

ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ АДАПТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

К.К. Мусинов, младший научный сотрудник;

И.Е. Лихенко, доктор сельскохозяйственных наук

А.С. Сурначёв, младший научный сотрудник

Сибирский научно-исследовательский институт
растениеводства и селекции – филиал Института

цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл, Россия

E-mail: musinov29@gmail.com

Ключевые слова: пшеница мягкая озимая,
сорт, продуктивность, адаптивность,
пластичность, стрессоустойчивость

Реферат. Один из основных способов получения стабильно высоких урожаев в сибирских условиях — это использование адаптивных сортов. В решении данной проблемы основную роль играет селекция. Успехи в селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам зависят от правильного выбора исходных родительских форм для скрещивания. Цель исследования – оценка сортов и перспективных селекционных линий пшеницы мягкой озимой различного эколого-географического происхождения по параметрам продуктивности и адаптивного потенциала. Представлены результаты изучения 68 сортов и селекционных линий озимой мягкой пшеницы. Исследования проводили на опытном поле Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала Института цитологии и генетики СО РАН. Самые благоприятные условия для формирования урожая озимой пшеницы сложились в 2021 г. ($I_j = 125,1$). Наименее благоприятными были условия в 2020 г. ($I_j = -171,2$). Самыми зимостойкими сортами оказались Скипетр, Новосибирская 32, Памяти Чекурова, Омская 6. Высокую пластичность показал сорт Волжская ($bi = 1,49$), но он не был стабильным по годам. Самыми стабильными сортами среди высокопродуктивных образцов оказались Новосибирская 32 ($\delta d^2 = 13,75$), Лютеценс 261-3 ($\delta d^2 = 16,86$), Памяти Чекурова ($\delta d^2 = 13,95$), Жемчужина Поволжья ($\delta d^2 = 10,33$), Волжская 22 ($\delta d^2 = 22,70$). Генотипы, совмещающие в себе высокие показатели пластичности и стабильности, – Лютеценс 261-3 ($bi = 1,26$; $\delta d^2 = 16,86$) и Волжская 22 ($bi = 1,97$; $\delta d^2 = 22,70$). Образцы Памяти Чекурова, Скипетр, Омская 6 и Чех 16 выделились по ряду показателей: по стрессоустойчивости – $Y_{min} - Y_{max} = -51,9 \div -282,5$; по показателю генетической гибкости – $(Y_{max} + Y_{min})/2 = 568,8 \div 651,8$; по вариабельности урожайности – $V = 4,6 \div 26,4\%$; по гомеостатичности – $Нот = 8,13 \div 94,88$; по селекционной ценности – $Sc = 391,3 \div 521,5$. Данные образцы представляют интерес в селекции озимой мягкой пшеницы на повышение адаптивности.

THE STUDY OF THE INITIAL MATERIAL OF WINTER SOFT WHEAT ON THE INDICATORS OF ADAPTABILITY, PLASTICITY AND STABILITY IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE OF THE NOVOSIBIRSK REGION

K.K. Musinov, Junior researcher

I.E. Likhenko, Doctor of Agricultural Sciences

A.S. Surnachev, Junior researcher

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – a branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, b. pos. Krasnoobsk, Russia

Keywords: soft winter wheat, variety, productivity, adaptability, plasticity, stress resistance.

Abstract. *One of the main ways to obtain consistently high yields in Siberian conditions is the use of adaptive varieties. Selection plays a key role in solving this problem. Success in breeding for resistance to biotic and abiotic stresses depends on the correct choice of initial parental forms for crossing. The purpose of the study is to evaluate varieties and promising breeding lines of soft winter wheat of various ecological and geographical origin in terms of productivity and adaptive potential. The results of the study of 68 varieties and breeding lines of winter soft wheat are presented. The studies were carried out on the experimental field of the Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding, a branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The most favorable conditions for the formation of the winter wheat crop were formed in 2021 ($I_j=125.1$). The least favorable conditions developed in 2020 ($I_j=-171.2$). The most winter-hardy varieties were Scepter, Novosibirskaya 32, Pamyati Chekurova, Omskaya 6. The Volzhskaya variety showed high plasticity ($bi=1.49$), but was not stable over the years. The most stable varieties among highly productive samples were Novosibirskaya 32 ($\delta d^2 = 13.75$), Lutescens 261-3 ($\delta d^2 = 16.86$), Pamyati Chekurova ($\delta d^2 = 13.95$), Zhemchuzhina Povolzh'ya ($\delta d^2 = 10.33$), Volzhskaya 22 ($\delta d^2 = 22.70$). Genotypes combining high rates of plasticity and stability Lutescens 261-3 ($bi=1.26$; $\delta d^2= 16.86$) and Volzhskaya 22 ($bi=1.97$; $\delta d^2 = 22.70$). Samples of Pamyati Chekurova, Scepter, Omskaya 6 and Chekh 16 stood out for a number of indicators: in terms of stress resistance $Y_{min} - Y_{max} = -51.9 \div -282.5$; in terms of genetic flexibility $(Y_{max}+Y_{min})/2 = 568.8 \div 651.8$; by yield variability $V = 4.6 \div 26.4\%$; according to homeostasis $Hom = 8.13 \div 94.88$; by breeding value $Sc = 391.3 \div 521.5$. These samples are of interest in the selection of winter soft wheat to improve adaptability.*

