

## ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

В.С. Юсов, М.Г. Евдокимов

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

E-mail: yusov@anc55.ru

**Для цитирования:** Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Оценка адаптивности и стрессоустойчивости к засухе перспективных линий яровой твердой пшеницы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 222–230. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-222-230.

**Ключевые слова:** твердая пшеница, засухоустойчивость, урожайность, экологическая пластичность, адаптивная способность, индекс.

**Реферат.** Проведена сравнительная комплексная оценка сортов и перспективных линий яровой твердой пшеницы по адаптивности, стабильности формирования урожайности, устойчивости к засухе и стрессу. Для этого были использованы методы определения экологической пластичности по S.A. Eberhart, W.A. Russel, AMMI-метод для определения взаимодействия «генотип–среда» на основе эффектов аддитивных и мультипликативных взаимодействий по R.W. Zobel и др., J.M. Mondo и др. Для выявления степени засухоустойчивости и стрессоустойчивости было использовано 11 показателей (индексов): TOL (индекс выносливости); SI (индекс стабильности урожайности); DI (индекс засухоустойчивости); STI (индекс толерантности к стрессу); DSI (индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); DSI\* (модифицированный индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); GMP (индекс геометрической продуктивности); HM (среднее гармоническое); RDI (относительный индекс засухи); ATI (индекс абиотической толерантности); SDI (индекс чувствительности к засухе). По методу AMMI стабильными по урожайности генотипами являются Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 12-16-9, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, адаптивными Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Гордеиформе 14-83-1, Жемчужина Сибири и Омская янтарная. Расчет по методу S.A. Eberhart, W.A. Russell дифференцировал сорта на три группы: стабильные хорошо отзывающиеся на условия выращивания генотипы: Гордеиформе 12-16-9 и Омская янтарная; 2 – высокостабильные, увеличивающие урожайность пропорционально улучшающимся условиям среды: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Фортуна 24; 3 – экстенсивные: Гордеиформе 14-83-1, Омский топаз. Индексы стрессоустойчивости и засухоустойчивости TOL, SI, HM, DI, STI, DSI, DSI\* GMP, SDI выделяют два образца Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. По относительному индексу засухи (RDI) выделяются Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири, а по индексу абиотической толерантности (ATI) Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири. Выявлены наиболее стрессоустойчивые и стабильные генотипы Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Омская янтарная.

## ASSESSMENT OF ADAPTABILITY AND STRESS RESISTANCE TO DROUGHT OF PROMISING LINES OF SPRING DURUM WHEAT

V.S. Yusov, M.G. Evdokimov

Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia

E-mail: yusov@anc55.ru

**Keywords:** durum wheat, drought resistance, yield, ecological plasticity, adaptive ability, index

**Abstract.** A comparative comprehensive assessment of varieties and promising lines of spring durum wheat in terms of adaptability, stability of yield formation, resistance to drought and stress was carried out. For this purpose, the methods for determining ecological plasticity according to S.A. Eberhart, W.A. Russel, the AMMI method for determining the interaction of the genotype environment based on the effects of additive and multiplicative interactions according to R.W. Zobel et al., and J.M. Mondo et al. were used. To establish the degree of drought resistance and stress resistance, 11 indicators (indices) were used: TOL (Endurance Index); SI (Yield Stability Index); DI (Drought Tolerance Index); STI (Stress Tolerance Index); DSI (Fisher and Maurer Drought Tolerance Index); DSI\* (Modified Fisher and Maurer Drought Tolerance Index); GMP (Geometric Productivity Index); HM (Mean Harmonic); RDI (Relative Drought Index); ATI (Abiotic Tolerance Index); SDI (Drought Sensitivity

*Index). According to the AMMI method, the yield-stable genotypes are Gordeiforme 11-98-3, Gordeiforme 12-16-9, Gordeiforme 12-17-2, Gordeiforme 13-37-2, adaptive genotypes Gordeiforme 12-17-2, Gordeiforme 13-37-2, Gordeiforme 14-83-1, Jemthujina Siberia and Omskaya jantarnaya. Calculation according to the method of S.A. Eberhart, W.A. Russell differentiated the varieties into 3 groups: 1- stable genotypes that respond well to growing conditions: Gordeiform 12-16-9 and Omskaya Amber; 2 – highly stable, increasing yields in proportion to improving environmental conditions: Gordeiform 12-17-2, Gordeiform 13-37-2, Fortuna 24; 3 – extensive: Gordeiform 14-83-1, Omsk topaz. The stress and drought resistance indices TOL, SI, HM, DI, STI, DSI, DSI\* GMP, SDI distinguish two samples: Gordeiforme12-17-2 and Omskaya jantarnaya. According to the relative drought index (RDI), Gordeiforme12-17-2, Gordeiforme14-83-1 and Jemthujina Sibiri stand out, and according to the abiotic tolerance index (ATI), Gordeiforme14-83-1 and Jemthujina Siberia. Revealed the most stress-resistant and stable genotypes: Gordeiforme 12-17-2, Gordeiforme 14-83-1 and Omskaya jantarnaya.*

Селекция любой сельскохозяйственной культуры направлена прежде всего на устранение у лучших, хорошо адаптированных сортов и перспективных линий признаков, лимитирующих урожай зерна и его качество. Однако чем выше достижения селекции, тем труднее повышать ее эффективность. Западная Сибирь является зоной эффективного производства высококачественного продовольственного зерна яровой твердой пшеницы. В то же время значительные колебания условий среды, почти ежегодное действие стрессовых факторов увеличивают коммерческий риск при ее возделывании. Основными факторами, дестабилизирующими производство твердой пшеницы, являются засуха, высокие температуры, корневые гнили, болезни листьев, колоса, повреждение вредителями [1].

