

## ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ГЕНОТИПА И СРЕДЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**М.Н. Кирьякова**, кандидат сельскохозяйственных наук

**В.С. Юсов**, кандидат сельскохозяйственных наук

**М.Г. Евдокимов**, доктор сельскохозяйственных наук

*Омский аграрный научный центр, Омск, Россия*

**E-mail:** m\_kiriakova@mail.ru

**Ключевые слова:** твердая пшеница, линии, генотипы, экологическая пластичность, адаптивная способность, АММИ-анализ.

**Реферат.** Стабильность производства зерна во многом зависит от складывающихся погодных условий, технологии возделывания и способности сорта сохранить высокий уровень урожайности и качества зерна при воздействии неблагоприятных условий среды. Цель исследований – определение адаптивных свойств и генотип-средовых взаимодействий в формировании урожайности у линий яровой твердой пшеницы. Полевые исследования выполнялись в 2019–2021 гг. на базе селекционного севооборота лаборатории селекции твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ», а также на опорном пункте семеноводства в степной зоне в пос. Новоуральский Таврического района Омской области. Конкурсное сортоиспытание было заложено по чистому пару в количестве 40 номеров и 3 реестровых сорта. Площадь делянок 10 м<sup>2</sup>, повторность двукратная, размещение рендомизированное. Погодные условия отличались контрастностью как по осадкам, так и по температурному режиму. В 2019 г. сложились нетипичные метеорологические условия: благоприятные в первый период вегетации и засушливые во второй (поволжский тип засухи), в 2020 г. засуха наблюдалась в течение всего лета. Самые неблагоприятные условия для налива и созревания зерна складывались в 2021 г. Параметры экологической пластичности рассчитывали по S.A. Eberhart, W.A. Russel. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ-анализ) были определены по R.W Zobel и др. Проведенный анализ показал эффективность дифференциации реакции генотипа на окружающую среду АММИ-анализа и модели S.A. Eberhart, W.A. Russell. В то же время АММИ-анализ с отображением графиков был более информативен. Наиболее отзывчивыми на изменение условий произрастания оказались Гордеиформе 11-70-7, Гордеиформе 11-47-1 и Гордеиформе 11-49-1-1. Стабильно формируют высокую продуктивность генотипы Гордеиформе 14-83-1, Гордеиформе 13-18-3, Гордеиформе 13-37-2. Наименьшее взаимодействие генотипа и среды отмечается у линии Гордеиформе 12-11-7.

## ASSESSMENT OF ADAPTIVE CAPACITY AND GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTIONS OF PROMISING SPRING DURUM WHEAT LINES UNDER THE CONDITIONS OF THE OMSK REGION

**M.N. Kiryakova**, PhD in Agricultural Sciences

**V.S. Yusov**, Ph.D. in Agricultural Sciences

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

*Omsk Agrarian Research Centre, Omsk, Russia*

**E-mail:** m\_kiriakova@mail.ru

**Keywords:** durum wheat, lines, genotypes, environmental plasticity, adaptive capacity, AMMI analysis (additive main effect and multiplicative interaction).

**Abstract.** The stability of grain production largely depends on prevailing weather conditions and cultivation technology. It also depends on the ability of the variety to maintain a high-level yield and grain quality under adverse environmental conditions. The study aims to determine the adaptive properties and genotype-medium interactions in yield formation in spring durum wheat lines. The authors conducted field research in 2019-2021 based on the breeding rotation of the durum wheat breeding laboratory of the FSBSI Omsk Research Center. The authors also conducted research at a seed production site in the steppe zone in the village of Novouralskiy, Tavriyskiy district,

Omsk region. Competitive varietal trials were laid on the pure pairing of 40 numbers and three registry varieties. The area of the plots was ten m<sup>2</sup>, the repetition was double, and the placement was randomized. Weather conditions were contrasting both in terms of precipitation and temperature regime. Atypical meteorological conditions prevailed in 2019: favorable in the first vegetation period and drought conditions in the second (Volga type of drought). Drought conditions were observed throughout the summer of 2020. The most unfavorable conditions for grain filling and ripening occurred in 2021. Ecological plasticity parameters were calculated according to S.A. Eberhart and W.A. Russel. AMMI-analysis (additive main effect and multiplicative interaction) were determined according to R.W Zobel et al. The analysis showed the effectiveness of differentiation of genotype response to the environment by AMMI-analysis and the model of S.A. Eberhart, W.A. Russell. At the same time, AMMI analysis with graphs was more informative. The varieties Gordeiforme 11-70-7-7, Gordeiforme 11-47-1, and Gordeiforme 11-49-1-1 proved to be most responsive to changing growing conditions. The genotypes Gordeiforme 14-83-1, Gordeiforme 13-18-3, and Gordeiforme 13-37-2 stably form high productivity. The line of the variety Gordeiforme 12-11-7 has the least interaction between genotype and environment.

