

Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа

И. Р. Манукян[✉]

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Владикавказского научного центра Российской академии наук, п. Михайловское, Республика Северная Осетия-Алания, Россия

[✉]E-mail: miririna.61@mail.ru

Аннотация. Цель данного исследования заключается в оценке потенциала изучаемых сортов озимой пшеницы по таким параметрам, как продуктивность, экологическая пластичность и устойчивость. Для селекционной работы, направленной на получение сортов с заданными параметрами хозяйственно ценных признаков, требуется соответствующий генетический материал. Генетическое разнообразие селекционного материала, наличие ценных признаков, отвечающих потребностям современного сельскохозяйственного производства, — необходимое условие успешной селекционной работы. Сортообразцы озимой пшеницы были получены из генетической коллекции ВИР им. Вавилова для экологического испытания в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа. Главными параметрами селекционной оценки являлись продуктивность, устойчивость к основным вредоносным заболеваниям и почвенно-климатическим особенностям региона. **Методы.** Проводили оценку на адаптивность и экологическую пластичность различными методами расчета: коэффициент регрессии (B_i), коэффициент гомеостатичности по Хангильдину (Ном), коэффициент адаптивности по Животкову (КА), коэффициент вариации (CV), индекс засухоустойчивости (MSTI), индекс продуктивности растений (ИПР). **Научная новизна.** В результате проведенных исследований были отобраны и вовлечены в селекционный процесс образцы озимой мягкой пшеницы, которые характеризуются высокой и стабильной урожайностью, а также устойчивостью к стрессовым факторам, характерным для региона выращивания. **Результаты.** Сорта Torrild, Kobra, Mereke 70 характеризовались комплексом хозяйственно ценных признаков, так как набрали наименьшую сумму рангов. Данные сорта обладают устойчивостью к варьирующим условиям выращивания, способны формировать высокую продуктивность в различных погодных условиях. Их можно использовать в селекционной практике в качестве доноров полезных признаков для получения адаптированных к условиям региона сортов озимой пшеницы со стабильной продуктивностью. К сортам, отличающимся стабильностью по показателям продуктивности (гомеостатичным), относятся сортообразцы Anara, Farabi, Mereke 70, Ak bidajj, Дон 107. С максимальным проявлением признака засухоустойчивости (MSTI) выделены сорта Torrild, Zhadira, Mereke 70, Ak bidajj, Kobra. По индексу ИПР отличились сорта Torrild и Kobra. Высокой урожайностью и гомеостатичностью (Ном) отличились образцы Torrild, Mereke 70, Ak bidajj, Zhadira, Kobra. Они хорошо отзываются на улучшение условий среды и имеют относительно стабильные показатели урожайности. Эти сорта перспективно использовать в селекции на адаптивность для почвенно-климатических условий предгорной зоны Центрального Кавказа.

Ключевые слова: пшеница озимая мягкая, болезни, хозяйственно полезные свойства, пластичность, сорта, урожайность

Для цитирования: Манукян И. Р. Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 164–175. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-164-175>.

Дата поступления статьи: 10.01.2024, **дата рецензирования:** 19.11.2024, **дата принятия:** 02.12.2024.

Comparative assessment of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus

I. R. Manukyan ✉

North Caucasus Research Institute of Mountain and Piedmont Agriculture – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Mikhailovskoe settlement, Republic of North Ossetia-Alania, Russia

✉ E-mail: miririna.61@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to determine the potential of the studied varieties in terms of productivity and resistance to various stress factors. For breeding work aimed at obtaining varieties with specified parameters of economically valuable traits, appropriate genetic material is required. The genetic diversity of the breeding material, the presence of valuable traits that meet the needs of modern agricultural production, is a necessary condition for successful breeding work. Varietal samples of winter wheat were obtained from the genetic collection of the VIR named after Vavilov for environmental testing in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. The main parameters of the selection assessment were productivity, resistance to major harmful diseases and soil and climatic features of the region. **Methods.** Various calculation methods were used to assess adaptability and environmental plasticity: regression coefficient (Bi), Khangildin homeostatic coefficient (Hom), Zhivotkov coefficient of adaptability (CA), coefficient of variation (CV), Modified Stress Tolerance Index (MSTI), plant productivity index (PPI). **Scientific novelty.** As a result of the studies, samples of winter soft wheat were selected and involved in the selection process, which are characterized by high and stable yields, as well as resistance to stress factors characteristic of the growing region. **Results.** The varieties Torrild, Kobra, Mereke 70 were characterized by a complex of economically valuable traits, since they scored the lowest amount of ranks. These varieties are resistant to varying growing conditions and are capable of generating high productivity in various weather conditions. They can be used in breeding practice as donors of useful traits for obtaining winter wheat varieties adapted to the conditions of the region with stable productivity. Varieties that are homeostatic or poorly responsive to changes in growing conditions include Anara, Farabi, Mereke 70, Ak bidajj, Don 107. The varieties Torrild, Zhadira, Mereke 70, Ak bidajj, Kobra were distinguished with the maximum manifestation of the sign of drought resistance (MSTI). According to the PPI index, the varieties Torrild and Kobra distinguished themselves. Tor samples were distinguished by their high yield and homeostaticity (Hom) the samples of Torrild, Mereke 70, Ak bidajj, Zhadira, Kobra distinguished themselves. They respond well to improved environmental conditions and have relatively stable yields.

Keywords: winter wheat is soft, diseases, economically useful properties, plasticity, varieties, yield

For citation: Manukyan I. R. Comparative assessment of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 164–175. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-164-175>. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.01.2024, **date of review:** 19.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Повышение продуктивности зернового агроценоза и качества получаемого зерна – главная задача земледелия, растениеводства и селекции. При этом стремятся адаптировать сорта и технологии под специфические почвенно-климатические условия региона, уменьшить разрыв между потенциальной и реальной продуктивностью сортов в условиях сельскохозяйственного производства [1–3]. В связи с этим создание экологически устойчивых сортов, т. е. форм, способных формировать высокую и стабильную урожайность в различных технологических и почвенно-климатических условиях, – одна из актуальных проблем в селекции, а сорта с высоки-

ми биологическими и технологическими качествами представляют селекционную ценность [4; 5].