Засуха – самый сложный и разрушительный абиотический стрессор, сопровождающий всю историю земледелия. Ущерб от нее превышает ущерб от любого другого стрессора [2, 3]. Ожидается, что частота и тяжесть засух станут более серьезными в ближайшее время из-за глобального потепления [4]. Ориентация в процессе селекции только на высокий потенциал продуктивности способствовала снижению устойчивости сортов к неблагоприятным воздействиям внешней среды [5, 6].

Для дифференциации засухоустойчивых генотипов были предложены индексы засухоустойчивости и стрессоустойчивости на основе математической зависимости между благоприятными и стрессовыми условиями. Число индексов достигает нескольких десятков [7]. Выбор генотипов на основе этих критериев не всегда удачный, что напрямую связано со всеми аспектами биологии и механизмом выживания сельскохозяйственных культур [8, 9].

Главной помехой получения объективной информации является взаимодействие «генотип–среда» ( $G \times E$ ), связанное с различиями норм реакции генотипов в различных средах.

Цель исследований – определить генотип-средовые взаимодействия, оценить засухо- и стрессоустойчивость перспективных линий яровой твердой пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили три реестровых сорта и восемь перспективных линий, созданных в лаборатории селекции яровой твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ». Полевые исследования выполнялись в 2021–2024 гг. в двух экологических пунктах: южная лесостепь (ЮЛ), Омский АНЦ на базе селекционного севооборота лаборатории селекции твердой пшеницы ФГБНУ, а также степная зона (С), опорный пункт семеноводства п. Новоуральский. Опыты были заложены по чистому пару в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [10]. Почва опытного участка в южной лесостепи – чернозем слабовыщелоченный, среднегумусный (6,2 %), тяжелоуглинистый. Почва опытного участка в степной зоне – чернозем обыкновенный, маломощный, малогумусовый (5,5 %), тяжелоуглинистый. Срок посева 14–15 мая, норма высева – 4,5 млн всхожих зерен на 1 га. Площадь делянок 10 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Общее количество наблюдений  $n = 308$ .

Для оценки засухоустойчивости и стрессоустойчивости рассчитано 11 индексов, представленных в работах [11–16]: TOL (индекс выносливости); SI (индекс стабильности урожайности); DI (индекс засухоустойчивости); STI (индекс толерантности к стрессу); DSI (индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); DSI\* (модифицированный индекс засухоустойчивости Фишера и Маурера); GMP (индекс геометрической продуктивности); HM (среднее гармоническое); RDI (относительный индекс засухи); ATI (индекс

абиотической толерантности); SDI (индекс чувствительности к засухи).

Параметры экологической пластичности рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russel [17, 18]. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ-анализ) были определены по R.W. Zobel и др., J.M. Mondo и др., рассчитывался уровень фенотипической стабильности генотипов (ASV), индекс стабильности взаимодействия (YSI) и их ранги (rASV, rYSI) [19, 20].

Погодные условия в течение вегетационного периода 2021–2024 гг. были очень контрастными как в степной зоне, так и в южной лесостепи: 2021, 2022 гг. характеризовались повышенной температурой и недобором осадков в течение вегетационного периода, а в 2024 г. чрезмерными ливневыми осадками и недобором эффективных температур. Наиболее экстремальным был 2023 г. Засуха наблюдалась в течение всего лета как в

степной зоне, так и в южной лесостепи, основным лимитирующим фактором была почвенная засуха, вызванная дефицитом атмосферных осадков от всходов до начала налива зерна.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Средняя урожайность за годы исследования по всем сортам составляла 2,63 т/га и варьировала от 2,44 до 2,98 т/га. В условиях засушливых лет средний показатель достигал 1,41 т/га, а в благоприятные годы 3,12 т/га (табл. 1). Потери от засухи составили 1,71 т/га. Различия по сортам были очень существенны (от 1,31 до 2,10 т/га). В благоприятных условиях урожайность изменялась от 2,94 до 3,35 т/га. Высокая потенциальная урожайность в оптимальных условиях необязательно приводит к повышению урожайности в стрессовых условиях.

Таблица 1

Средняя урожайность, показатели пластичности и стабильности образцов яровой твердой пшеницы по степи и южной лесостепи, 2021–2024 гг.  
Yield, plasticity and stability indicators of spring durum wheat samples the steppe and southern forest steppe, 2021–2024 years.

