

Перспективы экологической селекции ярового ячменя в лесостепной агроклиматической зоне Центрального региона РФ

О. В. ЛЕВАКОВА

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, ул. Парковая, 1, с. Подвязье, Рязанский р-н, Рязанская обл., 390502, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью комплексной оценки сортов и новых селекционных линий ярового ячменя по урожайности и параметрам экологической адаптивности для выявления наиболее перспективных генотипов. Работу выполняли в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области в 2019–2023 гг. В испытаниях участвовали 18 наиболее перспективных сортов и линий местной селекции, стандарт – сорт Надежный. Повторность в опыте – четырехкратная. Доминирующее влияние (63,4 %) на изменчивость признака «урожайность» исследуемых сортов/линий оказывал фактор условий среды. По коэффициенту регрессии ($b > 1,0$) и коэффициенту мультипликативности ($KM > 2,0$) выделены 88,9 % изученных образцов. По показателям стабильности (σ^2 , SF , d , IS) весь исследуемый материал устойчиво формировал урожай в изменяющихся условиях среды. По гомеостатичности ($Hom \geq 0,60$) выделены сорта Владимир, Любояр и перспективные линии Л 141/1 (Нур×Josephine), Л 10/4 (Cheers×Яромир). У 83,3 % образцов из всей изученной выборки величина показателя уровня и стабильности сорта (ЛУСС) превышал 100,0 %. Только у 50,0 % из исследуемого набора образцов коэффициент адаптивности (КА) был больше 1,0. Лучшими по уровню лимитированной урожайности $Lim_{min} > 5,50$ т/га и величине показателя генетической гибкости ($(Lim_{min} + Lim_{max})/2 > 6,80$) оказались сорта Яромир, Любояр, Добродей, а также линии Л h1 137 (Тайга×23h343), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)]. По комплексу показателей адаптивности и ее составляющим (1...9 место в рейтинговой шкале) лучшими из исследуемого набора были Любояр, Яромир, Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)], Добродей (ГСИ), Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Зоран (ГСИ), отбор из голозерной формы Л h1 137 (Тайга×23h343), Л 35/1 [Гелиос×(Вакула×Выбор)].

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорт, линия, урожайность, параметры адаптивности, корреляционная взаимосвязь.

Сведения об авторах: О. В. Левакова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: levakova.olga@bk.ru).

Для цитирования: Левакова О. В. Перспективы экологической селекции ярового ячменя в лесостепной агроклиматической зоне Центрального региона РФ // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 1. С. 23–27. doi: 10.53859/02352451_2024_38_1_23

Prospects for ecological breeding of spring barley in the forest-steppe agroclimatic zone of the Central region of the Russian Federation

O. V. Levakova

Institute of Seed-Growing and Agrotechnology, Federal Scientific Agricultural Engineering Center of All-Russian Mechanization Institute, ul. Parkovaya, 1, s. Podvyaz'e, Ryazanskii r-n, Ryazanskaya obl., 390502, Russian Federation

Abstract. The research was carried out with the aim of a comprehensive assessment of varieties and new breeding lines of spring barley in terms of yield and environmental adaptability parameters to identify the most promising genotypes. The work was carried out in the forest-steppe agroclimatic zone of the Ryazan region in 2019–2023. The tests involved the most promising varieties and lines of local selection in the amount of 18 numbers, the standard was the Nadezhny variety. The experiment was repeated fourfold. The dominant influence (63.4%) on the variability of the “yield” trait of the studied varieties/lines was exerted by the factor of environmental conditions. Based on the regression coefficient ($bi > 1.0$) and multiplicative coefficient ($MC > 2.0$), 88.9% of the studied samples were identified. According to stability indicators (σ^2 , SF , d , IS), all the studied material stably formed a yield under changing environmental conditions. According to homeostaticity ($Hom \geq 0.60$), varieties Vladimir, Lyuboyar and promising lines L 141/1 (Nur×Josephine), L 10/4 (Cheers×Yaromir) were selected. In 83.3% of samples from the entire studied sample, the value of the variety level and stability indicator (VLSS) exceeded 100.0%. Only 50.0% of the studied set of samples had an adaptability coefficient (AC) greater than 1.0. The best in terms of the level of limited yield $Lim_{min} > 5.50$ t/ha and the value of the genetic flexibility index ($(Lim_{min} + Lim_{max})/2 > 6.80$) were the varieties Yaromir, Lyuboyar, Dobrodey, as well as the lines L h1 137 (Taiga × 23h343), L 67/2 [Arbalet×(Margrett×Vladimir)], L 88/3 [Kangoos×(Margrett×Vladimir)]. According to the set of indicators of adaptability and its components (1st...9th place in the rating scale), the best of the studied set were Lyuboyar, Jaromir, L 67/2 [Crossbow×(Margrett×Vladimir)], 88/3 [Kangoos×(Margrett×Vladimir)], Dobrodey (GSI), L 27/3 (Dokuchaevsky 9×Yaromir), Zoran (GSI), selection from the huskless form L h1 137 (Taiga×23h343), L 35/1 [Helios×(Vakula×Vybor)].

