

Изучение влияния сроков посева и норм высева на адаптивную реакцию перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18

Р. А. Максимов[✉]

Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Аннотация. На завершающем этапе селекционного процесса актуальной задачей является выявление адаптивной реакции перспективного селекционного материала для принятия решения об адресности государственного испытания. **Цель исследования** состояла в изучении адаптивной реакции перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18. **Методы.** Указанный номер сравнивался со стандартом Памяти Чепелева. В условиях 2023 г. средовую изменчивость количественных признаков обеспечили три срока посева и четыре нормы высева. Применялись статистические методы и математические модели: дисперсионный анализ, аддитивная математическая модель, анализ адаптивных характеристик. **Результаты.** По полученным переменным значениям были построены и статистически обоснованы аддитивные математические модели взаимосвязи биологической урожайности и ее элементов структуры, составлены точечные прогнозы биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}). Доказательством точности прогнозов выступил коэффициент k_p , который изменялся в пределах 2,6–4,1 % и показал, что результативный признак спрогнозирован достаточно точно. Далее полученные результаты были дифференцированы в прогнозы биологической урожайности (\hat{Y}_{rci}) в зависимости от эффектов переменных значений количественных признаков (X_{ri}). Результаты (\hat{Y}_{rci}) стали источником для расчета показателей адаптивной способности, средней стабильности и селекционной ценности, которые в дальнейшем показаны в динамике, по периодам роста и развития растений. Анализ прогнозов биологической урожайности показал преимущество номера 3856н-6-18 по селекционной ценности ($СЦП_{2i} = 1,70$) в период формирования озерненности колоса, что было обеспечено преобладанием как общей адаптивной способности ($ВПА_{2i} = 0,34$ т/га), так и средней устойчивости ($Sg_{2i} = 9,4$ %). В конце вегетации (формирование, налив и созревание зерна) преимущество за перспективным номером ($СЦП_{3i} = 1,28$), связанное со средней стабильностью ($Sg_{3i} = 7,1$ %). **Научная новизна.** По перспективному номеру 3856н-6-18 в фиксированном диапазоне изменчивости урожайности (7,05–8,11 т/га) выявлена динамика изменения адаптивных характеристик в процессе роста и развития растений.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), количественные признаки, урожайность, генотип, регрессия

Для цитирования: Максимов Р. А. Изучение влияния сроков посева и норм высева на адаптивную реакцию перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18 // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1254–1265. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1254-1265>.

Дата поступления статьи: 26.04.2024, **дата рецензирования:** 30.05.2024, **дата принятия:** 29.07.2024.

Study of the influence of sowing dates and seeding rates on the adaptive response of promising barley breeding number 3856n-6-18

R. A. Maksimov[✉]

Ural Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

[✉]E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Abstract. At the final stage of the breeding process, an urgent task is to identify the adaptive response of promising breeding material for making a decision on the targeting of state testing. **The purpose** of the study was to study the adaptive reaction of the selective breeding number of barley 3856h-6-18. **Methods.** The specified number was compared with the standard of Pamyati Chepeleva. In the conditions of 2023, the environmental variability of quantitative values was ensured by three sowing periods and four seeding rates. Statistical methods and mathematical models were used: analysis of variance, additive mathematical model, analysis of adaptive characteristics. **Results.** Based on the obtained variable values, additive mathematical models of the relationship between biological yield and its structural elements were constructed and statistically justified, and point forecasts of biological yield (\hat{Y}_{ci}) were made. The k_i coefficient proved the accuracy of the forecasts, which varied in the range of 2.6–4.1 % and shows that the effective feature is predicted quite accurately. Further, the obtained results were differentiated into forecasts of biological yield (\hat{Y}_{rci}) depending on the effects of variable values of quantitative characteristics (X_{ri}). The results became a source for calculating indicators of adaptive ability, environmental stability and breeding value, which are further shown in the dynamics, according to the periods of plant growth and development. The analysis of biological yield forecasts showed the advantage of number 3856h-6-18 in terms of breeding value ($BVT_{2i} = 1.70$) during the formation of ear lake, which was ensured by the predominance of both general adaptive capacity ($WIA_{2i} = 0.34$ т/га) and environmental stability ($Sg_{2i} = 9.4$ %). At the end of the growing season (formation, filling and maturation of grain), the advantage belongs to the promising number ($BVT_{3i} = 1.28$), associated with environmental stability – $Sg_{3i} = 7.1$ %. **Scientific novelty.** According to the prospective number 3856n-6-18 in a fixed range of yield variability (7.05–8.11 t/ha) revealed the dynamics of changes in adaptive characteristics in the process of plant growth and development.

Keywords: barley (*Hordeum vulgare* L.), quantitative characteristics, yield, genotype, regression

For citation: Maksimov R. A. Study of the influence of sowing dates and seeding rates on the adaptive response of promising barley breeding number 3856n-6-18. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1254–1265. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1254-1265>. (In Russ.)

Date of paper submission: 26.04.2024, **date of review:** 30.05.2024, **date of acceptance:** 29.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях глобального изменения климата, нестабильных цен на продукцию сельскохозяйственного производства и удорожания ресурсов отмечается снижение темпов устойчивого роста урожайности новых сортов различных сельскохозяйственных культур, созданных при применении традиционных подходов селекции [1]. В качестве альтернативы классической селекции в некоторых странах становится популярным трансгенез, однако внедрение чужеродных генов в организм того или иного вида – вопрос недостаточно изученный и может представлять угрозу устойчивости биосферы и наследственности живых организмов [2; 3]. В последние годы быстрыми темпами развивается гетерозисная селекция перекрестноопыляемых культур, но по самоопылителям пока отсутствуют ощутимые результаты [4; 5]. Вместе с этим, по данным

мировой и отечественной науки, есть значительные сдвиги в таких аспектах фундаментальной селекции и генетики, как методология фенотипирования, статистическая оценка результатов и отбор посредством молекулярного маркирования [6; 7]. По перечисленным направлениям в нашем учреждении продолжают проводиться поисковые эксперименты [8–10]. Одним из результатов исследований является разработанная методика дифференциации точечного прогноза биологической урожайности посредством аддитивной математической модели преобразования исходных данных. При применении указанной методики открыты различные экотипы ячменя по адаптивной реакции в процессе роста и развития растений [11; 12].