№ п/п	Генотип	Урожайность, т/га			Параметры АММИ		Параметры S.A. Eberhart, W.A. Russel	
		Средняя $Y_{av}$	Без стресса $Y_p$	При стрессе $Y_s$	ASV	YSI	$B_i$	$\sigma_d^2$
1	Г.11-98-3	2,44	2,94	1,18	0,15	12	0,98	0,16
2	Г.12-16-9	2,61	3,10	1,40	0,29	9	1,05	0,04
3	Г.12-17-2	2,98	3,35	2,05	0,37	5	0,98	0,11
4	Г.13-37-2	2,47	2,96	1,25	0,26	10	0,98	0,06
5	Г.14-83-1	2,87	3,37	1,62	0,49	7	0,86	0,05
6	Жемчужина Сибири	2,71	3,29	1,26	0,59	11	1,04	0,26
7	Омская янтарная	2,79	3,16	1,85	0,53	9	1,05	0,08
8	Омский изумруд	2,45	2,99	1,08	0,86	20	1,08	0,10
9	Омский малахит	2,68	3,19	1,41	0,71	14	1,03	0,22
10	Омский топаз	2,49	2,91	1,45	0,63	15	0,74	0,07
11	Фортуна 24	2,47	3,07	0,97	1,03	20	1,22	0,18
	Среднее	2,63	3,12	1,41	–	–	–	–
НСР при *P > 0,05		0,18	0,23	0,14	–	–	–	–

Примечание. Г. – Гордеиформе;  $Y_{av}$  – средняя урожайность;  $Y_p$  – урожайность без стресса;  $Y_s$  – урожайность при стрессе; ASV – уровень фенотипической стабильности генотипов; YSI – индекс стабильности взаимодействия;  $B_i$  – коэффициент линейной регрессии;  $\sigma_d^2$  – дисперсия.

Взаимодействие «генотип–среда» ( $G \times E$ ) вносит несогласованность в относительный рейтинг генотипов в разных средах [21]. Разрешающая способность методов оценки адаптивной способности неодинакова, и оценка по одному методу не отражает полностью свойства генотипов. Для объективной оценки необходимо использовать комплекс показателей, поэтому были использованы методы определения экологической

пластичности по S.A. Eberhart, W.A. Russel и АММИ-метод для определения взаимодействия «генотип–среда» на основе эффектов аддитивных и мультипликативных взаимодействий по R.W. Zobel и др., J.M. Mondo и др. Результаты взаимодействия генотипа и среды на основании первой главной компоненты показали 34,7 % от общей изменчивости, вызванной генотип-средовым взаимодействием (рис. 1).