Повысить урожайность зерна и его качество возможно благодаря внедрению интенсивных сортов озимой пшеницы, способных формировать стабильную урожайность зерна в различных почвенно-климатических условиях.

Лучше всех отзываются на изменяющиеся климатические условия так называемые пластичные сорта, ориентированные на устойчивость к засухе, переувлажнению, разному уровню плодородия почв, вредоносным заболеваниям в регионе и другим стрессовым факторам.

Селекционные программы по созданию адаптивных и пластичных сортов представляют собой определенную систему этапов селекционной проработки исходного материала и сопровождаются комплексной оценкой по главным хозяйственно ценным признакам.

Для предгорной или лесостепной зон Центрального Кавказа важным селекционным признаком является устойчивость к вредоносному комплексу организмов, в том числе к возбудителям болезней: фузариозу колоса, желтой и бурой ржавчинам, пиренофорозу, септориозу и мучнистой росе. К распространенным вредоносным фитофагам относятся различные виды клопов, злаковых мух, пьявица, трипсы. За последние годы результаты мониторинга фитосанитарной обстановки на посевах озимых зерновых указывают на изменения в видовом составе вредоносных и доминирующих видов.

Каждое звено селекционного процесса имеет свой методический подход, который должен соответствовать определенным требованиям: прежде всего быть информативным, точным, объективно отражать свойства генотипа селекционного материала и по возможности быть нетрудоемким [7]. Сорта, сочетающие высокий потенциал урожайности и пластичности в изменяющихся экологических условиях среды, являются существенным резервом увеличения производства зерна высокого качества.

Селекция на устойчивость к различным стрессовым факторам и высокую продуктивность – довольно трудная задача. Урожайность рассматривается как результат взаимодействия всего генотипа растения с комплексом факторов окружающей среды, в том числе микроорганизмами, насекомыми, полезными и вредными. Адаптивная селекция отличается от традиционной своей направленностью на почвенно-климатические условия региона возделывания. Уже на первых этапах селекции требуется методология оценки селекционного материала на соответствие генотипа сорта экологическим условиям и устойчивостью к неблагоприятным (лимитирующим) факторам среды. Возникает необходимость создания модели сорта, где представлены основные морфологические и биологические признаки будущего сорта в тесной привязке к почвенно-климатическим особенностям региона возделывания.

Для изучения и описания адаптивных качеств исходного материала рекомендуются различные статистические методы. Они могут отличаться по сложности вычисления, информативности, объективности и разрешающей способности.

Статистические методы позволяют установить достоверность наблюдаемых различий и получить необходимую информацию о потенциальной продуктивности и адаптивности сорта. Практический интерес представляют методики:

– простые в использовании и в то же время информативные, характеризующиеся высокой дифференцирующей (разрешающей) способностью;

– обеспечивающие более точный прогноз урожайности, что очень важно при переходе на современные цифровые технологии в сельском хозяйстве.

Цель данного исследования заключается в оценке потенциала изучаемых сортов озимой пшеницы по таким параметрам, как продуктивность, экологическая пластичность и устойчивость. Сорта, которые способны максимально раскрыть свой потенциал в конкретных агроклиматических условиях, могут стать ценными источниками хозяйственно полезных признаков для создания высокоурожайных и адаптированных к местным условиям сортов озимой пшеницы.

Методология и методы исследования (Methods)

Методы оценки потенциальной продуктивности и адаптивности основаны на сравнении общей адаптивной реакции сортов к конкретным условиям вегетации, которая выражается в реализованной урожайности. Площадь делянок коллекционного питомника – 1 м² в трехкратной повторности, норма высева – 4,5 млн/га. Опыт проводили в 2020–2022 гг.

Для определения экологической пластичности и адаптивности сортов используется известная методика S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина, Л. М. Лопатиной [7; 8]. Коэффициент линейной регрессии (Bi) рассчитывается по соответствующей формуле:

$$Bi = \frac{\sum(x_{ij}l_j)}{\sum l_j^2}$$

К недостаткам этого метода относится необходимость набора (выборки) сортов и длительность исследований, а также зависимость сортовых показателей Bi от значения средней по выборке. При изменении состава выборки значения Bi для того же самого сорта могут измениться.

Гомеостатичность сортов определялась по методике В. В. Хангильдина и М. А. Литвиненко:

$$\text{Hom} = \bar{Xi}^2 / \sigma,$$

где \bar{Xi} – средняя продуктивность i -го сорта за годы испытания; σ – среднее квадратичное отклонение. Методика устанавливает вариабельность продуктивности растений. Лучшие сорта обладают высокой гомеостатичностью и меньше снижают продуктивность в неблагоприятных агроклиматических условиях. Может учитываться урожай с делянки или продуктивность отдельных растений. Вычисляются среднее арифметическое урожая (x) и его среднее квадратическое отклонение. Чем выше гомеостатичность сорта, тем выше значение его показателя [9].

В качестве показателя стабильности продуктивности сортообразцов используется коэффициент вариации по Б. А. Доспехову:

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} * 100 \%,$$

где s – стандартное отклонение;

\bar{X} – среднее значение веса зерна, г [10].

Коэффициент адаптивности (КА) рассчитывался по методике Л. А. Животкова и др.

$$КА = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_{ij}} * 100 \%,$$

где \bar{X}_i – средняя продуктивность сорта за годы исследований;

\bar{X}_{ij} – средняя продуктивность изучаемых сортов за годы исследований.

Коэффициент адаптивности выражает общую норму реакции определенной выборки сортов на различные условия среды по годам. Коэффициент адаптивности одного определенного сорта на сложившиеся условия вегетационного периода определяют как отношение его урожайности со средней урожайности всех сортов. Если полученные в ходе расчетов показатели КА превышают 100 %, то такой сорт считается потенциально высокопродуктивным [11].