Вместе с высоким потенциалом урожайности сорта сельскохозяйственных культур должны сочетать в себе высокую общую адаптивную способ-

ность для возможности коммерциализации на обширной территории. При этом основная ценность сортов множества сельскохозяйственных культур определяется способностью формировать максимальный урожай продукции, которая во многих исследованиях является маркерным признаком для расчета адаптивных характеристик. Адаптивность – широкое понятие, сочетающее в себе экологическую пластичность и средовую устойчивость (стабильность). Пластичность сорта – это его способность приспосабливаться к различным экологическим условиям среды обитания и возможности максимальной реализации урожайности при формировании стабильно высокого качества продукции и сохранении технологических свойств. Средовая устойчивость (стабильность) сорта – это способность противостоять неблагоприятным факторам среды с наименьшими потерями урожайности, качества продукции и с сохранением технологических свойств [13].

Селекционный процесс по зерновым культурам занимает продолжительное время (10–12 лет). На заключительном этапе селекции (конкурсное сортоиспытание) в течение 2–3 лет тот или иной номер признается перспективным и начинается его агротехническая проработка. При этом наиболее информативным селекционным признаком выступает урожайность зерна. По этому признаку зачастую в перспективе получают информацию об адаптивности генотипа. Однако в системе взаимодействия генотип × среда еще требуется минимум 5–8 лет для получения искомых результатов, поскольку для статистического анализа необходим приемлемый набор вариантов опыта [14].

Еще один вопрос адаптивной селекции заключается в том, что базовый показатель (урожайность зерна) сам по себе является интегральным и формируется в результате варьирования количественных признаков (количество продуктивных стеблей, число зерен в колосе, масса 1000 зерен). Часто тот или иной лимитирующий фактор действует на урожайность в короткий промежуток времени, поэтому некоторые экспериментаторы в решении этой проблемы в качестве анализируемого признака используют количественные (средовые) изменения того или иного элемента структуры урожайности при учете его высокой линейной сопряженности с конечным результатом (урожайностью). В случае же низкой и средней линейной корреляции результирующего признака и результата воздействия того или иного лимитирующего фактора на урожайность выявить в данной математической модели весьма затруднительно. В этой связи проблема дезинтеграции биологической урожайности была решена в 2021 году, здесь посредством использования аддитивной математической модели предложен новый (расчетный) показатель (\bar{Y}_{rci}). Однако для этого потребова-

лось 10 различных сред, поскольку опыты проводились с 2011 по 2021 год [12].

В вопросе увеличения количества сред для проведения статистического анализа адаптивных свойств генотипов ячменя мы предлагаем в рамках одного года исследования создать условия варьирования количественных признаков путем применения различных агротехнических приемов (сроки посева и нормы высева).

Цель исследования – при применении различных агротехнических фонов выявить средовую реакцию перспективного номера ячменя 3856н-6-18 для получения информации о его адаптивных свойствах в сравнении со стандартом Памяти Чепелева в различные периоды роста и развития растений.

Методология и методы исследования (Methods)

В агроклиматических условиях Юго-Запада Свердловской области (1 км на север от г. Красноуфимска) в 2023 году заложены опыты по трем факторам: генотипы (фактор А), сроки посева (фактор Б) и нормы высева (фактор В). Использовался селекционный севооборот (поле № 3), площадь экспериментальной делянки – 10 м². Биометрия – путем отбора снопов с фиксированной площади 1 м². По фактору А тестировали перспективный номер 3856н-6-18 в сравнении со стандартом Памяти Чепелева, который, по данным 2023 года (ФГБУ «Россельхозцентр»), является лидером в РФ по объему высеваемых семян: 76,5 тыс. тонн [15]. Используемые генотипы имеют двухрядный колос и относятся к таксономической группе *Hordeum vulgare L. subsp. distichon (L.) Koern. var. nutans Schubl.* По фактору Б исследовали три срока посева: 24 апреля, 3 и 12 мая. По фактору В применяли четыре нормы высева: 3, 4, 5 и 6 млн всхожих семян на 1 га.

Для определения долевого вклада факторов в изменчивость признаков использовали двухфакторный дисперсионный анализ, расчет аддитивной математической модели взаимосвязи биологической урожайности с ее элементами структуры проводили в программе Microsoft Excel [16]. Проверку распределения на нормальность осуществляли с использованием критерия p-value, рассчитанного в рамках двухфакторного дисперсионного анализа в программе Excel. Исходные данные приведены в таблице 1.

Исходные данные были использованы для расчетов взаимосвязи биологической урожайности и количественных признаков, по формуле:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3, \quad (1)$$

где Y – биологическая урожайность;

X_1 , X_2 и X_3 – переменные количественных признаков;

b_1 , b_2 и b_3 – коэффициенты частной регрессии;

a – общее начало отсчета, или свободный член, который находится по формуле:

$$a = Y - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - b_3 \bar{X}_3. \quad (2)$$

Точечный прогноз биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) по каждому средовому фону определяли путем постановки в уравнение множественной переменных значений (X_{rci}). Проверку прогноза осуществляли на основании расчетов коэффициента k_i , который рассчитывался по формуле:

$$k_i = \frac{\sigma_i}{\bar{Y}_i} 100, \quad (3)$$

где

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (Y_{ri} - \hat{Y}_{ri})^2}{n-l-1}}, \quad (4)$$

здесь Y_{ci} – значения исходной биологической урожайности в c -й среде (см. таблицу 1);

\hat{Y}_{ci} – точечный прогноз биологической урожайности в c -й среде;

n – количество агротехнических фоновых сред;

l – число переменных (факторных) признаков (3).