This work was supported by IC&G budget project № FWNR-2022-0018

Озимая пшеница является одним из резервов повышения производства зерна в Западной Сибири. Увеличение площади озимого клина в регионе сдерживается сложными агрометеорологическими условиями Сибирского региона и недостаточной адаптированностью высеваемых сортов озимой пшеницы к местным климатическим условиям [1]. Западная Сибирь является территорией с достаточно суровым континентальным климатом и неустойчивыми погодными условиями по годам, что обуславливает значи-

тельную зависимость производства зерна от погодных условий года.

Урожайность зерновых культур в значительной мере определяется потенциалом возделываемых сортов. Сорт называют одним из ключевых факторов стабильной урожайности по годам [2, 3]. Принято считать, что на урожайность и качество зерна пшеницы оказывают влияние генотип, окружающая среда, агротехника и взаимодействие всех этих факторов [3–5].

По мнению В.К. Кочетова, сорт является динамичным биологическим фактором, ко-

торый обладает способностью реализовать генетический потенциал продуктивности при различном сочетании факторов внешней среды [6].

Взаимодействие «генотип–среда» есть главный фактор, который определяет потенциал продуктивности культуры в конкретных агроэкологических условиях. По утверждению ученых, из-за недостаточной приспособленности современных сортов к стрессам в сельскохозяйственном производстве реализуется только 25–40 % их генетически заложенной потенциальной продуктивности [7–10].

Один из основных способов получения стабильно высоких урожаев вне зависимости от погодных условий — это подбор адаптивных сортов [11, 12]. Внедрение в сельскохозяйственное производство сортов, обладающих высоким адаптивным потенциалом, стабилизирует сбор зерна в различные по метеоусловиям годы. Адаптивный сорт при правильной агротехнике способен нивелировать влияние негативных абиотических факторов [13].

В решении данной проблемы основную роль играет селекция. Одной из основных задач современной селекции является создание экологически пластичных и стабильных сортов, которые могут реализовать свою потенциальную урожайность при различных агроэкологических условиях. Поэтому актуальным направлением селекции остается повышение урожайности в сочетании с устойчивостью к неблагоприятным факторам [14].

Успехи в селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам зависят от правильного выбора исходных родительских форм для скрещивания. Для этого необходимо тщательное изучение исходного и селекционного материала различного эколого-географического происхождения. Н.И. Вавилов

указывал на важность использования разных экотипов пшеницы в селекции [15].

Оценка коллекционных образцов по показателям пластичности и стабильности позволяет получить необходимую достоверную информацию для последующего отбора ценного исходного материала и применения его в селекционной работе [16].

Цель исследования – оценка сортов и перспективных селекционных линий пшеницы мягкой озимой различного эколого-географического происхождения по параметрам продуктивности и адаптивного потенциала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2018–2021 гг. на опытном поле Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирская обл., пос. Краснообск) в условиях лесостепной зоны Приобья. Материалом для исследования послужили 68 сортов и перспективных селекционных линий пшеницы мягкой озимой различного эколого-географического происхождения. Стандартом являлся сорт Новосибирская 40. Образцы были получены из коллекций ВИР, СИММИТ и собственной рабочей коллекции. Посев проводили по паровому предшественнику сеялкой ССФК-7 на делянках с учетной площадью 2 м² в двух повторениях. Норма высева – 6,0 млн всхожих семян на 1 га, срок посева – 25–27 августа. Агротехника возделывания – общепринятая для данной зоны.

Почвенный покров опытного поля представлен черноземом выщелоченным средне-мощным малогумусным среднесуглинистым.

Погодные условия в годы исследований имели значительные различия по оказанному

влиянию на потенциальную продуктивность пшеницы мягкой озимой.