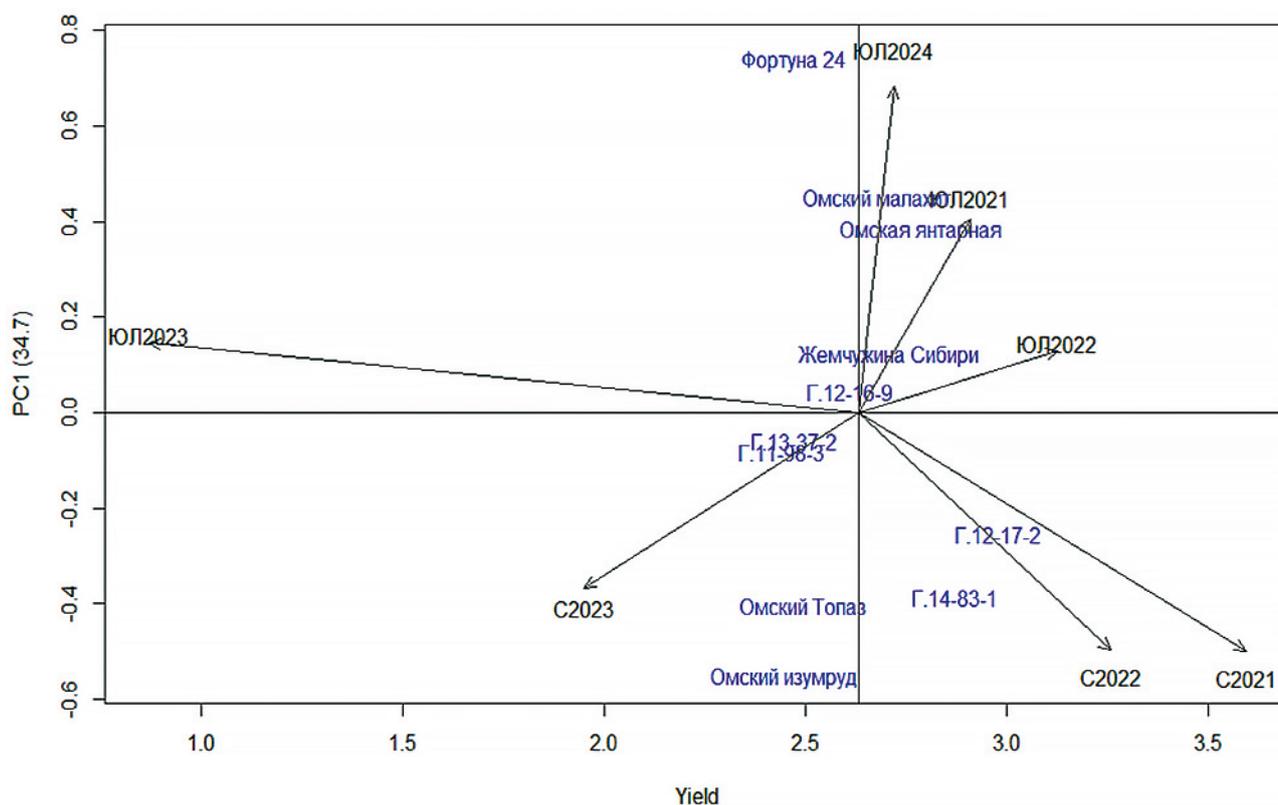


Рис. 1. Распределение сортов и значения урожайности в плоскости первой главной компоненты, 2021–2024 гг. (Yield – урожайность, PC1 – первая главная компонента)

Distribution of varieties and yield values, in the plane of the first main component, 2021–2024.

Самые неблагоприятные условия для формирования признака сложились в 2023 г. в южной лесостепи и степи. Генотипы и среды, которые находятся параллельно линии ординаты, имеют одинаковую среднюю урожайность, а абсцисса показывает основные эффекты генотипов и среды. Меньшие значения ASV указывают на более стабильные генотипы: Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 12-16-9, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2. Индекс стабильности взаимодействия (YSI) включает как среднее значение показателя, так и стабильность в одном критерии. Адаптивными генотипами являются: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Гордеиформе 14-83-1, Жемчужина Сибири и Омская янтарная.

Расчет по методу S.A. Eberhart, W.A. Russell позволяют дифференцировать сорта на три группы: 1 – наиболее ценные сорта, это стабильные хорошо отзывающиеся на условия выращивания генотипы: Гордеиформе 12-16-9 и Омская янтарная; 2 – ценные, это высокостабильные сорта, увеличивающие урожайность пропорционально улучшающимся условиям среды: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Фортуна 24; 3 – характеризующиеся слабой реакцией на улучшение условий среды, или экстенсивные сорта: Гордеиформе 14-83-1, Омский топаз.

Результаты расчета индексов засухоустойчивости и стрессоустойчивости представлены в табл. 2. Индексы (TOL, SI, HM), рассчитанные по абсолютному и относительному снижению

урожайности образца в стрессовый год по сравнению с благополучным, выделяют два образца: Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. Индексы, учитывающие величину урожайности в благоприятный год DI, STI, DSI, GMP, SDI, а также индекс DSI\*, учитывающий среднюю урожайность по группе изучаемых образцов, также

выделяют два образца: Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. По относительному индексу засухи (RDI) выделяются Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири, а по индексу абiotической толерантности (ATI) – Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири.

Таблица 2

Индексы засухоустойчивости и стрессоустойчивости образцов яровой твердой пшеницы  
Indices of drought resistance and stress resistance of spring durum wheat samples

Генотип	TOL	SI	DI	STI	DSI	DSI*	GMP	HM	RDI	ATI	SDI
Г.11-98-3	1,76	0,40	0,34	0,36	1,09	1,18	1,86	1,69	2,09	1,49	0,60
Г.12-16-9	1,70	0,45	0,45	0,44	1,00	1,01	2,08	1,92	2,19	1,60	0,55
Г.12-17-2	1,31	0,61	0,87	0,69	0,72	0,63	2,62	<b>2,54</b>	<b>2,33</b>	1,56	<b>0,39</b>
Г.13-37-2	1,71	0,42	0,37	0,38	1,06	1,13	1,92	1,76	2,10	1,50	0,58
Г.14-83-1	1,75	0,48	0,55	0,56	0,95	0,87	2,34	2,19	<b>2,39</b>	<b>1,86</b>	0,52
Жемчужина Сибири	2,03	0,38	0,34	0,43	1,13	1,09	2,03	1,82	<b>2,33</b>	<b>1,86</b>	0,62
Омская янтарная	<b>1,31</b>	<b>0,59</b>	<b>0,77</b>	<b>0,60</b>	<b>0,76</b>	<b>0,71</b>	<b>2,42</b>	<b>2,34</b>	2,24	1,43	<b>0,41</b>
Омский изумруд	1,91	0,36	0,28	0,33	1,17	1,26	1,80	1,59	2,12	1,56	0,64
Омский малахит	1,78	0,44	0,44	0,46	1,02	1,00	2,12	1,95	2,26	1,71	0,56
Омский топаз	1,46	0,50	0,51	0,44	0,92	0,97	2,06	1,94	2,06	1,36	0,50
Фортуна 24	2,10	0,32	0,22	0,31	1,25	1,33	1,73	1,48	2,18	1,64	0,68