В составлении адекватных прогнозов коэффициент $k_i \leq 15$.

Величина (\hat{Y}_{rci}) характеризует долевым вклад r -го признака в точечный прогноз урожайности, с учетом постоянных значений регрессоров (b_{ri}) уравнения (1) и находится по формуле:

$$\hat{Y}_{rci} = \hat{Y}_{ci} \frac{b_{ri} X_{rci}}{\sum b_{ri} X_{rci}}, \quad (5)$$

где $r = 1 \dots 3$; $i = 1, \dots m$;

\hat{Y}_{rci} – зависимая переменная (точечный прогноз урожайности в зависимости от r -го количественного признака в c -й среде);

\hat{Y}_{ci} – точечный прогноз урожайности в c -й среде;

X_{rci} – независимая переменная r -го признака в c -й среде;

b_{ri} – коэффициент регрессии r -го признака;

r – номер количественной переменной из уравнения регрессии (см. формулу 1);

m – количество генотипов в опыте [12].

Таблица 1

Биометрические значения количественных признаков и урожайности исследуемых генотипов ячменя, 2023 г.

Показатель	1-й срок посева				2-й срок посева				3-й срок посева				Среднее
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	
Памяти Чепелева													
Число продуктивных стеблей шт/м ²	690	708	787	806	638	714	772	727	670	707	707	785	726
Число зерен в колосе, шт.	22,1	19,3	18,4	18,6	21,9	18,3	18,5	22,5	22,0	22,4	23,3	21,0	20,7
Масса 1000 зерен, г	46,5	45,3	42,8	41,2	44,1	48,1	43,8	37,9	48,5	47,0	45,0	44,3	44,5
Урожайность, т/га	7,11	6,18	6,20	6,18	6,16	6,29	6,27	6,20	7,15	7,44	7,41	7,30	6,66
3856н-6-18													
Число продуктивных стеблей шт/м ²	716	688	803	808	665	734	752	916	595	609	753	838	740
Число зерен в колосе, шт.	22,2	22,7	20,8	21,5	22,7	22,8	23,5	19,0	26,5	24,1	22,8	21,3	22,5
Масса 1000 зерен, г	45,5	45,6	42,2	44,0	47,8	43,9	44,5	44,1	50,4	51,4	46,1	45,4	45,9
Урожайность, т/га	7,24	7,12	7,05	7,64	7,21	7,34	7,86	7,67	7,95	7,55	7,92	8,11	7,55

Примечание. * Норма высева в млн всхожих семян на 1 га.

Table 1

Biometric values of quantitative characteristics and yields of the studied barley genotypes, 2023

Indicator	1 st sowing period				2 nd sowing period				3 rd sowing period				Average
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	
Pamyati Chepeleva													
The number of productive stems pcs/m ²	690	708	787	806	638	714	772	727	670	707	707	785	726
The number of grains in the ear, pcs.	22.1	19.3	18.4	18.6	21.9	18.3	18.5	22.5	22.0	22.4	23.3	21.0	20.7
Weight of 1000 grains, g	46.5	45.3	42.8	41.2	44.1	48.1	43.8	37.9	48.5	47.0	45.0	44.3	44.5
Yield, t/ha	7.11	6.18	6.20	6.18	6.16	6.29	6.27	6.20	7.15	7.44	7.41	7.30	6.66
3856н-6-18													
The number of productive stems pcs/m ²	716	688	803	808	665	734	752	916	595	609	753	838	740
The number of grains in the ear, pcs.	22.2	22.7	20.8	21.5	22.7	22.8	23.5	19.0	26.5	24.1	22.8	21.3	22.5
Weight of 1000 grains, g	45.5	45.6	42.2	44.0	47.8	43.9	44.5	44.1	50.4	51.4	46.1	45.4	45.9
Yield, t/ha	7.24	7.12	7.05	7.64	7.21	7.34	7.86	7.67	7.95	7.55	7.92	8.11	7.55

Note. * The seeding rate in millions germinating seeds per 1 ha.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа по исходным данным биологической урожайности и ее элементам структуры генотипов ячменя в средовых условиях, обусловленных различными сроками посева и нормами высева, 2023 г.

Агротехнологии

Источник варьирования	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средние квадраты, MS	Доля влияния фактора, %	F _{факт.}	F _{теор.}	P-value
Количество продуктивных стеблей, шт/м²							
Генотип	4 603	1	4 603,4	0,9	6,5	4,0	0,013194
Среда	390 191	11	35 471,9	69,9	49,8	1,9	3,5E-29
Генотип × среда	112 431	11	10 221,1	20,0	14,3	1,9	3,77E-14
Остаток (ошибка)	51 317	72	712,7	9,2			
Итого	558 543	95		100,0			
Количество зерен в колосе, шт.							
Генотип	77,9	1	77,9	18,8	217,2	4,0	1,97E-23
Среда	174,2	11	15,8	42,0	44,1	1,9	1,47E-27
Генотип × среда	136,8	11	12,4	33,0	34,7	1,9	2,19E-24
Остаток (ошибка)	25,8	72	0,4	6,2			
Итого	414,8	95		100,0			
Масса 1000 зерен, г							
Генотип	45,1	1	45,1	5,5	49,9	4,0	8,38E-10
Среда	552,1	11	50,2	66,7	55,6	1,9	1,07E-30
Генотип × среда	165,3	11	15,0	20,0	16,6	1,9	1,07E-15
Остаток (ошибка)	65,0	72	0,9	7,9			
Итого	827,5	95					
Биологическая урожайность, т/га							
Генотип	19,3	1	19,3	41,2	169,2	4,0	1,39E-20
Среда	14,3	11	1,3	30,5	11,4	1,9	6,47E-12
Генотип × среда	5,1	11	0,5	10,9	4,1	1,9	0,0001
Остаток (ошибка)	8,2	72	0,1	17,5			
Итого	46,9	95					