Ценность зерна твердой пшеницы состоит в получении сырья для изготовления макаронных изделий. Основной ареал возделывания твердой пшеницы в Западной Сибири – степная и южная лесостепная зоны. Стабильность производства зерна во многом зависит от складывающихся погодных условий, технологии возделывания и способности сорта сохранить высокий уровень урожайности и качества зерна при воздействии неблагоприятных условий среды. Экологическая пластичность сортов тесно связана с их нормой реакции на факторы внешней среды.

Генотипы с широкой нормой реакции произрастают в различных условиях и обладают сравнительно высокой продуктивностью, узкая норма реакции генотипа приводит к неустойчивости урожая по годам и незначительному ареалу распространения сорта [1–4]. Экологические факторы являются ведущими в определении величины изменчивости количественных признаков в процессе роста и развития растения. Генотип любого растения, взаимодействуя с условиями внешней среды, модифицирует в соответствии с этим свои признаки. Все признаки, которые являются элементами структуры урожая, следует рассматривать с точки зрения их изменчивости и связи с генетическими и средовыми факторами. Знание закономерностей варьирования количественных признаков играет важную роль в селекции растений при отборе ценных генотипов, а также дает возможность определить пластичность сортов [5–8]. На генотипы влияют различные условия окружающей среды, и они могут демонстрировать значительные различия в показателях урожайности по сравнению с другими генотипами.

Специалисты по генетике растений часто изучают эффективность многих генотипов в различных условиях. Такие исследования проводятся с целью отбора лучших генотипов для создания новых сортов сельскохозяйственных культур. Данные, собранные для

этих исследований, соответствуют одному или нескольким признакам для каждого генотипа в каждой среде. Этот тип данных может быть проанализирован с помощью дисперсионного анализа и использования модели аддитивных основных эффектов и мультипликативного взаимодействия (АММИ). Таким образом, пакет Viplot может дать ответ на несколько типов проблем, но в основном он предназначен для анализа данных, полученных селекционерами и генетиками, с целью визуального изучения урожайности генотипов и взаимодействия между генотипом и окружающей средой [9,10].

Эффекты взаимодействия генотипа с окружающей средой (G x E) представляют особый интерес для селекционных программ, их оценка проводится с помощью анализа модели аддитивного основного эффекта и мультипликативного взаимодействия (АММИ). Взаимодействие (G x E) вносит несогласованность в относительный рейтинг генотипов в разных средах и играет ключевую роль в разработке стратегий улучшения урожая.

Цель исследований – определение адаптивных свойств и генотип-средовых взаимодействий в формировании урожайности у линий яровой твердой пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили 3 реестровых сорта и 40 линий конкурсного сортоиспытания яровой твердой пшеницы. Полевые опыты проводились в 2019–2021 гг. на опытных полях Омского АНЦ в южной лесостепной зоне и в опорном пункте семеноводства в степной зоне в пос. Новоуральский Таврического района Омской области в полном соответствии с требованиями и рекомендациями [11].

Площадь делянок 10 м<sup>2</sup>, повторность двукратная. Почва опытного участка – чернозем

слабовыщелоченный среднегумусный (6,2%) тяжелосуглинистый. Параметры экологической пластичности рассчитывали по S.A. Eberhart, W.A. Russel [12]. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ-анализ) рассчитывали по R.W. Zobel et al. [13,14] с помощью пакета R version 4.0.3.

Осадки в период проведения опытов распределялись неравномерно. В 2019 г. метеорологические условия были благоприятны в первый период вегетации и засушливые во второй период, в 2020 г. засуха наблюдалась в течение всего лета. Самые неблагоприятные условия для налива и созревания зерна складывались в 2021 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перспективные линии и сорта выращивали в двух экологических зонах – южной лесостепной и степной – Омской области.

Урожайность среднераннего сорта Омская янтарная (средняя за 2019–2021 гг.) в конкурсном сортоиспытании Омского АНЦ была равна 3,95 т/га. Продуктивность среднепозднего сорта Жемчужина Сибири составила 3,70 т/га, среднепозднего сорта Омский изумруд – 3,65 т/га. В условиях 2021 г. урожайность стандартов составила соответственно 2,97; 2,95; 2,03 т/га (таблица). В 2020 и 2021 гг. в наиболее критический период развития растений (июнь – первая декада июля) наблюдались повышенная температура воздуха и нехватка осадков.