Прекращение осенней вегетации приходилось на первую и вторую декаду октября: самый ранний срок в 2018 г. – 14 октября, самый поздний – 28 октября. Снежный покров устанавливается в конце октября (31 октября 2018 г. – ранний срок) или в первой и второй декадах ноября (12 ноября 2020 г. – поздний срок) и достигал в марте 50–70 см. Температура на глубине узла кущения (ГУК) в 2018–2019 гг. не опускалась ниже -2°C , в 2019–2020 г. ниже $-10,4^{\circ}\text{C}$ и в 2020–2021 гг. ниже -5°C . В весенне-летний период температурный и водный режимы в 2019 и 2021 гг. были более благоприятны (ГТК 1,0 и 1,1 соответственно), чем в 2020 г. (ГТК 0,7), когда наблюдался небольшой дефицит осадков.

Полевые опыты, учеты и наблюдения проводили в соответствии с действующими методическими рекомендациями [17]. Статистические и математические обработки экспериментальных данных произведены по алгоритмам Б.А. Доспехова с применением компьютерных программ Microsoft Office Excel и SNEDECOR [18].

Расчет индекса условий среды (I_j) основан на средней урожайности сортов по методике Л.А. Животкова с соавторами [19]. Для характеристики адаптивных свойств изучаемых образцов озимой пшеницы был рассчитан ряд статистических показателей, который используется для оценки и сравнения различных генотипов. За основу расчета показателей экологической стабильности и пластичности использовалась методика S.A. Eberhart, W.A. Russel в изложении В.А. Зыкина [20], основанная на определении коэффициента линейной регрессии (b_i) и среднего

квадратичного отклонения от линии регрессии (σ_{dr}^2). Коэффициент линейной регрессии характеризует экологическую пластичность сорта, которая показывает возможности приспособления сорта к определенному диапазону изменения факторов среды. Среднее квадратичное отклонение от линии регрессии показывает потенциал генотипа к проявлению стабильности в различных условиях среды [21]. Уровень устойчивости к стрессам ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и среднюю урожайность в контрастных условиях среды – генетическую гибкость сорта $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$ определяли по уравнениям А. А. Rossille, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко. Для подсчета гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности генотипов (Sc) использовались методики В.В. Хангильдина [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование урожайности является сложным многоступенчатым процессом, который находится под воздействием целого комплекса внешних факторов. Одним из важнейших факторов для озимой пшеницы является зимостойкость. Сложные условия осенне-зимнего периода – один из основных факторов снижения урожайности озимой пшеницы. По данным зимостойкости изучаемых генотипов, приведенным в табл. 1, наиболее неблагоприятные условия сложились в зимний период 2019/20 г., уровень зимостойкости сортов в среднем по опыту составил 2,7 балла. В более благоприятные годы (2018/19, 2020/21) уровень зимостойкости в среднем по опыту составил 4,1 балла.

Таблица 1

Зимостойкость и урожайность высокопродуктивных образцов озимой пшеницы 2019–2021 гг.
Winter hardiness and yield of highly productive samples of winter wheat 2019–2021

Сорт, линия	Происхождение	Зимостойкость, баллов				Урожайность, г/м ²			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя
Новосибирская 40	Новосибирск	4,7	3,5	5,0	4,4	466,7	326,3	665,0	486,0
Новосибирская 32		5,0	4,0	5,0	4,7	509,5	336,8	624,3	490,2
Краснообская озимая		5,0	3,5	5,0	4,5	509,5	315,8	647,0	490,8
Лютесценс 261-3		5,0	2,5	5,0	4,2	581,0	273,7	634,8	496,5
Краснообская 27		4,5	3,5	5,0	4,3	485,7	347,4	649,0	494,0
Памяти Чекурова		5,0	4,5	4,5	4,7	542,9	594,7	576,5	571,4
Бийская озимая	Омск	4,0	4,0	5,0	4,3	500,0	352,6	638,5	497,0
Омская 6		5,0	4,0	5,0	4,7	533,3	489,5	664,5	562,4
Волжская	Ульяновск	5,0	3,0	5,0	4,3	614,3	221,1	635,8	490,4
Волжская 22		4,0	2,5	4,5	3,7	552,4	163,2	760,5	492,0
Жемчужина Поволжья	Саратов	4,5	3,0	4,5	4,0	504,8	347,4	607,0	486,4
Скипетр	Московская область	5,0	4,5	5,0	4,8	519,1	510,5	793,0	607,5
Короганка	Белгород	4,0	4,5	4,0	4,2	376,2	626,3	694,3	565,6
Протон	Краснодар	4,0	3,0	5,0	4,0	764,8	394,7	684,3	614,6
Дока		4,5	4,5	1,5	3,5	504,8	673,7	298,3	492,2
Чех 16	Чехия	4,0	4,5	5,0	4,5	542,9	552,6	653,8	583,1
В среднем по опыту		4,1	2,7	4,1	3,6	440,9	223,5	519,8	394,7
НСР _{0,5}		0,7	0,8	0,7		94,8	148,0	144,7	

За годы исследований лучшую зимостойкость показали образцы Скипетр, Новосибирская 32, Памяти Чекурова, Омская 6.