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работах J.P. Aditya с коллегами (2022) и J. Anwar и др. (2011) сообщается о значительных различиях взаимосвязей между индексами, связанными с устойчивостью к засухе даже для одного и того же материала, испытанного в разные сезоны [22, 23]. Поэтому дальнейшая дифференциация образцов по засухоустойчи-

вости проводилась с учетом их ранжирования на основе всех одиннадцати рассчитанных индексов засухо- и стрессоустойчивости и рангов эффектов аддитивных и мультипликативных взаимодействий ( $r_{ASV}$ ,  $r_{YSI}$ ), а также ранга параметра стабильности ( $r\sigma_d^2$ ). Ранговый анализ выявил наиболее стрессоустойчивые и стабильные образцы: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Омская янтарная (табл. 3).

Таблица 3

Ранги показателей засухо- и стрессоустойчивости образцов яровой твердой пшеницы  
Ranks of indicators of drought and stress resistance of spring durum wheat samples

Генотип	Сумма рангов индексов засухоустойчивости и стрессоустойчивости	$r_{ASV}$	$r_{YSI}$	$r\sigma_d^2$	Общая сумма рангов
1. Г.11-98-3	95	1	11	8	115
2. Г.12-16-9	57	3	6	1	67
3. Г.12-17-2	17	4	1	7	<b>29</b>
4. Г.13-37-2	82	2	8	3	95
5. Г.14-83-1	36	5	2	2	<b>45</b>
6. Жемчужина Сибири	77	7	4	11	99
7. Омская янтарная	33	6	3	5	<b>47</b>
8. Омский изумруд	104	10	10	6	130
9. Омский малахит	56	9	5	10	80
10. Омский топаз	59	8	7	4	78
11. Фортуна 24	110	11	9	9	139

Подход, основанный на комбинации индексов, позволяет отобрать лучшие генотипы, но при этом прослеживается линейная связь с любыми двумя признаками. В то же время для выявления лучших генотипов как для стрессовой, так и для нестрессовой среды на основе большого количества индексов необходим подход, который преобразует большой набор переменных в меньший с минимальными потерями информативности: соответствующим инструментом является метод главных компонент (PCA).

На биplotе (рис. 2) все индексы разделились на четыре квадранта. В биplot-анализе косинус

угла между векторами указывает на индексные корреляции; тупой угол означает положительную корреляцию, острый угол указывает на отрицательную корреляцию, а перпендикулярные векторы не подразумевают корреляции. Первый квадрант связан с первой главной компонентой (Dim1) и показывает 63,9 % от общих вариаций и связан с увеличением индексов DSI\*, SDI, TOL, а также положительно коррелировал с увеличением значения показателей пластичности и стабильности ASV, YSI, Bi,  $\sigma_d^2$ . Нумерация сортов на рис. 2 соответствует номерам сортов в табл. 3.