Table 2

The results of the analysis of variance based on the initial data of biological yield and its elements of the structure of barley genotypes in environmental conditions due to different sowing dates and seeding rates, 2023

Source of variation	Sum of squares, SS	The number of degrees of freedom, df	Average squares, MS	The share of the factor's influence, %	F _{fact.}	F _{theor.}	P-value
The number of productive stems pcs/m²							
Genotype	4 603	1	4 603.4	0.9	6.5	4.0	0.0132
Environment	390 191	11	35 471.9	69.9	49.8	1.9	3.5E-29
Genotype × environment	112 431	11	10221.1	20.0	14.3	1.9	3.77E-14
Remainder (error)	51 317	72	712.7	9.2			
Total	558 543	95		100.0			
The number of grains in the ear, pcs.							
Genotype	77.9	1	77.9	18.8	217.2	4.0	1.97E-23
Environment	174.2	11	15.8	42.0	44.1	1.9	1.47E-27
Genotype × environment	136.8	11	12.4	33.0	34.7	1.9	2.19E-24
Remainder (error)	25.8	72	0.4	6.2			
Total	414.8	95		100.0			
Weight of 1000 grains, g							
Genotype	45.1	1	45.1	5.5	49.9	4.0	8.38E-10
Environment	552.1	11	50.2	66.7	55.6	1.9	1.07E-30
Genotype × environment	165.3	11	15.0	20.0	16.6	1.9	1.07E-15
Remainder (error)	65.0	72	0.9	7.9			
Total	827.5	95					
Biological productivity, t/ha							
Genotype	19.3	1	19.3	41.2	169.2	4.0	1.39E-20
Environment	14.3	11	1.3	30.5	11.4	1.9	6.47E-12
Genotype × environment	5.1	11	0.5	10.9	4.1	1.9	0.0001
Remainder (error)	8.2	72	0.1	17.5			
Total	46.9	95					

Аддитивные математические модели взаимосвязи биологической урожайности генотипов ячменя с биометрическими значениями элементов ее структуры, 2023 г.

Генотип	Уравнение регрессии*	R^2	Критерий Фишера	
			$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
Памяти Чепелева	$Y = 0,0095 \times X_1 + 0,3321 \times X_2 + 0,1584 \times X_3 - 14,17$	0,99	1511,9	4,01
3856н-6-18	$Y = 0,0090 \times X_1 + 0,3242 \times X_2 + 0,1172 \times X_3 - 11,78$	0,95	47,6	

Примечание. * Y – урожайность (по различным срокам и нормам посева), X_1 , X_2 и X_3 – количественные значения структуры урожайности.

Table 3

Additive mathematical models of the relationship between the biological yield of barley genotypes and the biometric values of its structural elements, 2023

Genotype	The regression equation*	R^2	The Fisher Criterion	
			$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$
Pamyati Chepeleva	$Y = 0.0095 \times X_1 + 0.3321 \times X_2 + 0.1584 \times X_3 - 14.17$	0.99	1511.9	4.01
3856n-6-18	$Y = 0.0090 \times X_1 + 0.3242 \times X_2 + 0.1172 \times X_3 - 11.78$	0.95	47.6	

Note. * Y – yield (according to different terms and seeding rates), X_1 , X_2 and X_3 – quantitative values of the yield structure.

Результаты (Results)

В данном исследовании мы применяли различные агротехнические приемы для создания неоднородной среды для проявления фенотипических различий между генотипами. Здесь срок посева выступил как фактор, который определил различные агрометеорологические условия, проявившиеся с временным сдвигом вегетации растений. А норма посева – фактор влияния биоценологического взаимодействия растений по исследуемым генотипам. Таким образом, под фактором А в последующем изучении рассматриваем количественные изменения всех показателей, обусловленные генотипом, а под фактором Б – фоновой средой, обусловленной влиянием сроков посева и норм посева.

По результатам дисперсионного анализа варьирование биологической урожайности обусловлено как генотипом (доля вклада – 41,2 %), так и средой (30,5 %). Взаимодействие генотип \times среда – всего 4,1 %. Если рассматривать количественные признаки элементов структуры урожайности, то получены следующие результаты. Количество продуктивных стеблей: генотип – 0,9 %, среда – 49,8 %, генотип \times среда – 14,3 %; количество зерен в колосе – 18,8 %, 42,0 % и 33,0 % соответственно; масса 1000 зерен – 5,5 %, 66,7 % и 20,0 % соответственно. Становится очевидным тот факт, что биологическая урожайность как интегральный признак достаточно явно варьирует по фактору «генотип» (30,5 %), что нельзя отметить по другим количественным признакам (0,9–18,8 %) (таблица 2).

Очень низкий доленой вклад переменных значений количественных признаков структуры урожайности по фактору «генотип» в общую дисперсию исключает возможность исследования адаптивных характеристик по фазам роста и развития растений перспективного номера 3856н-6-18, поскольку средовая дисперсия доминирует над генотипической. Следовательно, возникает необходимость исполь-

зования альтернативной базы данных, где совокупно идет учет как количественных изменений элементов структуры биологической урожайности, так и аддитивного эффекта их взаимодействия. Для этого исходные данные, полученные экспериментальным путем, функционально связали между собой с помощью аддитивной математической модели (таблица 3).

Обоснованность применения дает возможность произвести прогноз биологической урожайности посредством уравнения множественной регрессии. Для этого по каждой среде (агротехнический фон) фактические данные количественных признаков преобразованы в точечный прогноз биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}), которые, в свою очередь, дифференцированы в искомые значения (\hat{Y}_{rci}) прогнозов по эффектам количественных признаков по Р. А. Максимуму [12]. Качество прогноза (\hat{Y}_{ci}) проверено с использованием коэффициента k_i (допустимая величина – не более 15 %). В нашем случае для стандарта Памяти Чепелева он составил 2,6 %; номер 3856н-6-18 – 4,1 %. Следовательно, вновь полученная база данных статистически обоснована для использования (таблица 4).