Модифицированный индекс засухоустойчивости (MSTI) рассчитывается Р. С. Ержебаевой и др.

$$MSTI = k_1 STI = \frac{Y_s^2}{\bar{Y}_s^2},$$

где \bar{Y}_s^2 – среднее значение урожайности всех сортов при засухе;

Y_s^2 – среднее значение урожайности сорта при засухе [12–14].

Индекс продуктивности растений (ИПР) рассчитывали по формуле.

$$ИПР = (ЧЗ \times ВЗ) / ДК,$$

где ЧЗ – число зерен в колосе;

ВЗ – вес зерна с колоса;

ДК – длина колоса [15].

Преимущество индекса заключается в том, что он легко вычисляется на основе трех ключевых параметров продуктивности, сводя их к единому значению. Этот показатель не зависит от среднего значения по всей выборке и обладает высокой дифференцирующей способностью. Оценка типов иммунологической реакции растений на заражение фитопатогенами проводилась в соответствии с общепринятыми методиками, описанными в работах [16; 18; 19].

Для определения характера корреляционных связей использовали градацию: связь слабая – r до 0,30; умеренная – $r = 0,31 \dots 0,50$; значительная – $r = 0,51 \dots 0,70$; сильная – $r = 0,71 \dots 0,90$; очень сильная, близкая к функциональной – r более 0,9 [17; 20].

Результаты (Results)

Почвы предгорной зоны представляют собой среднеспособные черноземы, подстилаемые галечником, который служит естественным дренажом. Галечник не позволяет влаге задерживаться в почве, что делает условия для выращивания сельскохозяйственных культур довольно сложными.

По данным различных исследований, содержание гумуса в этих почвах составляет около 5,34 %. По результатам агрохимического анализа почвы, массовая доля P_2O_5 – 56,4 млн⁻¹, K_2O – 172,4 млн⁻¹, массовая доля обменного аммония – 6,2 млн⁻¹, массовая доля азота нитратов – 10,2 млн⁻¹, рН солевой вытяжки – 5,1. Многолетние наблюдения показывают, что среднегодовое количество осадков в предгорной зоне составляет 734,8 мм, причем основное количество (50 %) выпадает в мае и июне. Погодные условия за годы испытаний были разнообразными: от близких к средним многолетним значениям в 2021 и 2022 годах до засушливых в 2020 году. Это позволило дать объективную оценку селекционным образцам по признакам засухоустойчивости и стабильности.

Условия сева в 2020 году были неблагоприятными из-за значительного недостатка влаги в почве, что отразилось на ГТК, который составлял 0,49–0,66.

В течение зимы снежный покров был неравномерным, а температура воздуха превышала средние многолетние значения. В марте погода была более теплой и влажной, чем обычно, однако влагообеспеченность почвы оставалась недостаточной – всего 10–15 мм влаги в пахотном слое. В мае были сильные дожди, в период налива зерна установилась жаркая погода. Температура воздуха превысила норму на 2,5–3 °С, а количество осадков составило всего 50 % от нормы. Корнеобитаемый слой почвы был практически полностью иссушен, что отразилось на низком значении ГТК – 0,57.

Весенне-летние вегетационные периоды 2021 и 2022 годов характеризовались избыточным увлажнением (ГТК в мае – июле составлял 1,2–1,28). Апрель был самым дождливым месяцем с количеством осадков на 26 мм больше средней многолетней нормы. Относительная влажность воздуха составила 77 %. В период колошения и формирования зерна количество осадков также превысило норму и составило 152–202 %.

Результаты дисперсионного анализа показали, что наибольшее влияние на продуктивность оказали сортовые особенности – 90,1 % (А). Факторы окружающей среды (В) оказали меньшее влияние – 8,42 % (таблица 1).

Дисперсии факторов А и В в большей или меньшей степени оказывают достоверное влияние на продуктивность, на что указывает фактическое значение критерия Фишера (F) $F_{ф} > F_{т}$.

В таблице 2 указаны показатели параметров адаптивности сортов. Варьирование признака «вес зерна колоса» у сортообразцов составило от 3,8 % (Zhadira) до 29,1 % (Kobra). К сортам со степенью варьирования признака до 10 % относятся Torrid, Zhadira, Ak bidajj. Значительная изменчивость признака в зависимости от внешних факторов была характерна для сортов Anara (20,0), Farabi (26,0), Kobra (29,1), Mereke 70 (16,1).

Таблица 1
Результаты дисперсионного анализа по параметрам урожайности сортов

Вид дисперсии	Сумма квадратов отклонений (MS)	Число степеней свободы (df)	Дисперсия, % (σ^2 , SS)	Доля вклада факторов, %	Отклонение дисперсии (F)	
					Fф	F _т (95 %)
Суммарная	–	23	–	–	–	–
A (сорт)	0,61	7	4,28	90,1	120,8	2,77
B (год)	0,2	2	0,4	8,42	3,8	3,74
Остаточное	0,005	14	0,07	1,48		

Table 1
Results of the dispersion analysis on the yield parameters of varieties

Type of variance	Sum of squared deviations (MS)	Number of degrees of freedom (df)	Variance, % (σ^2 , SS)	Factor contribution share, %	Variance deviation (F)	
					Ff	F _t (95 %)
General	–	23	–	–	–	–
A (variety)	0.61	7	4.28	90.1	120.8	2.77
B (year)	0.2	2	0.4	8.42	3.8	3.74
Residual	0.005	14	0.07	1.48		

Таблица 2
Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по признаку вес зерна колоса и параметрам адаптивности

Сорт	Вес зерна колоса, г	Урожайность, г/м ²	Bi	Hom	CV, %	КА, %	MSTI	ИПР
Torrild	1,73	684,3	1,9	6,0	8,82	154,5	2,4	11,3
Anara	0,53	287,5	0,7	0,5	20,0	45,5	0,15	1,4
Farabi	0,57	330,7	0,03	0,6	26,0	51,8	0,15	1,7
Mereke 70	1,6	647,5	0,5	4,2	16,1	145,5	1,6	7,5
Zhadira	1,5	620,8	1,1	4,0	3,8	137,2	2,1	6,7
Ak bidajj	1,4	560,4	0,6	4,7	7,14	127,3	1,6	4,5
Kobra	1,4	615,0	1,8	4,6	29,1	130,0	1,6	10,2
Дон 107 ст.	1,13	485,8	0,3	0,8	15,6	102,7	1,2	5,2