Keywords: barley (*Hordeum vulgare* L.); variety; line; yield; adaptability parameters; correlation.

Author Details: O. V. Levakova, Cand. Sc. (Agr.); leading research fellow (e-mail: levakova.olga@bk.ru).

For citation: Levakova O.V. [Prospects for ecological breeding of spring barley in the forest-steppe agroclimatic zone of the Central region of the Russian Federation]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(1):23–27. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_1_23

Зона Центрального Нечерноземья относится к зоне рискованного земледелия с преобладающими факторами абиотического и биотического стресса. Поэтому, основу любой технологии составляет сорт с высоким потенциалом урожайности и адаптивной устойчивостью к стрессам [1, 2]. Высокая вариабельность погодных условий и их аномальных явлений (засуха, град, шквалистый ветер, переувлажнение в период уборки и др.) как в мире, так и во многих регионах России приводит к тенденции снижения темпа роста валовых сборов сельскохозяйственных культур [3, 4, 5].

Существующий сегодня разрыв между биологическим потенциалом урожайности культуры и реальной продуктивностью препятствует решению глобальных задач, стоящих перед отечественным сельскохозяйственным

производством по насыщению рынка высококачественным зерном [6, 7]. В условиях постоянного роста стрессорной нагрузки ведущая роль в создании новых интегрированных систем производства зерна принадлежит селекции. При этом успешное решение задач, стоящих перед селекционерами, неразрывно связано с оптимизацией и использованием в практической работе наиболее эффективных методов оценки генетического потенциала исходных форм и гибридного материала по признакам экологической адаптивности и стабильности [8, 9, 10].

Решение этих актуальных проблем позволит повысить производительность селекционного процесса и создать новое поколение высокоадаптивных сортов с повышенным потенциалом продуктивности.

Цель исследований – комплексная оценка сортов и новых селекционных линий ярового ячменя по урожайности и параметрам экологической адаптивности для выявления наиболее перспективных генотипов.

Условия, материалы и методы. Работы по изучению и отбору генотипов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) с высоким потенциалом продуктивности, адаптивные к условиям региона проводили на полях лаборатории селекции и первичного семеноводства Института семеноводства и агротехнологий – филиала Федерального бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области в 2019–2023 гг. в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ).

Климат области типичен для средней полосы Европейской части России и относится к зоне неустойчивого увлажнения, вследствие частых засушливых периодов и неравномерного выпадения атмосферных осадков по сезонам. Показатели гидротермического коэффициента (ГТК) рассчитывали по методике Г. Т. Селянинова (Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.-М.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27) на основе данных метеостанции ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Погодные условия в период исследований были нестабильны и это позволило достаточно объективно произвести анализ изучаемых сортов по урожайности и параметрам ее адаптивности. Вегетационный период 2019 г. проходил в экстремально жарких условиях, превышающих среднеголетние значения среднесуточной температуры на 6,5...8,5 °С (сумма активных температур за вегетацию – 1941 °С) при ГТК = 0,70 (табл. 1). В 2020 г. растения развивались в условиях обильных осадков (ГТК = 1,36) со штормовыми ветрами, что привело к раннему полеганию растений и снижению урожайности. В 2021 г. отмечали резкие перепады среднесуточных температур воздуха в течение вегетации и неравномерная влагообеспеченность (ГТК = 0,70). Вегетационный период 2022 г. был засушливым (ГТК=0,53). Сильная засуха проявилась в июле, среднесуточная температура имела повышенные значения – дневные температуры достигали 28...34 °С, а среднесуточные на 5,2 °С больше среднеголетних значений. Вегетационный период 2023 г. характеризовался оптимальным ГТК=0,90. Температурный режим практически соответствовал среднеголетним значениям, а осадки выпадали крайне неравномерно и в виде ливневых дождей. Но важные этапы органогенеза (кущение, выход в трубку, колошение) проходили со значительным недобором осадков.

