  при  $n = 850 \dots 1200$ . Однако потенциальную продуктивность у генотипов-лидеров удалось повысить в 2012–2021 годах. Причина – в уменьшенном индексе водопотребления, проявлением компенсационных взаимосвязей при вегетации. Относительно низкая сопряженность между значениями надземной массы и урожаем объясняется также более сильной дифференциацией генотипов по этому показателю (рис. 3).

Фотосинтез при сравнительно небольшой массе часто протекает более интенсивно и наоборот. Это подтверждает индекс ЭРЛ (эффективность работы листьев) – отношение урожая зерна на единице площади к индексу листовой поверхности на ней при колосении. [5] ЭРЛ при засухах варьировал в пределах 1,5...1,9, в год с повышенной влажностью – 1,1...1,25. Наиболее адекватной экспериментальным данным была линейная модель регрессии с формулой:



Рис. 3. Особенности выщепления генотипов из популяций по признаку «надземная масса», 2012–2021 годы.

$$y = 0,8315 + 0,00173x,$$

где  $y$  – урожай,  $x$  – индекс ЭРЛ.

Появилась возможность создавать поддающуюся отбору генетическую изменчивость, адекватную варибельности климатических факторов, например, по надземной массе и другим признакам, выявлять трансгрессии по хозяйственно ценным свойствам, определяющим урожай.

Генетическую изменчивость создавали гибридизацией родительских генотипов, имеющих минимальное количество общих генов, контролирующих основные признаки. Чаще скрещивали высокопродуктивные с коадаптированным комплексом генов местные формы с материалом из разных почвенно-климатических зон мира, максимально приближенных к модели сорта.

Учитывали значение плазмогенов матери при усилении общей адаптивности у гибрида к стрессам различного рода. В программе исследований не преобладает использование в качестве родителей только местного материала для усиления засухоустойчивости. Из всего объема у 10% таких популяций выделены сорта – *Арфа*, *Донна*, *Миссия*, *Тарасовская 70*, остальные 90% созданы при ступенчатой гибридизации инорайонного исходного материала.

В процессе рекомбинации в условиях засух у популяций с длительным формообразованием происходило приспособление взаимодействующих аллелей в генофонде. Появлялся широкий спектр рекомбинантов с большей степенью выраженности селективируемого признака, чем ранее существовавший. Наличие адаптивно значимой изменчивости у популяции с продолжительным рекомбинированием давало возможность управлять формообразованием путем отборов от поколения к поколению, усиливать при помощи дальнейшей ступенчатой гибридизации признаки засухоустойчивости и продуктивности.

Высокая потенциальная продуктивность у генотипов-лидеров помимо индекса урожая, веса надземной массы в условиях засух была обусловлена существенным ростом емкости ценоза (количество зерен/м<sup>2</sup>) с 13729 до 19367 шт. Высота соломины в 2021 году снизилась, но повысились продуктивная кустистость, густота продуктивного стеблестоя и длина колоса. Из-за усиления интенсивности процессов реутилизации метаболитов в зерно увеличилась масса зерна с колоса и растения, но существенно уменьшилась масса 1000 зерен.

Для водопотребления и интенсивности водоотдачи при засухе оптимальное расположение листьев в пространстве – горизонтальное (2000–2003). Коэффициенты корреляции пространственной структуры листьев с урожаем составили  $0,59 \pm 0,05$  (горизонтальное расположение) и  $0,09 \pm 0,11$  (вертикальное),  $n = 426$ . При жаркой суховеивой погоде интенсивность транспирации на наружной стороне существенно выше, чем на внутренней, что положительно сказывается на конечном водопотреблении. У сорта *Дон 95* (стандарт) при урожайности зерна 3,32 т/га коэффициент водопотребления был равен  $543 \text{ м}^3/\text{т}$ , *Донская лира* (4,55 т/га) –  $402 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Один из показателей засухоустойчивости – длина верхнего междоузлия. В постановочном опыте 2011–2012 годов коэффициент корреляции призна-

ков «длина верхнего междоузлия (средняя 25 см) – урожайность зерна (3,37 т/га)» у полукарликовых генотипов составил  $0,67 \pm 0,09$  при  $n = 150$ .

Существует много методов оценки генотипа на жарозасухоустойчивость: по водоудерживающей способности листьев; отношению надземной массы к количеству использованной воды; интенсивности транспирации и другим показателям. [13] Однако из-за компенсационных взаимосвязей корреляционной закономерности между этими индексами и урожаем не выявлено.