Table 2
Characteristics of winter soft wheat varieties based on the grain weight of the ear and adaptability parameters

Variety	Ear grain weight, g	Productivity, g/m ²	Bi	Hom	CV, %	CA, %	MSTI	PPI
Torrild	1.73	684.3	1.9	6.0	8.82	154.5	2.4	11.3
Anara	0.5	287.5	0.7	0.5	20.0	45.5	0.15	1.4
Farabi	0.57	330.7	0.03	0.6	26.0	51.8	0.15	1.7
Mereke 70	1.6	647.5	0.5	4.2	16.1	145.5	1.6	7.5
Zhadira	1.5	620.8	1.1	4.0	3.8	137.2	2.1	6.7
Ak bidajj	1.4	560.4	0.67	4.7	7.14	127.3	1.6	4.5
Kobra	1.4	615.0	1.8	4.6	29.1	130.0	1.6	10.2
Don 107 st.	1.13	485.8	0.3	0.8	15.6	102.7	1.2	5.2

Среди исследуемых сортов пшеницы вес зерна с колоса от 1,0 г и выше был отмечен у следующих: Torrild, Mereke 70, Akbidajj, Zhadira, Kobra и Дон 107 (таблица 2). В то же время у сортов Anara и Farabi этот показатель составил в среднем 0,5 г. Наибольший вес зерна с колоса был зафиксирован у сорта Torrild (1,73 г). Болезни растений возникают в результате сложного взаимодействия между растением, фитопатогеном и окружающей средой. При

одних и тех же экологических условиях вред, наносимый растению, тем больше, чем выше вредоносность патогена и ниже устойчивость сорта. Заболевания различаются по характеру ущерба, который они наносят растению, и в зависимости от того, на каких частях растения они развиваются. Например, фузариоз колоса является особенно опасным, поскольку поражает репродуктивные части растения – колос и зерно.

Устойчивость сортов озимой пшеницы к болезням

Сорт	Тип реакции			
	Фузариоз колоса	Бурая ржавчина	Желтая ржавчина	Пиренофороз
Torrild	MR	MR	MS	R
Anara	S	S	MS	S
Farabi	S	S	S	MS
Mereke 70	MR	MR	MR	MR
Zhadira	MR	R	R	MR
Ak bidajj	MR	MR	MR	MS
Kobra	MR	R	R	R
Дон 107	S	MR	MS	MS

Примечание. Тип реакции растения на внедрение патогена: R – устойчивый, MR – умеренно устойчивый, MS – умеренно восприимчивый, S – восприимчивый.

Table 3

Resistance of winter wheat varieties to diseases

Variety	Type of reaction			
	Fusarium head blight	Leaf rust	Yellow rust	Pyrenophora spot
Torrild	MR	MR	MS	R
Anara	MS	S	MS	S
Farabi	S	S	S	MS
Mereke 70	MR	MR	MR	MR
Zhadira	MR	R	R	MR
Ak bidajj	MR	MR	MR	MS
Kobra	MR	R	R	R
Don 107	S	MS	MS	MS

Note. Type of plant response to pathogen introduction: R – resistant, MR – moderately resistant, MS – moderately susceptible, S – susceptible.

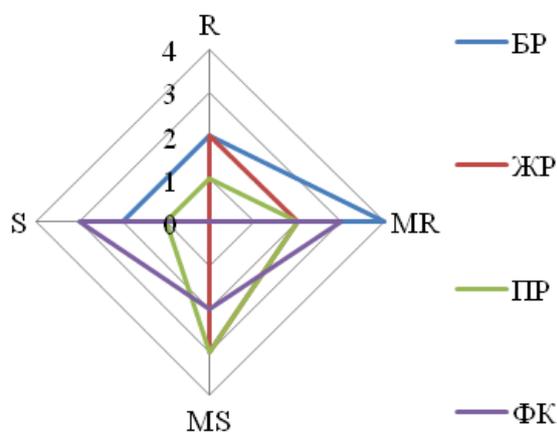


Рис. 1. Распределение количества устойчивых сортов по видам болезней:

BP – бурая ржавчина, JP – желтая ржавчина, PP – пиренофороз, FK – фузариоз колоса

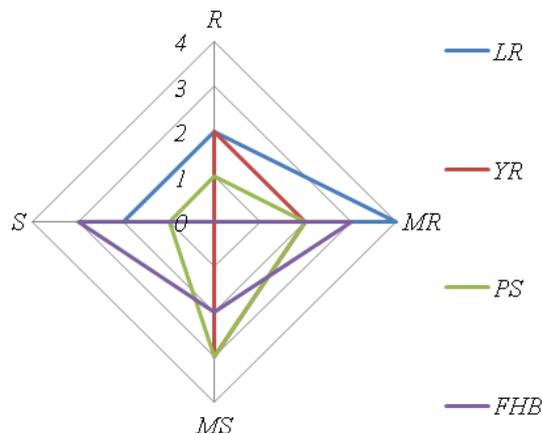


Fig. 1. Distribution of the number of resistant varieties by type of disease:

LR – leaf rust; YR – yellow rust; PS – pyrenophora spot; FHB – Fusarium head blight

Вредоносность листовых пятнистостей значительно ниже. Сорта с комплексной устойчивостью к листовым пятнистостям встречаются нечасто, но есть примеры таких сортов. В наших исследованиях к таким сортам можно отнести Kobra и Torrild (таблица 3, рис. 1).