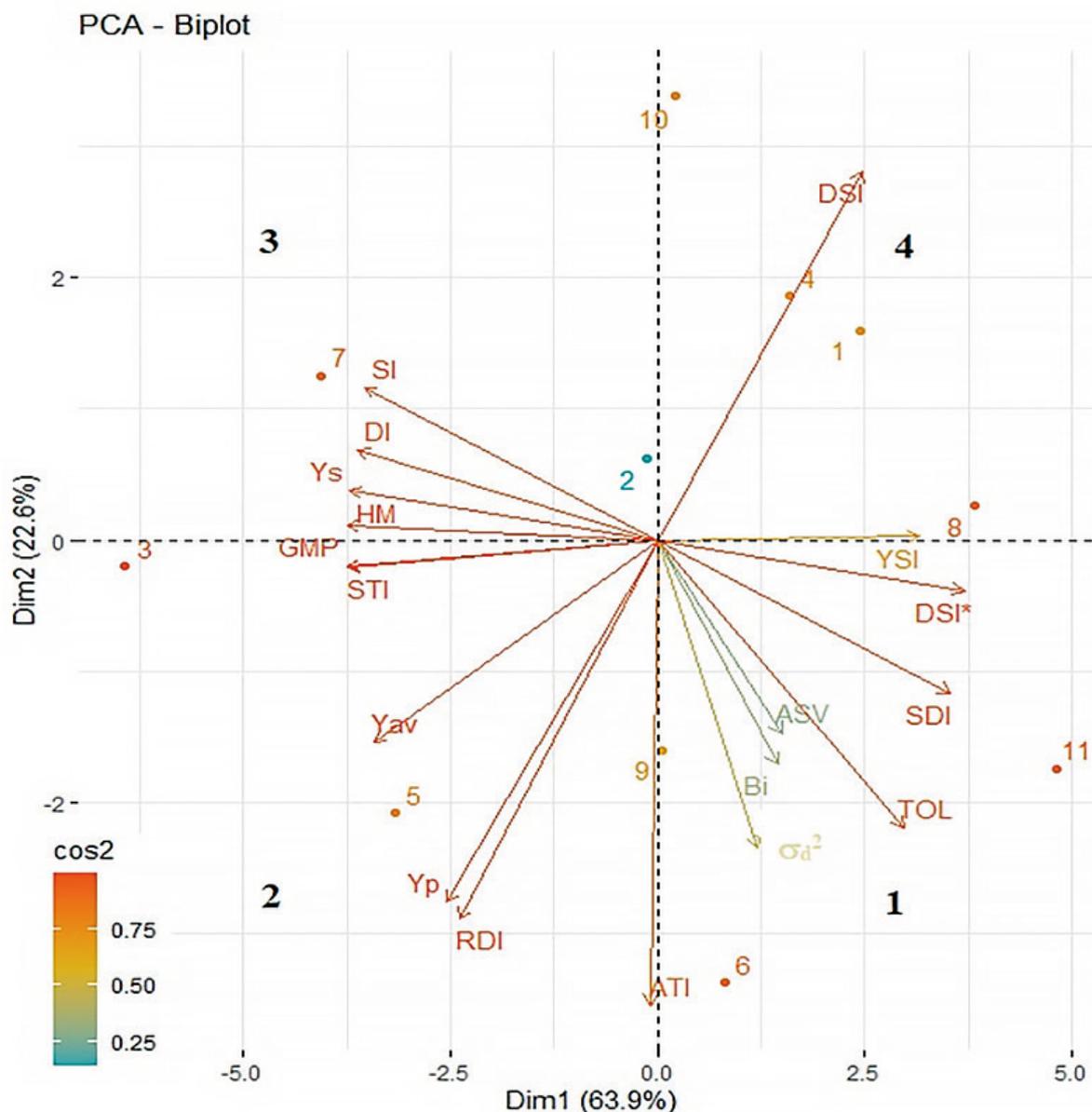


Рис. 2. Biplot для индексов устойчивости к засухе, основанных на осях первого и второго основных компонентов (Dim1 и Dim2).

Biplot for drought resistance indices based on the axes of the first and second main components (Dim1 and Dim2).

Таким образом, здесь выделены слабозасухоустойчивые, интенсивные и нестабильные сорта: Жемчужина Сибири и Фортуна 24. Во втором квадранте показаны индексы: STI, RDI, которые отрицательно коррелируют с индексами: DSI\*, SDI, TOL и увеличением стабильности и пластичности, а также положительно связаны с повышением урожайности средней ( $Y_{av}$ ) и без стресса ( $Y_p$ ). Здесь выделены экстенсивные засухоустойчивые сорта с высокой средней урожайностью: Гордеиформе 12-17-2 и Гордеиформе 14-83-1. Третий квадрант представлен индексами SI, DI, HM, которые высоко коррелируют с урожайностью при стрессе ( $Y_s$ ), т. е. здесь отражены наиболее ценные генотипы (стабильные и пластичные, меньше всех снижающие урожайность при стрессовых условиях засухи): Омская янтарная. Четвертый квадрант связан со второй главной компонентой ( $Dim_2$ ) и показывает 22,6 % от общих вариаций. В нем представлен индекс DSI, высокое значение которого свидетельствует о пониженной засухоустойчивости. В этой части биплота расположены слабозасухоустойчивые генотипы: Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 13-37-2.

## ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили выявить адаптивные свойства у изученных сортов и перспективных линий. Стабильными по урожайности согласно методу АММІ являются Гордеиформе 11-98-3, Гордеиформе 12-16-

9, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, адаптивными – Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Гордеиформе 14-83-1, Жемчужина Сибири и Омская янтарная.

2. Тест S.A. Eberhart, W.A. Russell распределил сорта на три группы: стабильные, хорошо отзывающиеся на условия выращивания генотипы Гордеиформе: 12-16-9 и Омская янтарная; высокостабильные, увеличивающие урожайность пропорционально улучшающимся условиям среды: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 13-37-2, Фортуна 24; экстенсивные: Гордеиформе 14-83-1, Омский топаз.

3. Значения индексов стрессоустойчивости и засухоустойчивости TOL, SI, HM, DI, STI, DSI, DSI\*, GMP, SDI выделяют два образца: Гордеиформе 12-17-2 и Омская янтарная. По относительному индексу засухи (RDI) выделяются Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири, а по индексу абиотической толерантности (ATI) – Гордеиформе 14-83-1 и Жемчужина Сибири.

4. Анализ главных компонент позволяет более информативно выявлять наиболее стрессоустойчивые и стабильные образцы как для стрессовой, так и для нестрессовой среды на основе большого количества индексов.