Полученная база данных прогнозов биологической урожайности от эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) была использована для проведения дисперсионного анализа по схеме двухфакторного опыта (фактор А – генотип; фактор Б – среда). Дисперсионный анализ по математически преобразованным данным показал положительную динамику в исследовании роли фактора «генотип», так как по всем эффектам количественных признаков отмечается рост дисперсии: прогноз урожайности по эффекту числа продуктивных стеблей – с 0,9 до 13,5 %; по количеству зерен в колосе – с 18,8 до 59,6 %; по массе 1000 зерен – с 5,5 до 45,9 %. Дисперсия по фактору «среда», наоборот, имела отрицательную динамику: по числу продуктивных стеблей – с 69,9

до 55,5 %; по количеству зерен в колосе – с 42,0 до 19,4 %; по массе 1000 зерен – с 66,7 до 24,9 %. Полученные результаты при одновременном учете переменных значений количественных признаков, постоянных (расчетных) значений регрессоров и аддитивного эффекта взаимодействия количественных признаков увеличивают вариабельность по фактору «генотип», следовательно, появляются новые возможности для проведения селекционного отбора (таблица 5).

Точечный прогноз биологической урожайности от эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) использовался для расчета адаптивных характеристик, которые проводились согласно методике А. В. Кильчевского и Н. В. Хотылевой (1989) [17]. В сложившихся агроклиматических условиях 2023 г. варьирование биологической урожайности по различным агротехническим фонам у стандарта

Памяти Чепелева составило 6,16–7,44 т/га, у номера 3856н-6-18 – 7,05–8,11 т/га. В этих диапазонах перспективный номер показал преимущество по реализации урожайности, причем на всех агротехнических фонах (см. таблицу 1). Данный положительный отклик был обеспечен за счет относительно более высокой общей адаптивной способности номера 3856н-6-18 в период формирования количества зерен в колосе ($ВПА_{2i} = 0,34$ т/га), средневзвешенный (по всем агротехническим фонам) прогноз урожайности от эффекта озерненности колоса \hat{Y}_{2ci} составил 2,86 т/га, что на 0,68 т/га (31,3 %) выше, чем у стандарта Памяти Чепелева ($\hat{Y}_{2ci} = 2,18$ т/га). Здесь же преимущество по адаптивной способности сочетается с более высокой средовой устойчивостью по урожайности ($Sg_{2i} = 9,4$ %), что в совокупности определяет двукратное ($СЦП_{2i} = 1,70$) в сравнении с Памяти Чепелева ($СЦП_{2i} = 0,88$) пре-

Таблица 4
Искомые значения (\hat{Y}_{rci}) и (\hat{Y}_{ci}) генотипов ячменя (i) в различных средах (с), 2023 г.

Генотип	1-й срок посева				2-й срок посева				3-й срок посева			
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*
Прогноз биологической урожайности от эффекта числа продуктивных стеблей, т/га												
Памяти Чепелева	2,18	2,03	2,28	2,33	1,84	2,09	2,25	2,11	2,14	2,31	2,30	2,53
3856н-6-18	2,44	2,33	2,73	2,86	2,26	2,54	2,70	3,28	2,18	2,14	2,70	3,05
Прогноз биологической урожайности от эффекта числа зерен в колосе, т/га												
Памяти Чепелева	2,44	1,94	1,86	1,88	2,20	1,87	1,88	2,28	2,46	2,56	2,66	2,37
3856н-6-18	2,73	2,77	2,54	2,74	2,78	2,84	3,04	2,45	3,49	3,05	2,94	2,79
Прогноз биологической урожайности от эффекта массы 1000 зерен, т/га												
Памяти Чепелева	2,45	2,17	2,06	1,98	2,11	2,35	2,12	1,83	2,59	2,56	2,45	2,38
3856н-6-18	2,02	2,01	1,87	2,03	2,12	1,98	2,08	2,06	2,40	2,35	2,15	2,15
Точечный прогноз урожайности по сумме эффектов количественных признаков, т/га												
Памяти Чепелева	7,08	6,13	6,20	6,19	6,15	6,31	6,25	6,22	7,19	7,43	7,41	7,28
3856н-6-18	7,20	7,12	7,14	7,62	7,16	7,36	7,82	7,79	8,08	7,54	7,79	7,99

* Норма высева, млн всхожих семян на 1 га.

Table 4
The desired values (\hat{Y}_{rci}) and (\hat{Y}_{ci}) genotypes of barley (i) in various media (c), 2023

Genotype	1 st sowing period				2 nd sowing period				3 rd sowing period			
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*
Forecast of biological yield from the effect of the number of productive stems, t/ha												
Pamyati Chepeleva	2.18	2.03	2.28	2.33	1.84	2.09	2.25	2.11	2.14	2.31	2.30	2.53
3856n-6-18	2.44	2.33	2.73	2.86	2.26	2.54	2.70	3.28	2.18	2.14	2.70	3.05
Forecast of biological yield from the effect of the number of grains per ear, t/ha												
Pamyati Chepeleva	2.44	1.94	1.86	1.88	2.20	1.87	1.88	2.28	2.46	2.56	2.66	2.37
3856n-6-18	2.73	2.77	2.54	2.74	2.78	2.84	3.04	2.45	3.49	3.05	2.94	2.79
Forecast of biological yield from the effect of the mass of 1000 grains, t/ha												
Pamyati Chepeleva	2.45	2.17	2.06	1.98	2.11	2.35	2.12	1.83	2.59	2.56	2.45	2.38
3856n-6-18	2.02	2.01	1.87	2.03	2.12	1.98	2.08	2.06	2.40	2.35	2.15	2.15
Point forecast of yield by the sum of the effects of quantitative characteristics, t/ha												
Pamyati Chepeleva	7.08	6.13	6.20	6.19	6.15	6.31	6.25	6.22	7.19	7.43	7.41	7.28
3856n-6-18	7.20	7.12	7.14	7.62	7.16	7.36	7.82	7.79	8.08	7.54	7.79	7.99

* The seeding rate in millions germinating seeds per 1 ha.