В то же время существенная корреляционная сопряженность (0,57...0,71) получена между массой зерна с растения/площади в засушливый год и урожаем. Исследователи работающие в аридных условиях считают, что интегральный показатель «масса зерна» можно рассматривать как показатель адаптивности генотипа. Этот признак – главный маркер при проведении отборов, особенно в условиях засухи.

Есть суждения о перспективности скороспелых форм в аспекте одного из способов нейтрализации негативных последствий засухи. [6] В 2000 и 2021 годах высевали 305...450 сортообразцов различного происхождения. Дата колошения варьировала по годам (25 мая – 7 июня). У 11 скороспелых форм (колошение 25–28 мая) урожай зерна с делянки в среднем составил 1,2...2,5 кг, среднеспелых (1–2 июня) – 3,5 кг. При засухе для хорошей продуктивности нужна емкость накопления метаболитов. Уменьшение ее из-за скороспелости обуславливает снижение урожайности зерна.

В семилетнем опыте (2000–2007) изучали взаимосвязь между датой колошения и урожаем. Положительная зависимость была установлена в засушливом 2007 году ( $r = 0,42 \pm 0,26$  при  $n = 120$ ). Регрессионный анализ подтвердил отсутствие зависимости между урожаем и датой начала колошения, особенно у среднеспелых форм. Выявлена постоянная зависимость между продолжительностью фазы колошение–созревание и урожаем зерна. Коэффициент корреляции –  $0,41 \pm 0,06$ . Оптимальный период колошения–созревания согласно регрессионному анализу составил 39...45 дней.

Негативный фактор для озимой пшеницы – заморозки в апреле – начале мая, когда растения находятся в фазе выхода в трубку – роста стебля. Раньше весенние заморозки (ВЗ) наблюдали изредка (1962, 1965), но с 2000 года это стало проявляться с разной степенью интенсивности через один–два года. Особенно сильными были ВЗ в 2000 году за две недели до колошения. Температура воздуха понизилась до минус  $11^{\circ}\text{C}$  и держалась семь дней. На растении поврежда-

лись нижние (второе, третье) междоузлия, зачаточный колос. Нарушалась система транспорта метаболитов, ткани через неделю отмирали и стебли погибали. Но из узла кущения при хорошем агрофоне образовывались новые побеги, которые уступали погибшим по мощности развития. Реакция растений различных сортов была разной. Урожайность зерна сильно поврежденных сортов составила 1,8...4,7 т/га, среднее поврежденных – 5,5...6,9, устойчивых – 7,0...8,6 т/га. Исследования в 2000 году не подтвердили зависимость между уровнем зимостойкости и устойчивостью к ВЗ в нашей зоне. Например, сорт *Альбатрос одесский* был среднезимостойкий, но характеризовался высокой устойчивостью к ВЗ. Следовательно, контроль устойчивости детерминировался другой ассоциацией генов.

Анализ гибридного материала в годы с ВЗ выявил наличие четкой комбинативной природы устойчивости к ВЗ. Сорт *Донщина* в одном случае скрестили с *Бельчанкой*, в другом – *Спартанкой*. Гибриды первой комбинации погибли на 70...71,5%, второй – сохранились на 85%. Предположили, что сорт *Спартанка* может быть источником устойчивости к ВЗ. Это подтвердилось в комбинации *Бельчанка* × *Спартанка*. Из нее был выделен сорт *Тарасовская 97с* трансгрессий по комплексу признаков: устойчивость к ВЗ и морозам, высокие продуктивность и качество зерна.

Изучив 250 комбинаций, во-первых, выявили сорта-источники устойчивости к ВЗ местного гибридного происхождения, например, *Северодонецкая юбилейная*, *Престиж*, *Тарасовская 97*, *Августа*, *1629/91*, из коллекции ВИР и других мест, среди них – *Вымпел*, *Альбатрос одесский*, *Украинка одесская*, *Фантазия одесская*, *Спартанка*. Во-вторых, определили характер спектра рекомбинационной изменчивости применяя их в качестве родителей. Он варьировал от 2,0...6,6% погибших от ВЗ растений до 40% и более. Признак устойчивости доминировал при использовании источника в качестве любого родителя (табл. 2).

Характер устойчивости к ВЗ усиливался при беккроссах с использованием того же донора устойчивости или другого источника. Выделили 11 перспективных рекомбинантов. У пяти из них процент гибели составил 0...4%, следующих пяти – 6,6...8,8 и у одного – 13,3%.