Таблица 1. Гидротермический коэффициент, количество осадков и сумма активных температур в различные вегетационные периоды

Год (ГТК)	Параметры	Май				Июнь				Июль			
		декада			сумма/средняя*	декада			сумма/средняя*	декада			сумма/средняя*
		I	II	III		I	II	III		I	II	III	
2019 (ГТК 0,7)	осадки, мм	6,6	10,5	30,9	48,0	-	3,2	35,0	38,2	10,7	9,4	18,1	38,2
	температура, °С	18,3	18,0	21,1	19,1	24,3	22,1	21,7	22,7	19,0	19,3	20,1	19,5
2020 (ГТК 1,36)	осадки, мм	27,7	8,1	21,3	57,1	71,0	11,7	30,2	112,9	17,9	31,2	6,4	55,5
	температура, °С	14,7	11,9	15,5	14,0	18,9	23,1	20,6	20,9	24,6	21,3	21,7	22,5
2021 (ГТК 0,7)	осадки, мм	26,9	6,6	9,0	42,5	62,5	6,6	3,2	72,3	9,7	-	31,4	41,1
	температура, °С	12,8	21,2	17,4	17,1	18,1	22,5	28,9	23,2	25,0	29,6	23,2	25,9
2022 (ГТК 0,53)	осадки, мм	19,6	16,4	13,6	49,6	17,1	15,6	8,0	40,7	-	8,7	7,3	16,0
	температура, °С	12,3	12,4	15,4	13,4	20,7	20,9	22,5	21,4	25,4	22,1	24,4	23,4
2023 (ГТК 0,9)	осадки, мм	2,4	0	6,5	8,9	3,2	0,8	31,5	35,5	18,1	21,0	43,3	82,4
	температура, °С	10,0	17,9	19,7	15,9	19,3	21,2	19,0	19,8	22,9	18,7	21,9	21,2
Среднеголетняя	осадки, мм	11	12	14	37	16	17	19	52	20	22	22	64
	температура, °С	10,7	12,8	14,6	12,7	15,8	16,6	17,4	16,6	18,3	18,9	19,3	18,8

* сумма – сумма осадков за месяц, средняя – среднесуточная температура воздуха за месяц.

Таким образом, большая часть вегетационных периодов за время исследований была засушливой, что позволило выделить наиболее ценный адаптивный материал из исследованных сортов/линий по продуктивности.

В испытании участвовали наиболее перспективные сорта и линии местной селекции, а также сорта, переданные на Государственное сортоиспытание (ГСИ) в количестве 18 номеров: Владимир, Яромир, Надежный, Знатный, Рафаэль, Любояр, Белозар, Зоран, Эрудит, Добрордей, Л 141/1 (Нур×Josephine), Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Л 58/4 [Kangoos×(Margrett×Владимир)], Л 35/1 [Гелиос×(Вакула×Выбор)], отбор из голозёрной формы Л h1137 (Тайга×23h343), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 10/4 (Cheers×Яромир), Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)]. Стандартом служил районированный сорт Надежный.

Почва участка – темно-серая лесная, тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу, среднего уровня плодородия. Агрохимические показатели: pH_{сол.} (ГОСТ 26483-85) – 4,88 ед.; содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91) – 4,54 %; содержание подвижного фосфора и калия (ГОСТ Р 54650-2011) – 378,0 и 275,0 мг/кг почвы соответственно; азота нитратного (ГОСТ 26951-86) – 41,4 мг/кг; азота аммонийного (ГОСТ 26489-85) – 4,43 мг/кг; обменного магния (ГОСТ 26487-85) – 2,16 ммоль/100 г.

Закладку питомника проводили в III декаде апреля ... I декаде мая сеялкой ССКФ-7М по предшественнику чистый пар. Площадь делянки – 10 м² (с 4-х кратным повторением). Норма высева – 500 всхожих семян на 1 м².

Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения из расчета (NPK)₆₄ д.в. в виде азофоски (N₁₆ P₁₆ K₁₆). В фазе кушения культуры проводили опрыскивание баковой смесью гербицидов (Балерина, СЭ – 0,4 л/га + Магнум, ВДГ – 7 г/га) с добавлением инсектицида Борей, СК – 0,1 л/га.