Коэффициент адаптивности (КА) у данных сортов был высоким: Torrild – 154,5 %, Mereke 70 – 145,5 %, Zhadira – 137,2 %, Kobra – 130,0 %, Ak bidajj – 127,3 %. У сортов Anara и Farabi коэффициент адаптивности оказался ниже 100 %. Для расчета коэффициента адаптивности определяется средний

уровень урожайности по исследуемой выборке сортов, который принимается за 100 %. Затем рассчитывается отношение урожайности каждого сорта к среднесортной средней урожайности, и полученные результаты умножаются на 100 %. Этот показатель, как считается, отражает адаптивные свойства исследуемых генотипов в конкретных условиях выращивания. Если коэффициент адаптивности превышает 100 %, это свидетельствует о высокоурожайном сорте, устойчивом или толерантном к биотическим и абиотическим стрессовым факторам региона.

Таблица 4

Матрица корреляций между продуктивностью и параметрами адаптивности

Параметры	в/з, г	B_i	Hom	CV, %	КА, %	MSTI	ИПП
в/з, г	1						
B_i	0,622	1					
Hom	-0,164	0,214	1				
CV, %	-0,534	-0,130	0,307	1			
КА, %	0,989	0,617	-0,190	-0,521	1		
MSTI	0,969	0,693	-0,238	-0,623	0,967	1	
ИПП	0,868	0,845	-0,001	0,172	0,869	0,862	1

Table 4

A matrix of correlations between productivity and adaptability parameters

Parameters	Ear grain weight, g	B_i	Hom	CV, %	CA, %	MSTI	PPI
Ear grain weight, g	1						
B_i	0.622	1					
Hom	-0.164	0.214	1				
CV, %	-0.534	-0.130	0.307	1			
CA, %	0,989	0,617	-0.190	-0.521	1		
MSTI	0.969	0.693	-0.238	-0.623	0.967	1	
PPI	0.868	0.845	-0.001	0.172	0.869	0.862	1

Таблица 5

Ранги показателей адаптивности образцов озимой мягкой пшеницы

Сорт	B_i	Hom	CV, %	КА, %	MSTI	ИПП	Σ
Torrild	1	1	6	1	1	1	11
Anara	4	8	3	8	5	8	36
Farabi	8	7	2	7	5	7	36
Mereke 70	6	4	4	2	3	3	22
Zhadira	3	5	5	3	2	4	25
Ak bidajj	5	2	7	5	3	6	28
Kobra	2	3	1	4	3	2	15
Дон 107	7	6	6	6	4	5	33

Table 5

Grades of indicators of adaptability of winter soft wheat samples

Variety	B_i	Hom	CV, %	CA, %	MSTI	PPI	Σ
Torrild	1	1	6	1	1	1	11
Anara	4	8	3	8	5	8	36
Farabi	8	7	2	7	5	7	36
Mereke 70	6	4	4	2	3	3	22
Zhadira	3	5	5	3	2	4	25
Ak bidajj	5	2	7	5	3	6	28
Kobra	2	3	1	4	3	2	15
Don 107	7	6	6	6	4	5	33

Согласно коэффициенту линейной регрессии, значительное увеличение урожайности при улучшении условий выращивания наблюдалось у сортов Kobra и Torrild ($B_i > 1$). Сорта Anara, Farabi, Mereke 70, Ak bidajj и Дон 107 ст. не реагируют на изменения условий ($B_i < 1$). Эти сорта относятся к полунтенсивному типу, и их производство более рентабельно при возделывании на низких агрофонах.

Селекция на гомеостатичность сортов приобретает особое значение в регионах с недостаточным и неравномерным количеством осадков в течение вегетационного периода. Сорта Anara, Farabi и Дон 107 продемонстрировали низкую гомео-

статичность, в то время как сорта Torrild, Mereke 70, Ak bidajj, Zhadira и Kobra показали высокую гомеостатичность.

С максимальным проявлением признака засухоустойчивости (MSTI) были выделены следующие сортообразцы: Torrild – 2,4, Zhadira – 2,1, Mereke 70, Ak bidajj и Kobra – по 1,6. По индексу ИПП отличались сорта Torrild – 11,3 и Kobra – 10,2.

Корреляционный анализ показал сильную связь продуктивности колоса с индексами в пределах $r = 0,86 \dots 0,98$. Между собой индексы также демонстрируют высокую корреляционную связь ($r = 0,6 \dots 0,96$), что подтверждается данными из таблицы 4.