Создана большая группа сортов со средней и высокой устойчивостью к ВЗ (табл. 3).

Несмотря на потепление, третий лимитирующий фактор – морозозимостойкость. Морозы на уровне минус 26,6...минус 29,2 $^{\circ}\text{C}$  отмечали в 2014–2016 годах. При минус 29,2 $^{\circ}\text{C}$  температура на глубине узла кущения

Таблица 2.

Роль источников *Lut. 1629/91* и других в формировании устойчивости рекомбинантов к весенним заморозкам

Рекомбинант	Процент гибели от ВЗ	Рекомбинант	Процент гибели от ВЗ
<i>Северодонская 14/1629/91</i>	6,6	1012/00 <i>Lovrin 34/9238/1629/91</i>	1,0
753/99/1629/91–	5,0	1629/91/ <i>Донская безостая</i>	10
885/99/1629/91	10,0	1085/00/ <i>Донская безостая</i>	5
977/99/1629/91	20,0	1123/00/ <i>Донская безостая</i>	2,0
1054/00/1629/91	2,0	601/99/ <i>Альбатрос одесский/Харьковская 86/Украинка одесская.*</i>	4,0
763/99 <i>Тарасовская 67/1629/91</i>	16,2	602/99/ <i>Альбатрос одесский/Харьковская 86/Украинка одесская</i>	8,7
835/99/1629/91	25	786/99/ <i>Альбатрос одесский/Харьковская 86/Украинка одесская</i>	0

Примечание. \* беккроссы.

Таблица 3.

## Урожайность разных сортов озимой пшеницы при весенних заморозках 2020 года

Устойчивые		Среднеустойчивые	
сорт или селекционная линия	урожайность, т/га	сорт	урожайность, т/га
Донская лира	5,94	Дон 107*	5,06
Вольная заря	5,84	Октава 15	5,04
978/16	5,78	Безостая 100**	4,92
Богема	5,76	Мирабель 20	4,89
Былина Дона	5,71	Пальмира 18	4,86
Акапелла	5,68	Алексеич**	4,76
Пафос	5,60	Сварог**	3,96
Авеста	5,85	Надор**	2,70
Среднее	5,76	Среднее	4,78
НСР <sub>05</sub> = 0,12 т/га		НСР <sub>05</sub> = 0,18 т/га	

Примечание. \* – АНЦ Донской, \*\* – национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко.

ния опускалась до минус 17°C и для сортов южной селекции была критической. Сорта селекции ФРАНЦ выдерживали на узле минус 18°C. Этот уровень устойчивости в наших исследованиях принят за основу.

До 2000 года в работе с популяциями использовали свойство трансгрессивной изменчивости. [11] При гибридизации привлекали высокопродуктивные сорта инорайонной селекции с максимальной приближенностью к модели нашего сорта по комплексу признаков, но среднезимостойкие. Получали гетерогенные популяции. Определяя характер наследования морозозимостойкости в F1 выявляли их перспективность в будущем. К таким популяциям относили гибриды с гетерозисом по морозозимостойкости, промежуточным наследованием, наследованием по типу лучшего родителя. Судя по многолетним данным при гетерозисе примерно у 70...80% популяций наблюдали продолжительное формирование, из них выделяли высокопродуктивные зимостойкие формы, при промежуточном наследовании – у 25...30, наследовании по типу лучшего родителя – 5...10%. Из 40 сортов Госреестра России 36 были трансгрессивными по своей природе. Появлению высокозимостойких форм в гетерогенных популяциях при рекомбинации способствовали низкие температуры в нашей зоне. У гибрида F1 комбинации, из которой был отобран сорт *Вольная заря*, в 2011 году был выявлен гетерозис по морозозимостойкости у 87% растений (родители – 65 и 43%). Из нее в F4 была выделена высокопродуктивная линия 945/16, средний уровень зимостойкости которой в 2017–2020 годах составил 76,4% живых растений (камера низких температур с минус 18°C на узле кущения), у матери – 62, отца (карлик) – 33%. Аналогичные данные были получены по сорту *Донья*, переданному на Государственное испытание в 2021 году. У *Доньи* морозозимостойкость по годам – 79...91%, родителей – 63...80 и 61...73%.

При потеплении климата в основном стали использовать классический метод – создание генотипов с зимостойкостью на уровне лучшего родителя. В 2021 году в Государственное испытание передан сорт *Константа 22*. Гибрид F1 в 2015 году наследовал

морозостойкость промежуточно: ♀ – 78%, F1 – 74, ♂ – 41%. У выделенной линии 978/16 с урожайностью 8,75 т/га (2017–2021) уровень морозостойкости составил 72...76%, у родителей – 74...80 и 40...46%.