имущество перспективного сортообразца 3856н-6-18 по селекционной ценности в период зернообразования. И в период закладки продуктивного стеблестоя (фаза «всходы – кущение») новый номер отличался также относительно высокой адаптивностью ($ВПА_{li} = 0,25$ т/га), прогнозная биологическая урожайность от эффекта количества

продуктивных стеблей \hat{Y}_{ici} составила 2,62 т/га, что на 0,42 (19,1 %) т/га выше Памяти Чепелева, но по различным средовым фонам показатель сравнительно менее стабилен ($Sg_{li} = 13,5$ %), расчет селекционной ценности из-за низкой стабильности здесь выявил преимущество стандарта ($СЦП_{li} = 1,38$). На этапе формирования, налива и созревания зерна

Таблица 5

Результаты дисперсионного анализа по расчетным базам данных точечных прогнозов биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) и от эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) генотипов ячменя при различных сроках посева и норм высева, 2023 г.

Источник варьирования	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средние квадраты, MS	Доля влияния фактора, %	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$	P-value
Эффект числа продуктивных стеблей, шт/м²							
Генотип	1,75	1	1,75	13,5	101,9	4,0	1,97E-15
Среда	7,23	11	0,66	55,5	38,2	1,9	1,18E-25
Генотип × среда	2,79	11	0,25	21,5	14,7	1,9	2,05E-14
Остаток (ошибка)	1,24	72	0,02	9,5			
Итого	13,00	95		100,0			
Эффект числа зерен в колосе, шт.							
Генотип	5,96	1	5,96	59,6	606,7	4,0	8,31E-37
Среда	1,94	11	0,18	19,4	18,0	1,9	1,59E-16
Генотип × среда	1,39	11	0,13	13,9	12,9	1,9	4,46E-13
Остаток (ошибка)	0,70	72	0,01	7,1			
Итого	10,00	95		100,0			
Эффект массы 1000 зерен, г							
Генотип	1,76	1	1,76	45,9	346,2	4,0	3,19E-29
Среда	0,95	11	0,09	24,7	17,1	1,9	5,79E-16
Генотип × среда	0,76	11	0,07	19,8	13,6	1,9	1,27E-13
Остаток (ошибка)	0,37	72	0,01	9,6			
Итого	3,83	95		100,0			

Table 5

The results of the analysis of variance based on calculated databases of point forecasts of biological yield (\hat{Y}_{ci}) and the effects of quantitative characteristics (\hat{Y}_{rci}) of barley genotypes at different sowing dates and seeding rates, 2023

Source of variation	Sum of squares, SS	The number of degrees of freedom, df	Average squares, MS	The share of the factor's influence, %	$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$	P-value
Effect of the number of productive stems, pcs/m²							
Genotype	1.75	1	1.75	13.5	101.9	4.0	1.97E-15
Environment	7.23	11	0.66	55.5	38.2	1.9	1.18E-25
Genotype × environment	2.79	11	0.25	21.5	14.7	1.9	2.05E-14
Remainder (error)	1.24	72	0.02	9.5			
Total	13.00	95		100.0			
The effect of the number of grains in an ear, pcs.							
Genotype	5.96	1	5.96	59.6	606.7	4.0	8.31E-37
Environment	1.94	11	0.18	19.4	18.0	1.9	1.59E-16
Genotype × environment	1.39	11	0.13	13.9	12.9	1.9	4.46E-13
Remainder (error)	0.70	72	0.01	7.1			
Total	10.00	95		100.0			
The effect of the mass of 1000 grains, g							
Genotype	1.76	1	1.76	45.9	346.2	4.0	3.19E-29
Environment	0.95	11	0.09	24.7	17.1	1.9	5.79E-16
Genotype × environment	0.76	11	0.07	19.8	13.6	1.9	1.27E-13
Remainder (error)	0.37	72	0.01	9.6			
Total	3.83	95		100.0			

Таблица 6

Параметры гомеостатичности генотипов ячменя от прогнозов биологической урожайности эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) в условиях применения различных сроков посева и норм высева, 2023 г.

Генотип	\hat{Y}_{rci}	ВПА _{ki}	$\sigma^2(G \times E)_{gki}$	σ^2CAC_{ki}	σCAC_{ki}	lg_{ki}	Sg_{ki}	СЦП _{ki}
Эффект числа продуктивных стеблей, шт/м²								
Памяти Чепелева	2,20	-0,25	0,04	0,03	0,18	1,16	8,0	1,38
3856н-6-18	2,62	0,25	0,05	0,13	0,35	0,36	13,5	0,97
Эффект числа зерен в колосе, шт.								
Памяти Чепелева	2,18	-0,34	0,03	0,09	0,30	0,31	13,9	0,88
3856н-6-18	2,86	0,34	0,03	0,07	0,27	0,36	9,4	1,70
Эффект массы 1000 зерен, г								
Памяти Чепелева	2,24	0,07	0,01	0,06	0,24	0,18	10,9	0,88
3856н-6-18	2,11	-0,06	0,01	0,02	0,15	0,40	7,1	1,28
Суммарный эффект количественных признаков								
Памяти Чепелева	6,61	-0,44	0,10	0,32	0,56	0,32	8,5	2,33
3856н-6-18	7,58	0,53	0,08	0,12	0,35	0,67	4,6	4,92

Table 6

Parameters of homeostaticity of barley genotypes from forecasts of biological yield of effects of quantitative characteristics (\hat{Y}_{rci}) under conditions of application of different sowing dates and seeding rates, 2023