**Урожайность, показатели пластичности и стабильности лучших образцов в конкурсном сортоиспытании**  
Yield, plasticity, and stability of the best samples in competitive variety trials

№ п/п	Сорт, номер	Урожайность, т/га			Показатель пластичности и стабильности	
		Омский АНЦ		Степная зона 2021 г.	$\beta_i$	$\delta^2d$
		2021 г.	2019-2021 гг.			
1	Жемчужина Сибири	2,97	3,70	3,63	0,76	0,23
2	Омская янтарная	2,95	3,95	3,40	0,75	0,03
3	Омский изумруд	2,03	3,65	4,16	1,01	0,29
8	Г.11-48-2	3,41	4,51	3,03	1,06	0,40
9	Г.11-70-7	3,40	4,38	3,03	1,52	0,03
12	Г.10-71-3	2,38	4,15	3,57	1,27	0,07
13	Г.11-45-13	2,07	4,04	3,65	1,28	0,03
14	Г.11-47-1	2,91	4,40	3,90	1,25	0,03
15	Г.11-49-1	1,97	4,20	3,24	1,43	0,60
17	Г.11-77-3	3,06	4,47	3,82	1,32	0,12
18	Г.12-11-5	2,62	4,15	3,34	1,08	0,35
19	Г.12-75-3	2,86	4,14	3,50	0,53	0,24
20	Г.14-83-1	3,26	4,28	4,16	0,25	0,15
22	Г.11-49-1-1	2,21	4,14	3,73	1,37	0,00
23	Г.11-92-1	2,83	4,43	4,11	1,55	0,15
24	Г.11-75-2	2,89	4,36	3,75	1,07	0,06
25	Г.11-98-3	2,60	4,17	3,61	0,81	0,17
26	Г. 11-99-1	3,13	4,14	3,6	0,74	0,09
27	Г.11-99-6	3,33	4,04	3,64	0,83	0,13
30	Г. 12-11-7	2,56	3,82	4,16	0,76	0,13
32	Г.12-16-9	3,23	4,35	3,26	0,54	0,58
35	Г.12-31-1	2,55	4,26	4,19	1,34	0,16
37	Г.12-48-5	3,33	4,38	3,77	1,10	0,22
38	Г.12-50-2	2,90	4,38	3,64	0,92	0,38
40	Г.13-18-3	3,27	4,04	3,67	0,16	0,24
41	Г.13-37-2	3,13	4,15	3,54	0,40	0,32
42	Г.13-59-7	2,92	4,25	3,56	1,02	0,05
<i>По всем изученным образцам</i>						
	Среднее	2,69	4,01	3,61		
	Максимум	3,41	4,51	4,19	1,86	0,82
	Минимум	1,7	3,17	2,97	0,16	0,00
	НСР <sub>0,5</sub>	0,21	0,33	0,28		

В среднем за 3 года по урожайности выделяются образцы, представленные в таблице. В условиях степи (пос. Новоуральское) в 2021 г. урожайность стандартов была следующей: Омская янтарная – 3,4, Жемчужина Сибири – 3,63, Омский изумруд – 4,16 т/га. Достоверно превысили стандарт Жемчужина Сибири по урожайности образцы Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 14-83-1, Гордеиформе 11-92-1, Гордеиформе 12-31-1 (с урожайностью 3,90–4,19 т/га).

Повышенная температура во второй – третьей декадах июля и первой декаде августа, сильный недобор осадков ускорили налив и созревание зерна твердой пшеницы. В этих нетипичных условиях для Западной Сибири преимущество имели среднеранние генотипы: Гордеиформе 11-48-2, Гордеиформе 11-70-7, Гордеиформе 11-77-3, Гордеиформе 14-83-1, Гордеиформе 11-99-1, Гордеиформе 11-99-6, Гордеиформе 12-16-9, Гордеиформе 12-48-5, Гордеиформе 13-18-3, Гордеиформе 13-37-2, которые достоверно превысили урожайность стандартов.

Расчёт параметров экологической пластичности проведён по методике Эберхарта и Рассела, он основан на определении двух составляющих: коэффициента линейной регрессии ( $\beta_i$ ) и дисперсии ( $\delta^2d$ ). Первый показывает отклик генотипа на улучшение условий выращивания, а второй характеризует стабильность сорта в различных условиях среды.

Показатель пластичности позволил выделить сорта, наиболее адаптивные к меняющимся экологическим факторам. Следует учитывать, что чем выше показатель пластичности, тем более требователен сорт к высокому уровню агротехники, чтобы получить максимальную отдачу.

Наиболее отзывчивыми на изменение условий произрастания оказались Гордеиформе 11-70-7, Гордеиформе 11-47-1 и Гордеиформе 11-49-1-1. К линиям экстенсивного типа с высоким уровнем стабильности урожайности относятся Гордеиформе 14-83-1, Гордеиформе 13-18-3, Гордеиформе 13-37-2.