5. Выявлены наиболее стрессоустойчивые и стабильные генотипы: Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 14-83-1 и Омская янтарная.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юсов В.С. Создание и селекционно-генетическая оценка исходного материала яровой твердой пшеницы для селекции в условиях Западной Сибири: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 2024. – 439 с.
2. Крупнов В.А. Засуха и селекция пшеницы: системный подход // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 1. – С. 12–23.
3. *Climate change: can wheat beat the heat?* / R.K. Ortiz, D. Sayre, B. Govaerts [et al.] // *Agric. Ecosys. Environ.* – 2008. – Vol. 126. – P. 46–58. – DOI: 10.1016/j.agee.2008.01.019.
4. *Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to postanthesis drought stress in winter wheat (Triticum aestivum L.)*. / X. Wang, Z. Mao, J. Zhang [et al.] // *Environ. Exp.* – 2019. – Vol. 166. – P. 103804. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103804.
5. *Проблема засухоустойчивости яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири и современные экспресс-методы ее оценки в полевых условиях* / В.П. Шаманин, А.Ю. Трущенко, А.В. Пинкаль [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2016. – № 3 (40). – С. 57–64.
6. *Decline in climate resilience of European wheat* / H. Kahiluoto, J. Kaseva, J. Balek [et al.] // *Proc Natl Acad Sci. USA.* – 2019. – Vol. 116 (1). – P. 123–128. – DOI: 10.1073/pnas.1804387115.
7. *Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices* / P. Sharifi, H. Astereki, F. Sheikh, M. Khorasanizadeh // *Central Asian Journal of Plant Science Innovation.* – 2021. – Vol. 1 (4). – P. 176–179. – DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01.
8. *Screening for durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivar resistance to drought stress using an integrated physiological approach* / A. Guellim, B. Hirel, O. Chabrierie [et al.] // *J. Crop Sci. Biotechnol.* – 2020. – Vol. 23. – P. 355–365. – DOI: 10.1007/s12892-020-00043-8.

9. *Screening for PEG-induced drought stress tolerance in seedlings of durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivars / A. Othmani, A. Sourour, C. Zoubeir [et al.] // Pakistan Journal of Botany. – 2021. – Vol. 53. – P. 823–832. – DOI: 10.30848/PJB2021-3 (5).*
10. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 2019. – Вып. 1. – 384 с.*
11. *Kiliç H., Tacettin Y. The Effect of Drought Stress on Grain Yield, Yield Components and Some Quality Traits of Durum Wheat (Triticum turgidum ssp. durum) Cultivars // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2010. – Vol. 38 (1). – P. 164–170. – DOI: 10.15835/nbha3814274.*
12. *Shoot and root dry weight in drought exposed tomato populations / M. Brdar-Jokanović, Z. Girek, S. Pavlović [et al.] // Genetika. – 2014. – Vol. 46 (2). – P. 495–504. – DOI: 10.2298/GENSR1402495B.*
13. *Mirdoraghi M., Behpouri A., Bijanzadeh E. Evaluating the effects of genotype mixture and stress tolerant indices in durum wheat (Triticum durum Desf.) under drought stress // Iran Agricultural Research. – 2022. – Vol. 41 (1). – P. 83–94. – DOI: 10.22099/IAR.2022.42353.1469.*
14. *Евдокимов М.Г., Юсов В.С. Селекционные критерии засухоустойчивости твердой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 6. – С. 26–35. – DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-26-35.*
15. *Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области / Ж.Т. Калыбекова, В.И. Цыганков, Е.В. Зуев, Л.Ю. Новикова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – № 183 (3). – С. 85–95. – DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95.*
16. *Drought-tolerant sesame mutant lines assessed by physiological traits and stress indices under water deficit conditions / K. Mohamed, N. Abdelghani, K. Rajae [et al.] // Journal of Agriculture and Food Research. – 2023. – Vol. 14. – P. 100842. – DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100842.*
17. *Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. // Crop Sci. – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40.*
18. *Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). – Уфа, 2011. – 97 с.*
19. *Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G. Statistical Analysis of a Yield Trial // Agronomy Journal. – 1988. – Vol. 80. – P. 388–393. – DOI: 10.2134/agronj1988.0002196200800003 0002.*
20. *Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D. Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Interracial Common Bean Lines in Kenya // World Journal of Agricultural Research. – 2019. – Vol. 7 (3). – P. 76–87. – DOI: 10.12691/wjar-7-3-1.*
21. *Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 2 (63). – С. 19–25. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-19.*
22. *Identification of drought tolerant, high yielding rice genotypes for rainfed upland ecosystem of Uttarakhand hills through different drought tolerance indices / J.P. Aditya, A. Bhartiya, R.S. Pal [et al.] // J. Environ. Biol. – 2022. – Vol. 43. – P. 306–316. – DOI: 10.22438/jeb/43/2/MRN-1844.*
23. *Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes / J. Anwar, G.M. Subhani, M. Hussain [et al.] // Pak. J. Bot. – 2011. – Vol. 43. – P. 1527–1530.*