Урожайность изучаемых генотипов в среднем значительно колебалась по годам – от 223,5 до 519,8 г/м². Самым неблагоприятным оказался 2019/20 г. Наибольшая урожайность в среднем по опыту отмечена в 2020/21 г. Самыми урожайными за 3 года оказались сорта Протон и Скипетр (614,6 и 607,5 г/м² соответственно).

По данным двухфакторного дисперсионного анализа удалось выявить достоверность различий и высокую степень влияния условий года (А) и генотипа (В) на величину урожайности изучаемых образцов (табл. 2). Наиболее значительное влияние при формировании урожайности оказывают условия года (фактор А), доля влияния – 39,1 %. Доля влияния фактора В – сорт была немного ниже и составила 31,9 %. На взаимодействие факторов А и В приходится 23,5 %.

Таблица 2

Результат двухфакторного дисперсионного анализа урожайности озимой пшеницы
The result of a two-way analysis of variance in the yield of winter wheat

Дисперсия	Доля влияния фактора, %	Степень свободы	Средний квадрат	F _ф	F _{0,5}
Общая	100	407	40242,8		
Фактор А (год)	39,1	2	3201960,7	716,0	3,09
Фактор В (сорт)	31,9	67	77918,5	17,4	1,39
Взаимодействие АВ	23,5	134	28672,0	6,4	1,39
Случайные отклонения	5,5	204	4472,2		

По результатам дисперсионного анализа можно предположить, что повышение продуктивности озимой пшеницы возможно при использовании наиболее адаптивных сортов.

Для определения адаптивной способности сортов в различных условиях произрастания существует много методов. Одной из самых распространенных является методика S.A. Eberhart и W.A. Russel. В основе ее лежит расчет двух показателей: коэффициента линейной регрессии (b_i) и дисперсии (δd^2).

Коэффициент линейной регрессии показывает отзывчивость генотипа на изменения условий выращивания – экологическую пластичность. Дисперсия указывает на стабильность сорта в изменяющихся условиях – коэффициент стабильности.

Исходя из индекса условий среды (I_j) (табл. 3), самые благоприятные условия для формирования урожая озимой пшеницы сложились в 2021 г. ($I_j = 125,1$), наименее благоприятные в 2020 г. ($I_j = -171,2$).

Таблица 3

Сорта и линии пшеницы мягкой озимой выделившиеся по урожайности и их параметры экологической пластичности и стабильности (2019–2021 гг.).

Varieties and lines of soft winter wheat distinguished by yield and their parameters of ecological plasticity and stability in 2019-2021

Сорт, линия	Урожайность по годам, г/м ²			ΣY_i	Y_i	b_i	δd^2
	2019	2020	2021				
Новосибирская 40	466,7	326,3	665,0	1457,98	485,99	1,04	110,16
Новосибирская 32	509,5	336,8	624,3	1470,62	490,21	0,93	13,75
Краснообская озимая	509,5	315,8	647,0	1472,31	490,77	1,07	22,89
Лютесценс 261-3	581,0	273,7	634,8	1489,39	496,46	1,26	16,86
Краснообская 27	485,7	347,4	649,0	1482,08	494,03	0,94	64,84
Памяти Чекурова	542,9	594,7	576,5	1714,09	571,36	-0,10	13,95
Дока	504,8	673,7	298,3	1476,7	492,23	-1,16	106,92
Омская 6	533,3	489,5	664,5	1687,31	562,44	0,51	67,34
Бийская озимая	500,0	352,6	638,5	1491,13	497,04	0,9	36,66
Волжская	614,3	221,1	635,8	1471,09	490,36	1,49	74,46
Волжская 22	552,4	163,2	760,5	1476,04	492,01	1,97	22,70
Жемчужина Поволжья	504,8	347,4	607,0	1459,13	486,38	0,84	10,33
Скипетр	519,1	510,5	793,0	1822,57	607,52	0,76	371,92
Короганка	376,2	626,32	694,3	1696,76	565,59	-0,06	847,20
Протон	764,8	394,7	684,3	1843,77	614,59	1,13	233,87
Чех 16	542,9	552,6	653,8	1749,24	583,08	0,26	66,39
ΣY_j	29980,6	15196,4	35344,3	80521,3			
Y_j	440,9	223,5	519,8		394,7		
Индекс среды, I_j	+46,2	-171,2	+125,1				
$HCP_{0,5}$	94,8	148,0	144,7				

Разные по погодным условиям годы исследований дали возможность более точно провести оценку коллекционного материала по показателям адаптивного потенциала.