Уборку осуществляли селекционным комбайном «Сампо-130». После уборки зерно с делянок взвешивали и приводили к 14,0 % влажности с соответственным пересчетом в т/га.

В основу всех расчетов заложен признак «урожайность». Степень модификационной изменчивости признака (коэффициент вариации Cv, %), проявление признака «урожайность» (среднее $\bar{X}_i$, максимальное Lim_{max} и минимальное Lim_{min} значения), сопряженность параметров с урожайностью (коэффициент корреляции r), стандартная ошибка среднего значения показателя ($\pm SE_{\bar{X}_i}$), а так же дисперсионный анализ по методике Б. А. Доспехова (Методика полевого опыта (с основами

статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.) с использованием компьютерных программы «Microsoft Office Excel» и «Diana».

Статистические расчеты продуктивности и экологической адаптивности определяли по следующим методикам: коэффициент адаптивности (КА) по Л. А. Животковой с соавторами (Животков Л. А., Морозова З. А., Сека-туева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–7); размах урожайности (d , %) – по В. А. Зыкину с соавторами (Методики расчёта экологической пластичности сельскохозяйственных расте-

ний по дисциплине «Экологическая генетика» / сост. В. А. Зыкин, И. А. Белан, В. С. Юсов и др. Омск: ОмГАУ, 2008. 35 с.); показатель гомеостатичности (Hom) – по В. В. Хангильдину с соавторами (Хангильдин В. В., Ша-яхметов И. Ф., Мардамшин А. Г. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы // Генетический анализ количественных признаков растений. Уфа. 1979. С. 5–39); показатель уровня стабильности урожайности сорта (ЛУСС, %) – по Э. Д. Неттевичу с соавторами (Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна // Вестник с.-х. науки. 1985. № 1. С. 66–73); экологическую пластичность (коэффициент линейной регрессии b), стабильность урожайности (σ^2) и индекс условий среды (I) – по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина (Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 19(4). С. 109–113); фактор стабильности (SF) – по D. Lewis (Lewis D. Geneenvironment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. No. 8. P. 333–356); коэффициент мультипликативности (КМ) по В. А. Драгавцеву с соавторами (Драгавцев В. А., Цильке В. А., Рейтер Б. Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. 229 с.); индекс стабильности (ИС) по А. А. Грязнову (Грязнов А. А. Селекция ячменя в Северном Казахстане // Вестник РАСХН. 2000. № 4. С. 2–8.); генетическую гибкость сорта ($Lim_{min} + Lim_{max}/2$) по методике A. A. Rosielle, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко с соавторами (Экологическая устойчивость сортов озимой ржи с различным типом короткостебельности / Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А. и др. // Рос. с.-х. наука. 2019. № 3. С. 3–9).

Результаты и обсужде- ния. Расчет индекса условий среды (I_j) выявил благопри-

Таблица 2. Урожайность сортов и линий ярового ячменя

Сорт/ линия	Год включения в Госреестр	Урожайность, т/га						Cv, %
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	$X_j \pm SE_{X_j}$	
Владимир	2007	6,04	5,53	5,31	5,79	6,26	5,79 $\pm$ 0,17	6,6
Яромир	2013	6,19	5,97	6,41	7,13	8,10	6,76 $\pm$ 0,39	12,8
Надёжный, стандарт	2017	6,26	5,05	6,31	7,20	7,95	6,55 $\pm$ 0,48	16,6
Знатный	2020	6,56	5,34	6,28	7,71	7,16	6,61 $\pm$ 0,40	13,5
Рафазль	2022	6,70	5,08	7,11	6,27	7,89	6,61 $\pm$ 0,46	15,7
Любояр	2023	6,83	5,86	7,52	7,27	8,10	7,12 $\pm$ 0,37	11,7
Белозар	ГСИ	6,89	5,01	6,89	8,06	6,80	6,73 $\pm$ 0,48	16,2
Зоран	ГСИ	6,47	5,33	7,03	8,07	7,25	6,83 $\pm$ 0,45	14,8
Эрудит	ГСИ	6,98	4,62	7,43	7,28	8,26	6,91 $\pm$ 0,61	19,7
Добродей	ГСИ	6,99	4,55	6,84	7,80	8,24	6,88 $\pm$ 0,63	20,6
Л 141/1	-	6,58	5,54	6,19	6,84	7,46	6,52 $\pm$ 0,32	10,9
Л 27/3	-	6,76	5,76	6,26	7,19	9,19	7,03 $\pm$ 0,59	18,8
Л 58/4	-	5,73	5,25	6,75	6,91	8,24	6,58 $\pm$ 0,52	17,6
Л 35/1	-	6,59	5,2	6,25	6,91	7,94	6,58 $\pm$ 0,44	15,0
Л 1137	-	5,81	5,73	5,98	6,89	8,05	6,49 $\pm$ 0,44	15,1
Л 67/2	-	7,22	5,63	7,04	7,76	7,94	7,12 $\pm$ 0,40	12,8
Л 10/4	-	7,37	5,57	6,60	6,49	6,11	6,43 $\pm$ 0,29	10,3
Л 88/3	-	6,99	5,56	5,87	6,69	10,3	7,08 $\pm$ 0,84	26,6
НСР ₀₅	-	0,63	0,76	0,67	0,78	0,48	-	-
X_j	-	6,60	5,36	6,55	7,12	7,84	6,70 $\pm$ 0,40	15,3
Индекс условий среды (I_j)	-	-0,09	-1,33	-0,14	+0,43	+1,15	-	-