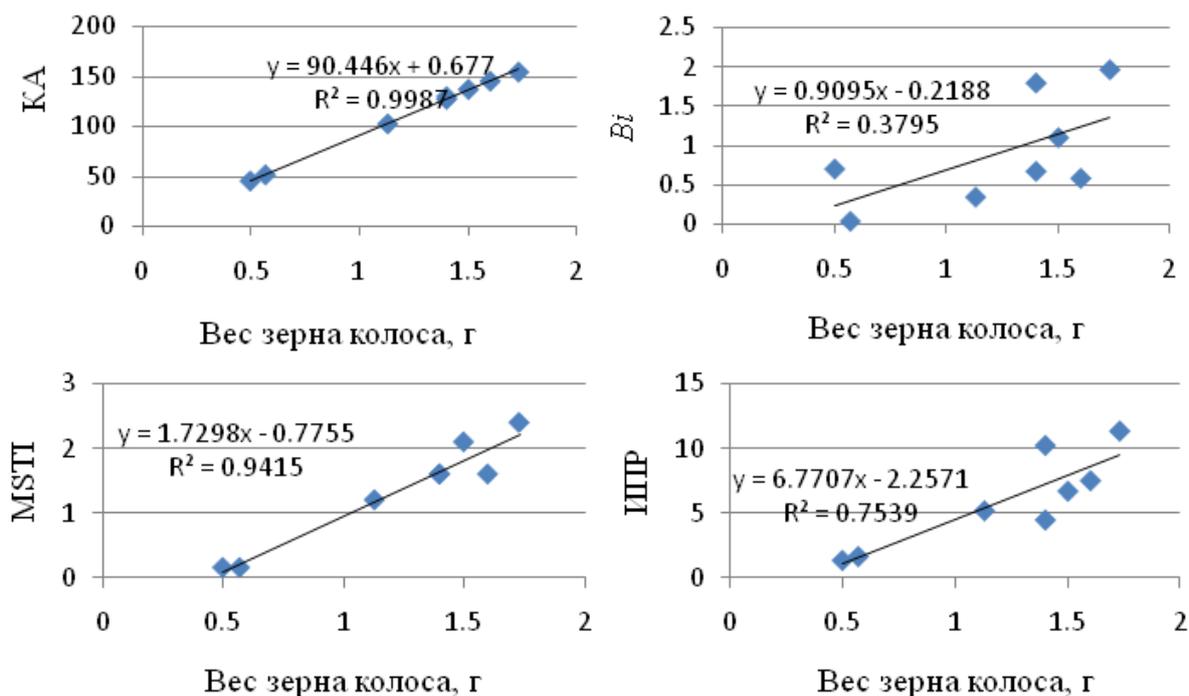


Рис. 2. Уравнение регрессии и линия тренда между показателями адаптивности и продуктивностью

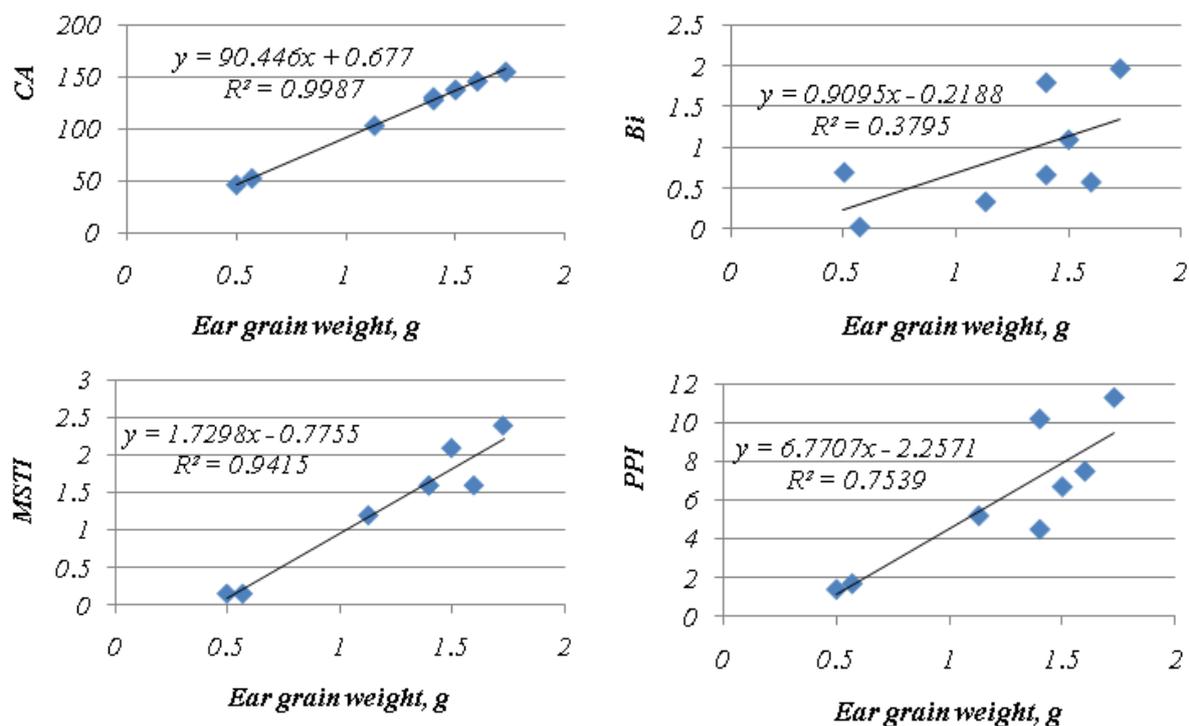


Fig. 2. Regression equation and trend line between adaptability and productivity indicators

Регрессионный анализ позволяет получить линейное уравнение, по которому можно рассчитать значения Y (продуктивности) по значению X . Величина достоверности R^2 для коэффициента адаптивности индекса ИПР и MSTI довольно высокая и составляет 0,75 и 0,99 (рис. 2).

Оценка генотипов только одним методом не может дать полной картины их свойств. Так, показатель экологической пластичности Bi позволяет

разделить факторы среды на предсказуемые (сорта, фитосанитарная ситуация, технология возделывания) и непредсказуемые (климатические условия).

Непредсказуемые факторы среды отличаются большим разнообразием и помогают выявить пластичные и непластичные сорта, то есть узкоспециализированные и широкоспециализированные. Как показывает практика, необходимы оба типа сортов. Именно такие сорта могут создавать мозаику посе-

вов на всей площади зернового агроценоза, что способствует расширению генетического разнообразия и повышению устойчивости пшеницы к неблагоприятным факторам среды (болезням, вредителям, недостатку влаги, высоким или низким температурам и другим). Генетическое разнообразие сортов и различия в широте нормы реакции генотипов позволяют максимально эффективно использовать весь спектр агроэкологических условий региона.

Полную информацию об адаптивных характеристиках сорта к конкретным условиям возделывания можно получить при использовании нескольких статистических методов, а также метода ранжирования полученных сортовых показателей по сумме рангов. Ранжирование проводится следующим образом: первый ранг присваивается наиболее высокому показателю, далее по мере убывания, а последний ранг присваивается самому низкому показателю (таблица 5). Лучшие образцы набирают минимальный суммарный балл.

В нашем эксперименте наименьшая сумма рангов (от 12 до 22) была получена для сортов Torrild, Kobra и Mereke 70. Эти сорта отличаются высокой устойчивостью к различным условиям выращивания и способны демонстрировать высокую продуктивность в условиях контрастного климата (рис. 3).

Четыре лучших образца с минимальным суммарным баллом представлены на рис. 3. В их число вошли сортообразцы с рангами от 1 до 25.