Чем выше показатель коэффициента линейной регрессии, тем большей отзывчивостью на изменения условий выращивания обладает генотип. Такие сорта относятся к

интенсивному типу и требовательны к высокому уровню агротехники, только в этом случае их отдача будет максимальной [24]. Среди изучаемых высокоурожайных образцов к наиболее отзывчивым следует отнести Волжскую 22 ($b_i = 1,97$), Волжскую ($b_i = 1,49$) и Лютесценс 261-3 ($b_i = 1,26$). В том случае, если коэффициент линейной регрессии бли-

зок к 1, сорт считается пластичным. Для подобных генотипов характерно полное соответствие изменения урожайности сорта изменению условий выращивания. В нашем случае к таким образцам можно отнести сорта Новосибирская 40 ($b_i = 1,04$), Новосибирская 32 ($b_i = 0,93$), Краснообская озимая ($b_i = 1,07$), Краснообская 27 ($b_i = 0,94$).

Стабильность (δd^2) – адаптивная реакция генотипа, характеризующая степень его устойчивости. Чем меньше отклонение коэффициента стабильности от нуля, тем стабильнее сорт. В нашем опыте самыми стабильными сортами среди высокопродуктивных образцов являются Новосибирская 32 ($\delta d^2 = 13,75$), Лютесценс 261-3 ($\delta d^2 = 16,86$), Памяти Чекурова ($\delta d^2 = 13,95$), Жемчужина Поволжья ($\delta d^2 = 10,33$), Волжская 22 ($\delta d^2 = 22,70$).

Исходя из классической интерпретации показателей стабильности и пластичности,

наиболее ценными считаются образцы, у которых $b_i > 1$, а δd^2 стремится к 0. Такие сорта положительно реагируют на улучшение условий выращивания и обладают стабильностью урожая по годам. Среди изучаемых сортов к таким относятся только Лютесценс 261-3 ($b_i = 1,26$; $\delta d^2 = 16,86$) и Волжская 22 ($b_i = 1,97$; $\delta d^2 = 22,70$).

Важным показателем для оценки потенциала адаптивности и пластичности является устойчивость к стрессу. Стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$) всегда имеет отрицательное значение, чем меньше разрыв между максимальной урожайностью и минимальной, тем стрессоустойчивость выше и тем выше диапазон приспособляемости генотипа. Наибольшим показателем стрессоустойчивости из выделенных образцов озимой пшеницы обладали сорта Памяти Чекурова ($Y_{\min} - Y_{\max} = -51,9$), Омская 6 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -175,0$), Чех 16 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -110,9$) (табл. 4).

Таблица 4

Параметры адаптивности сортов и линий пшеницы мягкой озимой, выделенных по урожайности (2019–2021 гг.)

Parameters of adaptability of soft winter wheat varieties and lines distinguished by yield, 2019-2021

Сорт, линия	Урожайность, г/м ²		Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	Коэффициент вариации (V), %	Hom	Sc
	$Y_{\min}$	$Y_{\max}$					
Новосибирская 40	326,3	665,0	-338,7	495,7	35,0	4,10	238,5
Новосибирская 32	336,8	624,3	-287,4	480,6	29,5	5,78	264,5
Краснообская озимая	315,8	647,0	-331,2	481,4	33,9	4,37	239,5
Лютесценс 261-3	273,7	634,8	-361,1	454,2	39,2	3,50	214,1
Краснообская 27	347,4	649,0	-301,6	498,2	30,6	5,36	264,4
Памяти Чекурова	542,9	594,7	-51,9	568,8	4,6	94,88	521,5
Дока	298,3	673,7	-375,4	486,0	38,2	3,43	217,9
Омская 6	489,5	664,5	-175,0	577,0	16,2	19,85	414,3
Бийская озимая	352,6	638,5	-285,9	495,6	28,8	6,04	274,5
Волжская	221,1	635,8	-414,7	428,4	47,6	2,48	170,5
Волжская 22	163,2	760,5	-597,3	461,8	61,6	1,34	105,6
Жемчужина Поволжья	347,4	607,0	-259,6	477,2	26,9	6,97	278,3
Скипетр	510,5	793,0	-282,5	651,8	26,4	8,13	391,1
Короганка	376,2	694,3	-318,1	535,2	29,6	6,01	306,5
Протон	394,7	764,8	-370,1	579,8	31,7	5,25	317,2
Чех 16	542,9	653,8	-110,9	598,3	10,5	49,93	484,2