ятные условия для роста и развития ячменя ярового в 2022 и 2023 гг. ($I_j = +0,43...+1,15$). В эти годы выявлена самая высокая урожайность исследуемых образцов – 7,12...7,84 т/га, по сравнению с 2019–2021 гг. ($I_j = -0,09...-1,13$) – 5,36...6,60 т/га (табл. 2).

Сорта, находящиеся на Государственном сортоиспытании, и выделенные перспективные линии, имеют приоритет по урожайности, в сравнении со стандартным сортом, на 0,03...0,57 т/га. Самая высокая прибавка урожайности, относительно стандарта, на 7,3...8,7 %, отмечена у сорта Любояр и линий Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 88/3 [Kango×(Margrett×Владимир)]. Сорт ранней селекции Владимир обеспечил самую низкую среднюю урожайность из всего набора генотипов – 5,79 т/га.

Среднесортное варьирование урожайности по годам не высокое (в среднем $Cv = 15,3\%$), что указывает на высокую степень адаптивности к условиям региона возделывания. Только у Л 88/3 [Kango×(Margrett×Владимир)] из всего ассортимента испытываемого материала был высокий коэффициент вариации $Cv = 26,6\%$.

Разнообразие погодных условий в годы исследования позволило определить статистически значимый вклад факторов внешней среды в генотипическое варьирование растений ячменя. Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа вклад генотипа (сорта/линии) в общую изменчивость признака «урожайность» составил 7,7 %, вклад условий среды – 63,4 %, генотипо-средовых взаимодействий (реакции генотипа на условия внешней среды) – 28,1 % (табл. 3). Дальнейший рост урожайности

Таблица 3. Вклад факторов и их взаимодействие в формировании урожайности сортов/линий ячменя ярового

Источник варьирования	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средние квадраты, MS	F*	Доля фактора, %
Общее	185,82	179	1,04	-	100,0
Фактор А (среда)	117,86	4	29,46	2,51	63,4
Фактор В (генотип)	14,34	17	0,84	1,77	7,7
Взаимодействие А × В	52,21	68	0,87	1,45	28,1
Неучтенный фактор	1,41	90	0,02	1,45	0,8

* – значимо при уровне вероятности $P \geq 0,95$.

Таблица 4. Параметры адаптивных свойств и экологической устойчивости сортов и линий ячменя ярового