При применении высокопродуктивных западноевропейских полукарликов, особенно с генами RHT (rht), несколько удлиняется процесс селекции. Чаще приходится прибегать к ступенчатой гибридизации для усиления выраженности признака, например, морозозимостойкости. В наших условиях при использовании генотипов с тремя генами карликовости при формировании наблюдали ограничения на рекомбинацию из-за несовпадения систем генов генотип-среда. Обычно это были формы с низкими соломиной и зимостойкостью.

Таким образом, в нашей зоне климат также меняется. Повысилась среднегодовая температура воздуха. Зимы стали мягкими. Количество осадков осталось примерно одинаковым, но с сильной изменчивостью по годам – 276 (2013)...683 мм (2019) при среднемноголетней – 451 мм. Осадки в основном выпадают в осенне-зимний период и марте. В мае часто бывают засухи. Они постепенно усиливаются и к июню-августу становятся постоянными, особенно в августе и первой половине сентября. Поэтому первым лимитирующим фактором стала засухоустойчивость вместо морозозимостойкости. С использованием свойства генетической коадаптации потенциальную урожайность зерна в этих условиях удалось поднять до 10,7 т/га. Это объясняется ростом индекса урожая (с 32 до 40%). Дальнейшее его увеличение при засухе ограничивается количеством биологического урожая. При этом снижается емкость депонирования продуктов фотосинтеза. С помощью трансгрессий можно решить эту проблему и получать генотипы с большей надземной массой. Важное значение имеет интенсивность фотосинтеза. Жарозасухоустойчивость генотипа оценивают по массе зерна с растения или площади. Для решения проблемы устойчивости к весенним заморозкам необходимо определить источники устойчивости к этому стрессору среди имеющегося генофонда, использовать трансгрессивную селекцию. На основании наших многолетних исследований выявлено доминирование устойчивости при взаимодействии генов. Устойчивость к заморозкам у рекомбинантов повышается при беккроссе третьим устойчивым к этому стрессору источником.

Селекция на устойчивость к морозам также очень важна. Одним методом с помощью среднезимостойких инорайонных генотипов созданы гетерогенные популяции, выделены из них с длительным расщеплением и после морозов при вегетации отобраны трансгрессии в комплексе с другими признаками, обуславливающими высокую продуктивность. Другой метод с применением местного и инорайонного генофонда заключается в создании рекомбинантов, приближающихся к высокозимостойкому родителю. Первым методом получили 32 сорта (внесены в Госреестр), вторым – 8.

Авторы выражают благодарность руководителям Федерального Ростовского аграрного научного центра А.И. Клименко и А.В. Гринько за содействие в проведении исследований и публикации статьи.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айдаров А.Н., Шепелев С.С., Шаманин В.П. Характеристика по компонентам продуктивности высокостебельных и низкостебельных растений, выделенных из популяции крупнозернового пырея сизого (сорт Сова) в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (430). С. 5–16. [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2021\\_3\\_5](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_5)
2. Безуглая Т.С., Самофлова Н.Е., Иличкина Н.П. и др. Адаптивный потенциал новых сортов и линий твердой пшеницы в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3 (75). С. 27–33. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-75-3-27-33>.
3. Грабовец А.И. Усовершенствованные методы оценки морозо- и зимостойкости растений // Селекция и семеноводство. 1983. № 2. С. 10–13.
4. Лихенко И.Е. Современные проблемы селекции сельскохозяйственных культур в Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 6. С. 19–20.
5. Осипов Ю.Ф., Фадеева О.И., Федулов Ю.П. Рекомендации по разработке моделей сортов озимой пшеницы в зоне Северного Кавказа. В Сб.: Применение физиологических методов при оценке селекционного материала и моделировании новых сортов с. х. культур. М.; ВАСХНИЛ, 1983. С. 26–31.
6. Ричардс Р.А., Кондон А.Г., Ребецке Г.Дж. Признаки, по которым улучшают урожайность в условиях засухи. В Сб.: Применение физиологии в селекции пшеницы. Киев, Логос, 2007. С. 184–209.
7. Романенко А.А., Беспалова Л.А., Котляров Д.В. Экономическая эффективность производства зерна на основе новых сортов озимой пшеницы селекции КННИСХ им. П.П. Лукьяненко // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 3. С. 15–188.
8. Самофлова Н.Е., Иличкина Н.П., Макарова Т.С. и др. Методы создания исходного материала в селекции озимой твердой пшеницы и их результативность // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2 (68). С. 54–60. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-68-2-54-60>
9. Чем грозит человечеству потепление, и что делать для предотвращения катастрофы. ТАСС. Специальный проект (revue). 2015. [https://tass.ru/spec/climate\\_TASS](https://tass.ru/spec/climate_TASS). Special project (revue).
10. Carter T.R., Jones R.N., Lu X. et al. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007. P. 133–171.
11. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Plus- transgression in winter wheat breeding on frost resistance and productivity. Russian Agricultural Sciences. 2019. № 45 (5). С. 407–411.
12. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Yield stability in a wide range of environments – the main parameter in winter wheat breeding / Russian Agricultural Science. 2020. Vol. 46. № 5. P. 539–545. DOI: 10.3103/S1068367420060075
13. Hughey L. Biological consequences of global warming is the signal already apparent. Trends in Ecology & Evolution. 1. 2000. Vol. 15 (2). P. 56–61. DOI: 10.1016/S0169-5347(99)01764-4