Генетическая гибкость сорта $((Y_{\max} + Y_{\min})/2)$ характеризуется средней урожайностью сорта в контрастных условиях. Высокая степень соответствия между генотипом сорта и климатическими условиями среды подтверждается высокими значениями данного показателя. Из изучаемых образцов высокие показатели средней урожайности в контрастных условиях показали сорта Омская 6, Скипетр, Протон, Памяти Чекурова, Чех 16 $((Y_{\max} + Y_{\min})/2 = 577,0; 651,8; 579,8; 568,8; 598,3 \text{ г/м}^2 \text{ соответственно})$, что характеризует их как генетически гибкие генотипы и указывает на высокую степень их соответствия климатическим факторам среды.

Простым и доступным показателем для оценки потенциальной онтогенетической адаптации является коэффициент вариации (V). Коэффициенты вариации урожайности, рассчитанные по каждому сорту за три года, указывают на фенотипическую изменчивость признака, обусловленную экологическими факторами [25]. По данным наших расчетов с использованием шкалы Б.А. Доспехова [18], высокоурожайные образцы распределились следующим образом: незначительная вариабельность – Памяти Чекурова ($V = 4,6$); средняя вариабельность – Омская 6 ($V = 16,2$) и Чех 16 ($V = 10,5$); значительная вариабельность – все остальные.

Гомеостатичность – это стабильность при изменении условий среды. Этот показатель прямо пропорционален урожайности образца и обратно пропорционален ее разбросу в разных условиях [26]. Таким образом, чем выше числовое выражение этого показателя, тем более гомеостатичен образец, т. е. имеет большую стабильность при выращивании в различных условиях среды. Связь гомеостатичности (Hom) с коэффициентом вариации (V) характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды. По этим двум параметрам лучшими показателями стабильности обладают образцы Памяти Чекурова, Омская 6 и Чех 16.

Селекционная ценность как параметр основывается на соотношении урожайности конкретного образца в лимитирующих и оп-

тимальных условиях, умноженном на среднюю урожайность по пунктам испытания [24]. Высокими показателями селекционной ценности (Sc) характеризовались образцы озимой мягкой пшеницы Памяти Чекурова ($Sc = 521,5$), Омская 6 ($Sc = 414,3$), Скипетр ($Sc = 391,1$), Чех 16 ($Sc = 484,2$).

ВЫВОДЫ

1. Контрастные погодные условия в годы исследований позволили оценить коллекционный материал озимой мягкой пшеницы по показателям адаптивного потенциала. Самые благоприятные условия для формирования урожая озимой пшеницы сложились в 2021 г. ($I_j = 125,1$), наименее благоприятные в 2020 г. ($I_j = -171,2$). Наиболее зимостойкими сортами оказались Скипетр, Новосибирская 32, Памяти Чекурова, Омская 6.

2. Образцы Лютесценс 261-3 ($b_i = 1,26$; $\delta d^2 = 16,86$) и Волжская 22 ($b_i = 1,97$; $\delta d^2 = 22,70$) среди выделившихся по урожайности коллекционных образцов проявили себя как наиболее отзывчивые на изменения факторов среды и в то же время показали высокую стабильность. Данные генотипы могут быть использованы в селекции по созданию сортов интенсивного типа. Сорт Волжская ($b_i = 1,49$) показал хорошую пластичность, но не был стабильным по годам.

3. Сорта местной селекции Новосибирская 40, Новосибирская 32, Краснообская озимая, Краснообская 27 имели коэффициент линейной регрессии $b_i = 0,93-1,07$, это подразумевает, что их урожайность соответствует условиям выращивания. Такие сорта относятся к сортам полунинтенсивного типа и могут быть использованы в селекционной работе.

4. В нашем опыте самыми стабильными сортами среди высокопродуктивных образцов оказались Новосибирская 32 ($\delta d^2 = 13,75$), Лютесценс 261-3 ($\delta d^2 = 16,86$), Памяти Чекурова ($\delta d^2 = 13,95$), Жемчужина Поволжья ($\delta d^2 = 10,33$), Волжская 22 ($\delta d^2 = 22,70$).