Сорт, линия	b_i	σd^2	KM	KA	SF	Hom	d, %	$(\text{Lim}_{\min}^+ + \text{Lim}_{\max})/2$	ПУСС, %	ИС	Место в рейтинговой шкале
Владимир	0,65	3,56	2,44	0,88	1,18	0,88	0,15	5,78	199,8	8,8	18
Яромир	1,26	4,03	2,79	1,02	1,35	0,53	0,26	7,04	140,5	5,3	2
Надёжный, st.	1,54	4,35	2,63	0,98	1,57	0,39	0,36	6,50	100,0	3,9	14
Знатный	1,22	3,81	2,39	0,99	1,44	0,49	0,31	6,53	127,0	4,9	13
Рафаэль	1,35	3,87	2,49	0,99	1,55	0,42	0,35	6,49	108,9	4,2	16
Любояр	1,26	4,2	2,37	1,07	1,38	0,61	0,27	6,98	170,3	6,1	1
Белозар	1,22	3,64	2,34	1,01	1,61	0,42	0,38	6,54	110,8	4,2	15
Зоран	1,28	3,85	2,39	1,03	1,51	0,46	0,34	6,70	123,2	4,6	7
Эрудит	1,74	3,88	2,67	1,02	1,34	0,37	0,26	6,50	100,3	3,7	10
Добродей	1,84	3,87	2,74	1,00	1,60	0,37	0,37	7,48	100,0	3,7	5
Л 141/1	1,15	3,92	2,38	0,98	1,79	0,60	0,44	6,44	153,4	6,0	11
Л 27/3	1,70	4,44	2,70	1,06	1,81	0,37	0,45	6,40	102,0	3,7	6
Л 58/4	1,53	4,04	2,64	0,97	1,60	0,37	0,37	6,75	95,4	3,7	12
Л 35/1	1,44	3,95	2,57	0,99	1,52	0,44	0,34	6,57	113,5	4,4	9
Л h1137	1,33	4,14	2,54	0,98	1,40	0,43	0,29	6,89	109,4	4,3	8
Л 67/2	1,35	4,12	2,42	1,07	1,41	0,55	0,29	6,79	153,6	5,5	3
Л 10/4	0,59	3,57	1,96	0,98	1,32	0,62	0,24	6,47	156,3	6,2	17
Л 88/3	2,11	4,67	2,98	1,05	1,85	0,27	0,46	7,93	75,0	2,7	4
г с урожайностью	0,669*	0,584*	0,340	0,971*	0,416	-0,596*	0,469*	0,643*	-0,424	-0,596*	

* – значимо при уровне вероятности $P \geq 0,95$.

возможен благодаря повышению адаптивного потенциала при создании новых сортов. В связи с этим, акцентируется важность повышения адаптивности растений к контрастным погодным условиям конкретного региона возделывания для создания экологически устойчивых и продуктивных сортов растений.

Наряду с дисперсионным анализом, учитывающим взаимодействие генотипо-средовых связей, проанализированы показатели экологической адаптивности, позволяющие выделить лучшие генотипы для условий региона.

Коэффициент регрессии $b_i > 1,0$ у большинства исследуемых сортов/линий свидетельствует о их высокой пластичности, что характерно для сортов интенсивного типа (табл. 4). К образцам экстенсивного типа ($b_i < 1,0$) отнесены сорт Владимир и Л 10/4 (Cheers×Яромир).

Межсортная вариация выбранных образцов по коэффициенту мультипликативности (KM) изменяется слабо ($C_v = 8,8\%$), что затрудняет оценку экологической устойчивости. Однако, наибольший KM, свидетельствующий о сильной ответной реакции на улучшение условий окружающей среды, отмечено у линии Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)] – 2,98 ед.

Таким образом, по коэффициентам пластичности (b_i и KM) выделены все исследуемые образцы, кроме сорта Владимир и линии Л 10/4 (Cheers×Яромир).

Лучшими по уровню лимитированной урожайности ($\text{Lim}_{\min}$) $> 5,50$ т/га и по показателю генетической гибкости ($(\text{Lim}_{\min} + \text{Lim}_{\max})/2$) $> 6,8$ т/га были сорта Яромир, Любояр, Добродей, Л h1137 (Тайга×23h343), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)].

Показатели стабильности генотипов ($\sigma^2 d$, SF, d, ИС) указывают на то, что весь исследуемый материал способен сохранять постоянство урожая при изменяющихся условиях среды. Следуя модели расчёта S. A. Eberhart и W. A. Russel, в практическом плане высокоценными генотипами принято считать те, у которых $b_i > 1,0$, а коэффициент стабильности (σd^2) стремится к нулю. К таким генотипам отнесены Знатный, Рафаэль, Белозар, Зоран, Эрудит, Добродей, Л 141/1 (Нур×Josephine), Л 35/1 [Гелиос×(Вакула×Выбор)]. У всех исследуемых образцов фактор фенотипической стабильности SF был больше 1,0 – генотипы наиболее устойчивы по фенотипу к выращиванию в

разных вегетационных условиях. Особо выделились линии Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир) и Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)] – $SF > 1,80$. Размах урожайности (d, %) варьировал в опыте от 0,15 % (Владимир) до 0,46 % (Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)]). У большинства исследуемых генотипов (60,0 %) d был ниже, чем у стандартного сорта – Владимир, Яромир, Знатный, Рафаэль, Любояр, Зоран, Эрудит, Л 35/1 [Гелиос×(Вакула×Выбор)], Л h1137 (Тайга×23h343), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 10/4 (Cheers×Яромир).