## REFERENCES

1. Ajdarov A.N., Shepelev S.S., Shamanin V.P. Harakteristika po komponentam produktivnosti vysokostebel'nyh i nizkostebel'nyh rastenij, vydelennyh iz populyacii krupnozernovogo pyreya sizogo (sort Sova) v usloviyah yuzhnoj lesostepi Zapadnoj Sibiri // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 3 (430). S. 5–16. [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2021\\_3\\_5](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_5)
2. Bezuglaya T.S., Samoflova N.E., Ilichkina N.P. i dr. Adaptivnyj potencial novyh sortov i linij tverdoj pshenicy v usloviyah Rostovskoj oblasti // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2021. № 3 (75). S. 27–33. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-75-3-27-33>.
3. Grabovec A.I. Usovershenstvovannye metody ocenki morozo- i zimostojkosti rastenij // Selekcija i semenovodstvo. 1983. № 2. S. 10–13.
4. Lihenko I.E. Sovremennye problemy selekcii sel'skohozyajstvennyh kul'tur v Sibiri // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2012. № 6. S. 19–20.
5. Osipov Yu.F., Fadeeva O.I., Fedulov Yu.P. Rekomendacii po razrabotke modelej sortov ozimoj pshenicy v zone Severnogo Kavkaza. V Sb.: Primenenie fiziologicheskikh metodov pri ocenke selekcionnogo materiala i modelirovanii novyh sortov s. h. kul'tur. M.; VASKHNIL, 1983. S. 26–31.
6. Richards R.A., Kondon A.G., Rebecke G.Dzh. Priznaki, po kotorym uluchshayut urozhajnost' v usloviyah zasuhi. V Sb: Primenenie fi-ziologii v selekcii pshenicy. Kiev, Logos, 2007. S. 184–209.
7. Romanenko A.A., Bepalova L.A., Kotlyarov D.V. Ekonomicheskaya effektivnost' proizvodstva zerna na osnove novyh sortov ozimoj pshenicy selekcii KNNISKH im. P.P. Luk'yanenko // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. № 3. S. 15–188.
8. Samoflova N.E., Ilichkina N.P., Makarova T.S. i dr. Metody sozdaniya iskhodnogo materialy v selekcii ozimoj tverdoj pshenicy i ih rezul'tativnost' // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 2 (68). S. 54–60. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-68-2-54-60>
9. Chem grozit chelovechestvu poteplenie, i chto delat' dlya predotvrashcheniya katastrofy. TASS. Special'nyj proekt (revyu). 2015. <https://tass.ru/spec/climate.TASS>. Special project (revue).
10. Carter T.R., Jones R.N., Lu X. et al. Climate change 2007: impacts, ad-aptation and vulnerability, contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007. P. 133–171.
11. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Plus- transgression in winter wheat breed-ing on frost resistance and productivity. Russian Agricultural Sciences. 2019. № 45 (5). P. 407–411.
12. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Yield stability in a wide range of environ-ments – the main parameter in winter wheat breeding / Russian Agricultural Science. 2020. Vol. 46. № 5. P. 539–545. DOI: 10.3103/S1068367420060075
13. Hughey L. Biological consequences of global warming is the signal already apparent. Trends in Ecology & Evolution. 1. 2000. Vol. 15 (2). P. 56–61. DOI: 10.1016/S0169-5347(99)01764-4

Поступила в редакцию 20.09.2022

Принята к публикации 04.10.2022