5. Образцы Памяти Чекурова, Скипетр, Омская 6 и Чех 16 выделились по ряду показателей: по стрессоустойчивости – $Y_{\min} - Y_{\max}$

= $-51,9 \div -282,5$; по показателю генетической гибкости – $(Y_{\max} + Y_{\min})/2 = 568,8 \div 651,8$; по вариабельности урожайности – $V = 4,6 \div 26,4\%$; по гомеостатичности – $Hom = 8,13 \div 94,88$; по селекционной ценности – $Sc = 391,3 \div 521,5$.

Данные образцы представляют интерес в селекции озимой мягкой пшенице на повышение адаптивности.

Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торбина И.В., Фардеева И.Р. Адаптивность коллекционных образцов озимой пшеницы к условиям Среднего Предуралья // Вестник Казанского ГАУ. – 2021. – № 2(62). – С. 43–48. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-43-48.
2. Малокостова Е.И. Результаты изучения экологической адаптивности и стабильности сортов яровой твердой пшеницы в условиях юго-востока ЦЧЗ // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2019. – № 4(48). – С. 66–69. – DOI: 10.18286/1816-4501-2019-4-66-69.
3. Мамеев В.В., Никифоров В.М. Оценка урожайности, адаптивности, экологической стабильности и пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Брянской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 7. – С. 125–129.
4. *Understanding effects of genotype $\times$ environment $\times$ sowing window interactions for durum wheat in the Mediterranean basin* / G. Padovan, P. Martre, M.A. Semenov [et al.] // Field Crops Research. – 2020. – Vol. 259. – P. 1–15. – DOI:10.1016/j.fcr.2020.107969.
5. *Planting time effect on wheat phenology and yield traits through genotype by environment interaction* / H.A. Naq, N.U. Khan, H. Rahman [et al.] // Journal of Animal and Plant Sciences. – 2017. – Vol. 27. – P. 882–893.
6. Кочетов В.К. Сорт озимой пшеницы – основной фактор увеличения продуктивности и получения зерна и муки заданного качества // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №75. – С. 1025–1036.
7. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 5. – С. 617–626. – DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
8. Оценка адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы в лесостепных условиях Среднего Поволжья / ЕА. Демина, А.И. Кинчаров, Т.Ю. Таранова, К.Ю. Чекмасова // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 11 (214). – С. 8–19. – DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19.
9. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы): теория и практика. – М.: Агрорус, 2008. – Т. 1. – 814 с.
10. Оценка экологической пластичности перспективных линий питомника КАСИБ-20 по урожайности и качеству зерна / О.Г. Кузьмин, А.С. Чурсин, Ю.С. Краснова [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1(41). – С. 28–36. – DOI 10.48136/2222-0364_2021_1_28.
11. *Ecological plasticity of spring wheat varieties in the Krasnoyarsk region* / V.V. Keler [et al.] // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2021. – 677 042113. – DOI:10.1088/1755-1315/677/4/042113.
12. *The assessment of winter wheat agrocenoses adaptivity in the conditions of the submontane zone of the Central Caucasus* / I.R. Manukyan, E.S. Miroshnikova, V.I. Gasiev [et al.] // Plant Science Today. – 2020. – Vol. 7(4). – P. 623–626. – DOI: 10.14719/pst.2020.7.4.925.
13. Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – Vol. 23(1). – P. 110–118. – DOI 10.18699/VJ19.469 (in Russian).
14. Оценка сибирских форм озимой пшеницы по урожайности и параметрам адаптивности / К.К. Мусинов, Г.В. Артемова, П.И. Степочкин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 10. – С. 11–16. – DOI 10.53859/02352451_2021_35_10_11.
15. Вавилов Н.И. Теоретические основы селекции. – М.: Наука, 1987. – 512 с.
16. Урожайность и параметры адаптивности новых сортов озимой мягкой пшеницы по предшественникам горох и подсолнечник / И.А. Рыбась, А.В. Гуреева, Д.М. Марченко [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 5 (159). – С. 58–62.

17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Госагропром СССР, 1989. – 162 с.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
19. Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.
20. Зыкин В.А. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. – Уфа, 2005. – 100 с.
21. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья / П.Н. Николаев, Н.И. Аниськов, О.А. Юсова, И.В. Сафонова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – Т. 179, № 4. – С. 28–38. – DOI 10.30901/2227-8834-2019-28-38.
22. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
23. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционного-генетического института. – 1981. – Вып. 1 (39). – С. 8–14.
24. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // American Journal of Plant Sciences. – 2020. – Vol. 11, N 1. – P. 1–10. – DOI:10.4236/ajps.2020.111001.
25. Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчёта адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 3. – С. 140–146. – DOI 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
26. Коробова Н.А., Козлов А.А., Пучкова Е.В. Адаптивный потенциал сортов зернового гороха // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (65). – С. 41–44.