Меньшее снижение урожая при ухудшении условий выращивания – комплексные показатели уровня стабильности сорта (ПУСС) и гомеостатичности (Hom). По параметрам высокой гомеостатичности выделены сорта Владимир, Любояр и перспективные линии Л 141/1 (Нур×Josephine), Л 10/4 (Cheers×Яромир), имеющие $\text{Hom} \geq 0,60$. Большинство исследуемых образцов (88,9 %) характеризовались ПУСС выше стандартного сорта, принятого за 100,0 %. Эти показатели экологической адаптивности имеют умеренную отрицательную связь с урожайностью ($r = -0,424 \dots -0,596$, $P \geq 0,95$).

В наших исследованиях коэффициент адаптивности (KA) варьировал от 0,88 (Владимир) до 1,07 (Любояр, Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)]). Так как этот коэффициент имеет сильную положительную связь с урожайностью ($r = 0,971$, $P \geq 0,95$), то на него стоит акцентировать особое внимание при анализе исследуемого материала на адаптивность. Только 50,0 % из исследуемого набора образцов имели $KA > 1,0$ – сорта Яромир, Любояр, Белозар, Зоран, Эрудит, Добродей и линии Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 88/3 [Kangoos×(Margrett×Владимир)], способные обеспечить высокую среднюю урожайность во всей совокупности сред. Стоит отметить, что за период анализа у сорта Любояр и линий Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)] KA ежегодно был больше 1,0.

Выводы. Согласно результатам расчета индекса условий среды (I_j) благоприятные условия для роста и развития ячменя ярового складывались в 2022 и 2023 гг. ($I_j = +0,43 \dots +1,15$). В эти годы выявлена самая высокая урожайность исследуемых образцов

– 7,12...7,84 т/га, по сравнению с 2019–2021 гг. ($I_j = -0,09...-1,13$) – 5,36...6,60 т/га. Вклад генотипа в общую изменчивость признака «урожайность» составил 7,7 %, условий среды – 63,4 %, генотипо-средовых взаимодействий – 28,1 %. По коэффициенту регрессии ($b_i > 1,0$) и коэффициенту мультипликативности ($KM > 2,0$) выделились 88,9 % исследуемых образцов. Величины показателей стабильности генотипов (σ_d^2 , SF , d , IC) указывают на то, что весь исследуемый материал устойчиво формировал урожай в изменяющихся условиях среды. По гомеостатичности ($Hom \geq 0,60$) выделены сорта Владимир, Любаяр и перспективные линии Л 141/1 (Нур×Josephine), Л 10/4 (Cheers×Яромир). У 88,9 % из всего набора образцов величина показателя уровня и стабильности сорта (ЛУСС) превышала 100,0 %. Только у 50,0 % всех генотипов коэффициент адаптивности (KA) был больше

1,0 – сорта Яромир, Любаяр, Белозар, Зоран, Эрудит, Добродей и линии Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 88/3 [Kango×(Margrett×Владимир)]. Лучшими по уровню лимитированной урожайности ($Lim_{min} > 5,50$ т/га) и показателю генетической гибкости ($((Lim_{min} + Lim_{max})/2 > 6,80)$) оказались сорта Яромир, Любаяр, Добродей, а также линии Лh1137 (Тайга×23h343), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)] и Л 88/3 [Kango×(Margrett×Владимир)].

По комплексу показателей адаптивности лучшими из исследуемого набора были Яромир, Любаяр, Добродей (ГСИ), Зоран (ГСИ), Л h1137 (Тайга×23h343), Л 27/3 (Докучаевский 9×Яромир), Л 67/2 [Арбалет×(Margrett×Владимир)], Л 88/3 [Kango×(Margrett×Владимир)], Л 35/1 [Гелиос×(Вакула×Выбор)].

Литература.