Изучение сортообразцов озимой пшеницы с точки зрения их адаптивных свойств и экологической пластичности позволило выделить те, которые наилучшим образом приспособлены для получения высокой урожайности в конкретных почвенно-климатических условиях.

Для оценки адаптивных характеристик сортов могут быть использованы различные индексы, такие как коэффициент адаптивности (КА), индекс продуктивности растений (ИПР) и международный стандарт качества (MSTI). В результате проведен-

ного множественного корреляционно-регрессионного анализа была обнаружена прямая и достоверная связь между продуктивностью зерна (Y) и этими индексами, что нашло отражение в уравнениях регрессии.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Чтобы выявить генотипы с хозяйственно полезными признаками, из множества методов оценки адаптивных реакций наиболее информативными являются коэффициент вариации (CV), коэффициент линейной регрессии (Bi), индекс засухоустойчивости (MSTI), коэффициент адаптивности (КА), индекс продуктивности растений (ИПР).

При расчете экологической пластичности следует учитывать, что абсолютные значения показателей адаптивности для каждого исследуемого сорта, полученные в результате дисперсионного и регрессионного анализов, в определенной степени относительны, поскольку могут изменяться при изменении набора исследуемых сортов. Для более полной характеристики хозяйственно ценных признаков селекционного материала можно дополнительно использовать различные индексы, для расчета которых не требуется дисперсия и средние значения по опыту. Многие индексы, применяемые в селекции, рассчитываются на основе индивидуальных показателей продуктивности растения, таких как число зерен, вес зерна и длина колоса [18–20]. Известно, что любое стрессовое воздействие влияет на показатели урожайности, следовательно, изменения будут отражены в значении индекса. В отличие от других известных индексов (мексиканский, канадский и др.) ИПР рассчитывается по трем показателям продуктивности растения, что повышает его точность.

Чтобы привести полученные данные к общему знаменателю, целесообразно использовать метод рангов. Первый ранг присваивается высшему показателю, а последний ранг – самому низкому. Согласно этому методу, сорта с высокой хозяйствен-

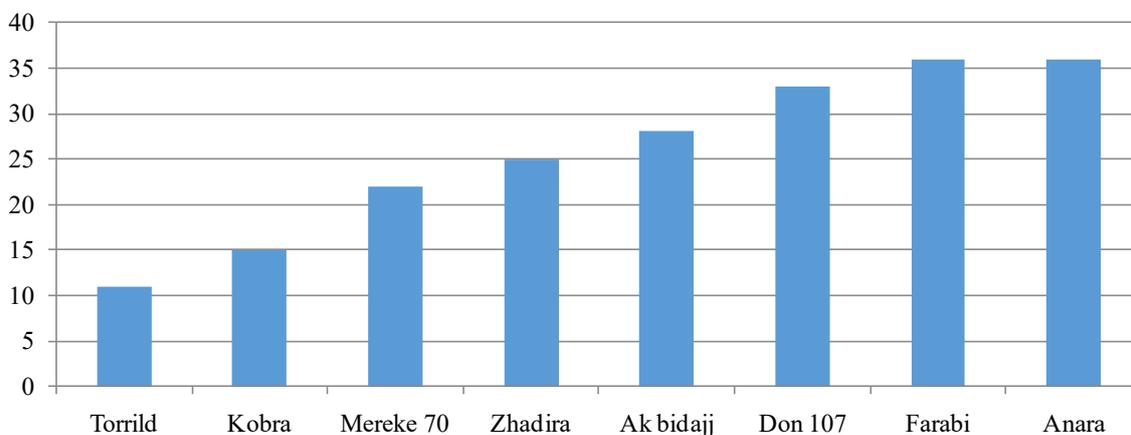


Рис. 3. Распределение сортов озимой пшеницы по сумме рангов параметров адаптивности
Fig. 3. Distribution of winter wheat varieties by the sum of the ranks of adaptability parameters

ной ценностью получают низкую сумму баллов. Однако бесконечно повышать продуктивность селекционными методами невозможно, потому что, помимо комбинативной изменчивости, которая является источником новых комбинаций признаков, существует коррелятивная, или соотносительная, изменчивость, возникающая в результате взаимодействия многих хозяйственно полезных признаков с «неполезными» (с точки зрения человека) признаками. На практике часто оказывается, что высокопродуктивные сорта становятся менее устойчивыми к возбудителям болезней и вредителям.

Для реализации потенциальной продуктивности таких сортов требуются интенсивные технологии и

интегрированная система защиты. Как всегда, важен баланс и понимание того, что реакция генотипа на факторы среды – это ответная реакция всех генов (как «полезных», так и «неполезных») в их взаимодействии.

Таким образом, к сортообразцам озимой мягкой пшеницы, отличающимся высокой общей адаптивной способностью, устойчивостью к стрессорам и высокой продуктивностью, относятся Torrild (Германия), Kobra (Польша), Mereke 70 (Казахстан). Эти образцы могут служить источниками хозяйственно полезных признаков и использоваться в селекционном процессе.