REFERENCES

1. Torbina I.V., Fardeeva I.R., *Vestnik Kazanskogo GAU*, 2021, No. 2(62), pp. 43–48, DOI 10.12737/2073-0462-2021-43-48. (in Russ.)
2. Malokostova E.I., *Vestnik Ul'yanovskoi GSKhA*, 2019, No. 4 (48), pp. 66–69, DOI: 10.18286/1816-4501-2019-4-66-69. (in Russ.)
3. Mameev V.V., Nikiforov V.M., *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2015, No. 7, pp. 125–129. (in Russ.)
4. Padovan G., Martre P., Semenov M.A. [et al.], Understanding effects of genotype × environment × sowing window interactions for durum wheat in the Mediterranean basin, *Field Crops Research*, 2020, Vol. 259, pp. 1–15, DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107969.
5. Haq H.A., Khan N.U., Rahman H. [et al.], Planting time effect on wheat phenology and yield traits through genotype by environment interaction, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2017, Vol. 27, pp. 882–893.
6. Kochetov V.K., *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2012, No. 75, pp. 1025–1036. (in Russ.)
7. Rybas' I.A., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2016, T. 51, No. 5, pp. 617–626, DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus. (in Russ.)
8. Demina E.A., Kincharov A.I., Taranova T.Yu., Chekmasova K.Yu., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2021, No. 11 (214), pp. 8–19, DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19. (in Russ.)
9. Zhuchenko A.A. *Adaptivnoe rastenievodstvo (ekologo-geneticheskie osnovy): teoriya i praktika* (Adaptive crop production (ecological and genetic foundations): theory and practice), Moscow: Agrorus, 2008, T. 1, 814 p.
10. Kuz'min O.G., Chursin A.S., Krasnova Yu.S., Karakoz I.I., Shamanin V.P., *Vestnik OmGAU*, 2021, No. 1 (41), pp. 28–36, DOI 10.48136/2222-0364_2021_1_28. (in Russ.)
11. Keler V.V. [et al.], Ecological plasticity of spring wheat varieties in the Krasnoyarsk region, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, 677 042113, DOI:10.1088/1755-1315/677/4/042113.

12. Manukyan I.R., Miroshnikova E.S., Gasiev V.I., Abieva T.S., Machneva N.L., Skamarokhova A.S., Yurin D.A., The assessment of winter wheat agrocenoses adaptivity in the conditions of the submontane zone of the Central Caucasus, *Plant Science Today*, 2020, Vol. 7 (4), pp. 623–626, DOI: 10.14719/pst.2020.7.4.925.
13. Gudzenko V.N., *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*, 2019, No. 23(1), pp. 110–118, DOI 10.18699/VJ19.469. (in Russ.)
14. Musinov K.K., Artemova G.V., Stepochkin P.I., Likhenko I.E., Surnachev A.S., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, T. 35, No. 10, pp. 11–16, DOI 10.53859/02352451_2021_35_10_11. (in Russ.)
15. Vavilov N.I., *Teoreticheskie osnovy seleksii* (Theoretical foundations of selection), Moscow: Nauka, 1987, 512 p.
16. Rybas' I.A., Gureeva A.V., Marchenko D.M., Grichanikova T.A., Romanyukina I.V., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2017, No. 5 (159), pp. 58–62. (in Russ.)
17. *Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* (Methodology of the State variety testing of agricultural crops), Moscow: Gosagroprom SSSR, 1989, 162 p.
18. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methodology of field experience), Moscow: Agropromizdat, 1985, 365 p.
19. Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I., *Seleksiya i semenovodstvo*, 1994, No. 2, pp. 3–6. (in Russ.)
20. Zykin V.A., *Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii* (Methodology for calculating and evaluating the parameters of ecological plasticity of agricultural plants), Ufa, 2005, 100 p.
21. Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V., *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*, 2018, T. 179, No. 4, pp. 28–38, DOI 10.30901/2227-8834-2019-28-38. (in Russ.)
22. Goncharenko A.A., *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2005, No. 6, pp. 49–53. (in Russ.)
23. Khangil'din V.V., Litvinenko N.A., *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vsesoyuznogo selektsionnogo-geneticheskogo instituta*, 1981, No. 1 (39), pp. 8–14. (in Russ.)
24. Balcha A., Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.), *American Journal of Plant Sciences*, 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 1–10, DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
25. Volkova, L.V., Shchennikova I.N., *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2020, No. 3, pp. 140–146, DOI 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146. (in Russ.)
26. Korobova N.A., Kozlov A.A., Puchkova E.V., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, No. 3 (65), pp. 41–44. (in Russ.)