## REFERENCES

1. *Yusov V.S., Sozдание i selekcionno-geneticheskaya ocenka iskhodnogo materiala yarovoj tverdoj pshenicy dlya selekcii v usloviyakh Zapadnoj Sibiri (Creation and selection-genetic evaluation of the initial material of spring hard wheat for breeding in the conditions of Western Siberia), Doctor of Agricultural Sciences dissertation, 2024, 439 p.*
2. *Krupnov V.A., Sel'skokhozyajstvennaya biologiya, 2011, No. 1, pp. 12–23. (In Russ.)*
3. *Ortiz R. K., Sayre D., Govaerts B., Gupta R. et. al., Climate change: can wheat beat the heat? Agric. Ecosys. Environ, 2008, Vol. 126, pp. 46–58, DOI: 10.1016/j.agee.2008.01.019.*
4. *Wang X., Mao Z., Zhang J., Hemat M., Huang M., Cai J., Jiang D., Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to postanthesis drought stress in winter wheat (Triticum aestivum L.), Environ. Exp, 2019, Vol. 166, pp. 103804, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103804.*
5. *Shamanin V.P., Trushchenko A.Yu., Pinkal' A.V., Pushkarev D.V., Potockaya I.V., Mor-gunov A.I., Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet), 2016, No. 3 (40), pp. 57–64. (In Russ.)*
6. *Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J. at al., Decline in climate resilience of European wheat, Proc Natl Acad Sci., USA, 2019, Vol. 116 (1), pp. 123–128, DOI: 10.1073/pnas.1804387115.*
7. *Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M., Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices, Central Asian Journal of Plant Science Innovation, 2021, Vol. 1 (4), pp. 176–179, DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01.*

8. Guellim A., Hirel B., Chabrerie O. et al., Screening for durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar resistance to drought stress using an integrated physiological approach, *J. Crop Sci. Biotechnol.*, 2020, Vol. 23, pp. 355–365, DOI: 10.1007/s12892-020-00043-8.
9. Othmani A., Sourour A., Zoubeir C. [et al.], Screening for PEG-induced drought stress tolerance in seedlings of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars, *Pakistan Journal of Botany*, 2021, Vol. 53, pp. 823–832, DOI: 10.30848/PJB2021-3 (5).
10. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyajstvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 2019, Vyp. 1, 384 p. (In Russ.).
11. Kiliç H., Tacettin Y., The Effect of Drought Stress on Grain Yield, Yield Components and Some Quality Traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) Cultivars, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2010, Vol. 38 (1), pp. 164–170, DOI: 10.15835/nbha3814274.
12. Brdar-Jokanović M., Girek Z., Pavlović S., Ugrinović M., Zdravković J., Shoot and root dry weight in drought exposed tomato populations, *Genetika*, 2014, Vol. 46 (2), pp. 495–504, DOI: 10.2298/GENSR1402495B.
13. Mirdoraghi M., Behpouri A., Bijanzadeh E., Evaluating the effects of genotype mixture and stress tolerant indices in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under drought stress, *Iran Agricultural Research*, 2022, Vol. 41 (1), pp. 83–94, DOI: 10.22099/IAR.2022.42353.1469.
14. Evdokimov M.G., Yusov V.S., *Vestnik KraSGAU*, 2024, No. 6, pp. 26–35, DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-26-35. (In Russ.).
15. Kalybekova Zh.T., Cygankov V.I., Zuev E.V., Novikova L.Yu., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2022, No. 183 (3), pp. 85–95, DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95. (In Russ.).
16. Mohamed K., Abdelghani N., Rajae K. [et al.], Drought-tolerant sesame mutant lines assessed by physiological traits and stress indices under water deficit conditions, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, Vol. 14, pp. 100842, DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100842.
17. Eberhart S.A., Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, *Corp. Sci.*, 1966, Vol. 6, No. 1, pp. 36–40.
18. Zykin V. A., Belan I.A., Yusov V.S., *Ehkologicheskaya plastichnost' sel'skokhozyajstvennykh rastenij (metodika i ocenka)* (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and assessment), Ufa, 2011, 97 p.
19. Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G., Statistical Analysis of a Yield Trial, *Agronomy Journal*, 1988, Vol. 80, pp. 388–393, DOI: 10.2134/agronj1988.0002196200800003 0002.
20. Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D., Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Interracial Common Bean Lines in Kenya, *World Journal of Agricultural Research*, 2019, Vol. 7 (3), pp. 76–87, DOI: 10.12691/wjar-7-3-1.
21. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 2 (63), pp. 19–25, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-19. (In Russ.).
22. Aditya J.P., Bhartiya A., Pal R.S., Kant L., Pattanayak A., Identification of drought tolerant, high yielding rice genotypes for rainfed upland ecosystem of Uttarakhand hills through different drought tolerance indices, *J. Environ. Biol.*, 2022, Vol. 43, pp. 306–316, DOI: 10.22438/jeb/43/2/MRN-1844.
23. Anwar J., Subhani G.M., Hussain M., Ahmad J., Hussain M., Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes, *Pak. J. Bot.*, 2011, Vol. 43, pp. 1527–1530.

#### Информация об авторах:

*В.С. Юсов*, доктор сельскохозяйственных наук

*М.Г. Евдокимов*, доктор сельскохозяйственных наук

#### Contribution of the authors:

*V.S. Yusov*, Doctor of Agricultural Sciences

*M.G. Evdokimov*, Doctor of Agricultural Sciences

#### Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.