Genotype	\hat{Y}_{rci}	WIA _i	$\sigma^2(G \times E)_{gki}$	σ^2CAC_{ki}	σCAC_{ki}	lg_{ki}	Sg_{ki}	BVT _i
Effect of the number of productive stems, pcs/m²								
Pamyati Chepeleva	2.20	-0.25	0.04	0.03	0.18	1.16	8.0	1.38
3856n-6-18	2.62	0.25	0.05	0.13	0.35	0.36	13.5	0.97
The effect of the number of grains in an ear, pcs.								
Pamyati Chepeleva	2.18	-0.34	0.03	0.09	0.30	0.31	13.9	0.88
3856n-6-18	2.86	0.34	0.03	0.07	0.27	0.36	9.4	1.70
The effect of the mass of 1000 grains, g								
Pamyati Chepeleva	2.24	0.07	0.01	0.06	0.24	0.18	10.9	0.88
3856n-6-18	2.11	-0.06	0.01	0.02	0.15	0.40	7.1	1.28
The total effect of quantitative features								
Pamyati Chepeleva	6.61	-0.44	0.10	0.32	0.56	0.32	8.5	2.33
3856n-6-18	7.58	0.53	0.08	0.12	0.35	0.67	4.6	4.92

по взвешенному показателю адаптивности между исследуемыми генотипами установлен паритет ($WPA_{zi} = -0,06...0,07$), разница между прогнозами от эффектов массы 1000 зерен не превышает 0,13 т/га, однако новый номер относительно более стабилен по урожайности ($Sg_{zi} = 7,1\%$), это отразилось на показателе селекционной ценности признака ($СЦП_{zi} = 1,28$) (таблица 6).

Анализ адаптивной реакции По (\hat{Y}_{ci}) определил новый номер 3856н-6-18 как более продуктивный ($\hat{Y}_{ci} = 7,58$ т/га), с превышением средневзвешенного по всем вариантам опыта прогноза урожайности на 0,97 т/га (14,7 %). Номер 3856н-6-18 убедительно доказал свою перспективность как по общей адаптивной способности ($WPA_i = 0,53$) в диапазоне варьирования урожайности от 7,05 до 8,11 т/га, так и по стабильности реакции ($Sg_i = 4,6\%$), что более чем с двукратным преимуществом делает его селекционно ценным ($СЦП_{zi} = 4,92$).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На этапе принятия решения о передаче сорта на государственное сортоиспытание необходима информация об адаптивных свойствах с целью построения гипотезы об адресности и масштабах его дальнейшего государственного испытания. При этом для проведения статистического анализа по известным методикам требуется наличие как минимум восьми сред, чтобы обеспечить приемлемую вариабельность количественных признаков. В данной работе для обеспечения необходимой нормы реакции значений биометрических показателей созданы искусственные среды с применением вариантов от сроков посева и норм высева. В результате по перспективному номеру 3856н-6-18 в течение 2023 года получен диапазон варьирования урожайности: 7,05–8,11 т/га (стандарт Памяти Чепелева – от 6,16 до 7,44 т/га). На основании метода Р. А. Максимова (2021 г.) проведена дезинтеграция

точных прогнозов биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) на прогнозы от эффектов переменных значений количественных Признаков (\hat{Y}_{rci}). Новая база данных дала положительный результат в плане усиления вариабельности по фактору «генотип», отмечен рост дисперсии: прогноз урожайности по эффекту числа продуктивных стеблей – с 0,9 до 13,5 %; по количеству зерен в колосе – с 18,8 до 59,6 %; по массе 1000 зерен – с 5,5 до 45,9 %. Дана сравнительная оценка динамики адаптивной способности, средовой устойчивости и селекционной ценности в течение роста и развития растений, по мере формирования количественных значений элементов биологической урожайности. Перспективный номер по селекционной ценности показал подавляющее преимущество в прогнозе урожайности от эффекта числа зерен в колосе: $СЦП_{2i} = 1,70$, что было обеспечено преобладанием как общей адаптивной способности ($ВПА_{2i} = 0,34$ т/га), так и средовой устойчи-

вости ($Sg_{2i} = 9,4$ %). В начале вегетации выделился сорт Памяти Чепелева ($СЦП_{1i} = 1,38$), это обеспечено значительным превышением по средовой устойчивости ($Sg_{1i} = 8,0$ %). В конце вегетации (формирование, налив и созревание зерна) преимущество за перспективным номером ($СЦП_{3i} = 1,28$), связанное со средовой стабильностью ($Sg_{3i} = 7,1$ %). В целом, перспективный номер 3856н-6-18 при тестировании по срокам посева и нормам высева показал преимущество по селекционной ценности, которое ярко выражено во второй половине вегетации. Учитывая возможности нового номера 3856н-6-18 формировать высокую продуктивность на протяжении всего вегетационного периода, его положительную адаптивную реакцию и селекционную ценность, принято решение о подготовке необходимых данных и семенного материала для передачи на государственное сортоиспытание в 2024 году.