1. Langridge P., Reynolds M. Breeding for drought and heat tolerance in wheat // *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. Vol. 134. No. 6. P. 1753–1769. doi: 10.1007/s00122-021-03795-1.
2. Богдан П. М., Коновалова И. В., Клыков А. Г. Влияние абиотических факторов на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Приморского края // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 1. С. 16–20. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10103.
3. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 6. С. 18–22. doi: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
4. Зайцев Н. И., Равенко В. Ю., Устарханова Э. Г. Результаты мониторинга поврежденных градом посевов сои // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (1). С. 67–75. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.67-75.
5. Волкова Л. В., Щенникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 3. С. 140–146. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
6. Phenomic selection in wheat breeding: identification and optimisation of factors influencing prediction accuracy and comparison to genomic selection / P. Robert, J. Auzanneau, E. Goudemand, et al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. Vol. 135. No. 3. P. 895–914. doi: 10.1007/s00122-021-04005-8.
7. Levakova O. V. Analytical studies of new genetic sources of *Nordeum vulgare* L. sensulato on ecological adaptability in the conditions of the center of the European part of Russia // *BIO Web of Conferences*. 2023. Vol. 71. Article 01086. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2023/16/bioconf_cibta2023_01086/bioconf_cibta2023_01086.html (дата обращения: 24.10.2023). doi: 10.1051/bioconf/20237101086.
8. Кокина Л. П., Щеклеина Л. М., Кунилова А. В. Источники селекционно-ценных признаков и их использование в создании адаптивных к условиям Волго-Вятского региона сортов ячменя // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017. № 3 (58). С. 9–14. doi: 10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14.
9. Левакова О. В. Хозяйственно ценные признаки и селекционные индексы сортов ячменя ярового разного эколого-географического происхождения в условиях Рязанской области // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 7. С. 22–28. doi: 10.28983/asj.y2023i7pp22-28.
10. Создание сорта мягкой яровой пшеницы Гренада с помощью инновационных технологий селекции на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков / В. В. Новохатин, В. А. Драгавцев, Т. А. Леонова и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 5. С. 905–919. doi: 10.15389/agrobiology.2019.5.905rus.

References

1. Langridge P., Reynolds M. Breeding for drought and heat tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(6):1753-69. doi: 10.1007/s00122-021-03795-1.
2. Bogdan PM, Kononova IV, Klykov AG. [Influence of abiotic factors on the yield and grain quality of spring common wheat under the conditions of the Primorsky Territory]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021;35(1):16-20. Russian. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10103.
3. Ionova EV, Likhovidova VA, Lobunskaya IA. [Drought and hydrothermal moisture coefficient as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (review)]. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*. 2019;(6):18-22. Russian. doi: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
4. Zaytsev NI, Ravenko VYu, Ustarkhanova EG. [Results of monitoring of soybean crops damaged by hail]. *Agramaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*. 2021;(22):67-75. Russian. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.67-75.
5. Volkova LV, Shchennikova IN. [Comparative assessment of methods for calculating adaptive reactions of grain crops]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2020;(3):140-6. Russian. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
6. Robert P, Auzanneau J, Goudemand E, et al. Phenomic selection in wheat breeding: identification and optimisation of factors influencing prediction accuracy and comparison to genomic selection. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(3):895-914. doi: 10.1007/s00122-021-04005-8.
7. Levakova OV. Analytical studies of new genetic sources of *Nordeum vulgare* L. sensulato on ecological adaptability in the conditions of the center of the European part of Russia. *BIO Web of Conferences* [Internet]. 2023 [cited 2023 Oct 24];71: Article 01086. Available from: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2023/16/bioconf_cibta2023_01086/bioconf_cibta2023_01086.html. doi: 10.1051/bioconf/20237101086.
8. Kokina LP, Shchekleina LM, Kunilova AV. [Sources of breeding-valuable traits and their use in the development of barley varieties adapted to the conditions of the Volga-Vyatka region]. *Agramaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*. 2017;(3):9-14. Russian. doi: 10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14.
9. Levakova OV. [Economically valuable traits and breeding indices of spring barley varieties of different ecological and geographical origin under the conditions of the Ryazan region]. *Agramyy nauchnyy zhurnal*. 2023;(7):22-8. Russian. doi: 10.28983/asj.y2023i7pp22-28.
10. Novokhatin VV, Dragavtsev VA, Leonova TA, et al. [Creation of the soft spring wheat variety Grenada using innovative breeding technologies based on the theory of ecological-genetic organization of quantitative traits]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2019;54(5):905-19. Russian. doi: 10.15389/agrobiology.2019.5.905rus.