Библиографический список

1. Hatfield J. L., Byrns B. L. Yield gaps in wheat: path to enhancing productivity // *Frontiers in Plant Science | Crop and Product Physiology*. 2019. Vol. 10. Article number 1630. DOI: 10.3389/fpls.2019.01603.
2. 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. Article number 111001. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
3. Сапега В. А., Турсунбекова Г. Ш. Урожайность и адаптивность сортов гороха в условиях подтайги Северного Зауралья // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 8 (237). С. 24–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-24-36.
4. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 7 (236). С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45.
5. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 6 (221). С. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26.
6. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 4 (183). С. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158.
7. Eberhart S. G., Russell W. G. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Science*. 1966. Vol. 6, No. 1. Pp. 36–40. DOI: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X.
8. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственная биология*. 1984. № 4. С. 109–113.
9. Хангильдин В. В., Литвиненко М. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // *Научно-технический бюллетень ВСГИ*. 1981. № 1 (39). С. 8–14.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва, Альянс, 2011. 350 с.
11. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // *Селекция и семеноводство*. 1994. № 2. С. 3–7.
12. Ергебаева Р. С., Дидоренко С. И., Кудайбергенов М. С., Даниярова А. К., Амангелдиева А. А. Поиск источников засухоустойчивости среди новой коллекции сои (*glycine max*) в условиях юга-востока Казахстана // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 3 (31). С. 63–73. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11116.
13. Tahiri S., Zafari S., Ashraf M., Perveen S., Mahmood S. Evaluation of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) using physiological indicators // *Pakistan Journal of Botany*. 2023. Vol. 55, No. 3. Pp. 843–849. DOI: 10.30848/PJB2023-3(8).
14. 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. 4, No. 1. Pp. 176–179. DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01.
15. Патент РФ. RU 2 710 056 С1. Способ отбора высокопродуктивных селекционных образцов озимых культур / И. Р. Манукян, С. А. Бекузарова, Е. С. Басиева, Е. С. Мирошникова. 2019. Заяв. 2019121471. Оpubл. 24.12.2019. 7 с.

16. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи селекции ВИР в условиях Северо-Западного региона // Тенденции развития науки и образования. 2020. Т. 58, № 3. С. 5–9. DOI: 10.18411/lj-02-2020-38.

17. Богдан П. М., Клыков А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101.

18. Койшыбаев М. Болезни пшеницы: монография. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2018. 365 с.

19. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Адаптивность сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Северо-Кавказского региона // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50.

20. Децына А. А., Илларионова И. В., Щербинина В. О. Расчет параметров экологической пластичности и стабильности масличных сортов подсолнечника селекции ВНИИМК // Масличные культуры. 2020. № 3 (183). С. 31–38. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38.

Об авторе:

Ирина Рафиковна Манукян, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела селекционных технологий и первичного семеноводства сельскохозяйственных растений, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Владикавказского научного центра Российской академии наук, п. Михайловское, Республика Северная Осетия-Алания, Россия; ORCID 0000-0002-1620-4302, AuthorID 377607. E-mail: miririna.61@mail.ru

References

1 Hatfield J. L., Byrns B. L. Yield gaps in wheat: path to enhancing productivity. *Frontiers in Plant Science | Crop and Product Physiology*. 2019; 10: 1630. DOI: 10.3389/fpls.2019.01603.

2. 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; 11 (1): 111001. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.

3. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Productivity and adaptability of pea varieties in the subtaiga of the Northern Trans Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 8 (237): 24–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-24-36. (In Russ.)

4. Safonova I. V., Aniskoy N. I. Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 7 (236): 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45. (In Russ.)

5. Safonova I. V., Aniskov N. I. The significance of a comprehensive assessment of breeding indices and parameters of stress resistance of winter rye varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 6 (221): 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26. (In Russ.)

6. Manukyan I. R., Basieva M. A., Miroshnikova E. S., Abiev V. B. Assessment of ecological plasticity of winter wheat varieties in the conditions of a foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 4 (183): 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158. (In Russ.)

7. Eberhart S. G., Russell W. G. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966; 6 (1): 36–40. DOI: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X.

8. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of varieties of agricultural crops. *Agricultural Biology*. 1984; 4: 109–113. (In Russ.)

9. Khangildin V. V., Litvinenko M. A. Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties. *Scientific and Technical Bulletin VSGI*. 1981; 1 (39): 8–14. (In Russ.)

10. Dospikhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Al'yans, 2011. 350 p. (In Russ.)

11. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. Methodology for identifying the potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat in terms of yield. *Breeding and Seed Production*. 1994; 2: 3–6. (In Russ.)

12. Yezhebaeva R. S., Didorenko S. I., Kudaybergenov M. S., Daniyarova A. K., Amangeldieva A. A. The search for sources of drought resistance among a new collection of soybean (*glycine max*) in conditions of south-eastern Kazakhstan. *Legumes and Cereals*. 2019; 3 (31): 63–73. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11116. (In Russ.)

13. Tahiri S., Zafari S., Ashraf M., Perveen S., Mahmood S. Evaluation of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) using physiological indicators. *Pakistan Journal of Botany*. 2023; 55 (3): 843–849. DOI: 10.30848/PJB2023-3(8).

14. 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; 4 (1): 176–179. DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01
15. Patent of the Russian Federation. RU 2 710 056 C1 Method for selecting highly productive selection samples of winter crops / I. R. Manukyan, S. A. Bekuzarova, E. S. Basieva, E. S. Miroshnikova. 2019. Appl. 2019121471. Publ. 24.12.2019. 7 p.
16. Aniskov N. I., Safonova I. V. Productivity and adaptability of winter rye varieties of VIR breeding in the conditions of the North-Western region. *Trends in the Development of Science and Education*. 2020; 58 (3): 5–9. DOI: 10.18411/lj-02-2020-38. (In Russ.)
17. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuzmenko N. V. Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum Desf.*) in the conditions of the Primorsky Territory. *Works on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023; 184 (1). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101. (In Russ.)
18. Koishybaev M. *Wheat diseases: a monograph*. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 365 p. (In Russ.)
19. Galushko N. A., Sokolenko N. I. Adaptability of winter wheat varieties cultivated in the conditions of the North Caucasus region. *Achievements of Science and Technology of the AIC*. 2022; 36 (5): 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50. (In Russ.)
20. Detsyna A. A., Illarionova I. V., Shcherbinina V. O. Calculation of parameters of ecological plasticity and stability of sunflower oil varieties of VNIIMK breeding. *Oil seeds*. 2020; 183 (3): 31–38. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38. (In Russ.)

Author's information:

Irina R. Manukyan, candidate of biological sciences, leading researcher of the department of breeding technologies and primary seed production of agricultural plants, North Caucasus Research Institute of Mountain and Piedmont Agriculture – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Mikhailovskoe settlement, Republic of North Ossetia-Alania, Russia; ORCID 0000-0002-1620-4302, AuthorID 377607. E-mail: miririna.61@mail.ru