Библиографический список

1. Faye B., Webber H., Gaiser T., Müller C., Zhang Y., Stella T., Latka C., Reckling M., Heckelei T., Helming K., Ewert F. Climate change impacts on European arable crop yields: Sensitivity to assumptions about rotations and residue management // *European Journal of Agronomy*. 2023. No. 142. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126670.
2. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25, № 4. С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039.
3. Семенов Т. Е. Барьеры и перспективы применения новых генетических технологий для производства продуктов питания: варианты регулирования в интересах Российской экономики // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2021. Т. 12, № 4. С. 344–353. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-4-344-353.
4. Анисимова И. Н., Дубовская А. Г. Системы ЦМС у рапса и их использование в селекции отечественных гибридов // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181, № 3. С. 171–180. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180.
5. Галговская Л. А., Теркина О. В., Романова А. Н. Комбинационная способность новых инбредных линий кукурузы селекции ВНИИК // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2023. № 6 (116). С. 263–269. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-264-269.
6. Yangyang Gu, Hongxu Ai, Tai Guo, Peng Liu, Yongqing Wang, Hengbiao Zheng, Tao Cheng, Yan Zhu, Weixing Cao and Xia Yao. Comparison of two novel methods for counting wheat ears in the field with terrestrial LiDAR // *Plant Methods*. 2023. Vol. 19. Article number 134. DOI: 10.1186/s13007-023-01093-z.
7. Ерунова М. Г., Симакина А. С., Якубайлик О. Э. Создание базы данных для точного земледелия ОПХ «Курагинское» // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 1 (178). С. 13–20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20.
8. Lihodeevskiy G. A., Shanina E. P. The use of long-read sequencing to study the phylogenetic diversity of the potato varieties plastome of the Ural selection // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 4. Article number 846. DOI: 10.3390/agronomy12040846.
9. Максимов Р. А. Адаптивная реакция коллекционных сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в условиях Среднего Урала // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 4. С. 35–40. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_35.
10. Драгавцев В. А., Кардашина В. Е., Ковтуновская Е.С. Оценка сортов и линий ярового овса с помощью принципа ортогональной идентификации генетико-физиологических систем, определяющих урожаи // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 7. С. 19–24. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_19.
11. Максимов Р. А. Множественный регрессионный анализ как способ дифференциации урожайности по фазам роста и развития генотипов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 4. С. 29–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10404.
12. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No. 4 (32). Pp. 221–230.

13. Чашкова А. Ф., Степочкин П. И., Алейников А. Ф., Гребенникова И. Г., Пономоренко В. И. Сравнение статистических методов оценки стабильности урожайности озимой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 3. С. 267–275. DOI: 10.18699/VJ20.619.
14. Максимов Р. А. Метод определения параметров адаптивной способности с использованием множественного регрессионного анализа взаимосвязи урожайности и ее элементов структуры // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 6. С. 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601.
15. Рейтинг 10 сортов лидеров с/х культур по объемам высева в РФ в 2023 г. [Электронный ресурс]. URL: https://rosselhocenter.ru.nformacionnyj_listok_№_4_ot_rshcz_rejting_sortov.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 336 с.
17. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Методы оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 1. Обоснование метода // Генетика. 1985. Т. 21, № 9. С. 1481–1498.

Об авторе:

Роман Александрович Максимов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0615-8821, AuthorID 754477.
E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

References

- Faye B., Webber H., Gaiser T., Müller C., Zhang Y., Stella T., Latka C., Reckling M., Heckelei T., Helming K., Ewert F. Climate change impacts on European arable crop yields: Sensitivity to assumptions about rotations and residue management. *European Journal of Agronomy*. 2023; 142. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126670.
- Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Plant breeding is the food security basis in the Russian Federation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039. (In Russ.)
- Semenov T. E. Barriers and prospects for the use of new genetic technologies for food production: regulatory options in the interests of the Russian economy. *Strategic Decisions and Risk Management*. 2021; 12 (4): 344–353. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-4-344-353. (In Russ.)
- Anisimova I. N., Dubovskaya A. G. CMS systems in rapeseed and their use in the breeding of domestic hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020; 181 (3): 171–180. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180. (In Russ.)
- Galgovskaya L. A., Terkina O. V., Romanova A. N. Combinational ability of new inbred corn lines of VNIIC breeding. *Izvestiya Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023; 6 (116): 263–269. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-264-269. (In Russ.)
- Yangyang Gu, Hongxu Ai, Tai Guo, Peng Liu, Yongqing Wang, Heng-biao Zheng, Tao Cheng, Yan Zhu, Weixing Cao and Xia Yao. Comparison of two novel methods for counting wheat ears in the field with terrestrial LiDAR. *Plant Methods*. 2023; 19: 134. DOI: 10.1186/s13007-023-01093-z.
- Erunova M. G., Simakina A. S., Yakubaylik O. E. Creation of a database for precision agriculture of the Kuraginskoye agricultural complex]. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 1 (178): 13–20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20. (In Russ.)
- Lihodeevskiy G. A., Shanina E. P. The use of long-read sequencing to study the phylogenetic diversity of the potato varieties plastome of the Ural selection. *Agronomy*. 2022; 12 (4): 846. DOI: 10.3390/agronomy12040846.
- Maksimov R. A. Adaptive reaction of collectible varieties of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) in the conditions of the Middle Urals. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 36 (4): 35–40. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_35. (In Russ.)
- Dragavtsev V. A., Kardashina V. E., Kovtunovskaya E. S. Evaluation of varieties and lines of spring oats using the principle of orthogonal identification of genetic and physiological systems that determine yields. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 36. (7): 19–24. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_19. (In Russ.)
- Maksimov R. A. Multiple regression analysis as a way to differentiate yields by phases of growth and development of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 4: 29–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10404. (In Russ.)
- Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022; 4 (32): 221–230.

13. Chashkova A. F., Stepochkin P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomorenko V. I. Comparison of statistical methods for assessing the stability of winter wheat yield. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020; 24 (3): 267–275. DOI: 10.18699/VJ20.619. (In Russ.)
14. Maksimov R. A. Method for determining the parameters of adaptive capacity using multiple regression analysis of the relationship between yield and its structural elements. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 6: 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601. (In Russ.)
15. Rating of 10 varieties of agricultural crop leaders in terms of seeding volumes in the Russian Federation in 2023 [Internet] [cited 2024 Mar 10]. Available from: <https://rosselhocenter.ru/upload/inflist/Информационный%20листок%20%20№%204.pdf>. (In Russ.)
16. Dospekhov B. A. Methodology of field experience. Moscow: Agropromizdat, 1985. 336 p. (In Russ.)
17. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. Methods for assessing adaptive capacity and stability of genotypes, differentiating ability of the environment. Message 1. Justification of the method. *Genetics*. 1985; 21 (9): 1481–1498. (In Russ.)

Authors' information:

Roman A. Maksimov, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the Laboratory of Breeding and primary seed production of barley, Ural Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0615-8821, AuthorID 754477. *E-mail: Roman_MRA77@mail.ru*