В зарубежной практике для получения информации о генотип-средовых взаимодействиях очень широко используется метод АММИ, сочетающий в себе дисперсионный анализ для расчета аддитивных эффектов и анализ главных компонент для мультипликативных, неаддитивных эффектов. Он позволяет исключить остаточные отклонения или шумовые отклонения от взаимодействия генотипа и среды, а также генерирует оси главных компонент, которые сохраняют вариацию этого взаимодействия в порядке убывания [10,15]. Более наглядное представление данных из нескольких сред и идентификацию генотипов с широкими и специфическими адаптациями обеспечивает АММИ-biplot, который показывает средний (основной эффект) стабильности генотипа и среды (рис. 1, 2).

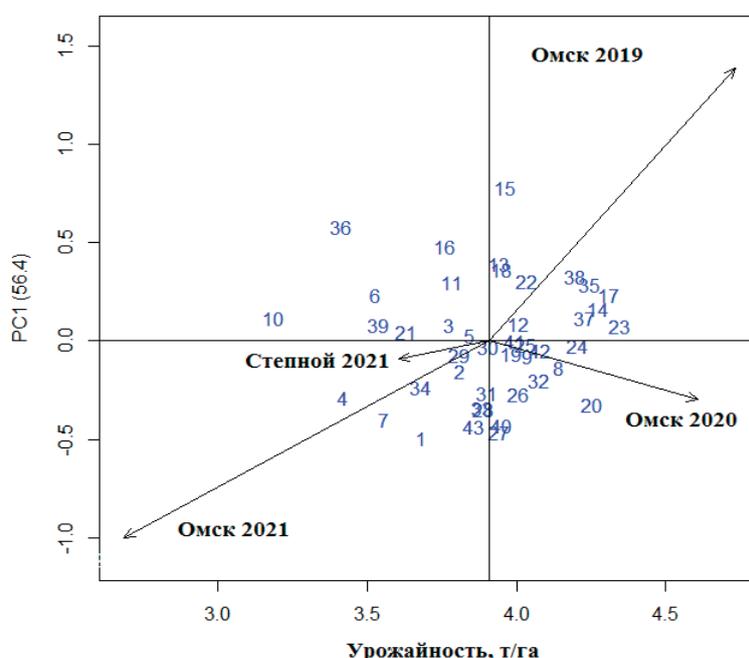


Рис. 1. АММИ-биplot генотипов твердой пшеницы (2019–2021 гг.). (Нумерацию сортов см. в таблице)

Figure. 1. AMMI-biplot of durum wheat genotypes (2019–2021). (See table for numbering of varieties)

Наиболее урожайными и высокоадаптированными линиями являются Гордеиформе 10-71-3, Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 11-77-3, Гордеиформе 11-49-1-1, Гордеиформе 11-92-1, Гордеиформе 12-31-1, Гордеиформе

12-48-5, Гордеиформе 12-50-2. Обе эти методики подтверждают высокую адаптивность линий Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 11-49-1-1, Гордеиформе 11-92-1.

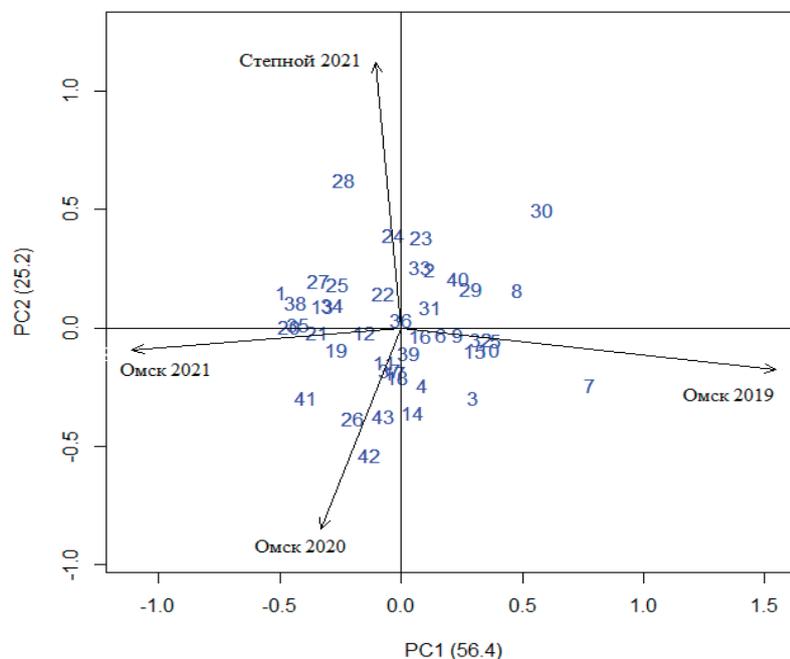


Рис. 2. AMMI2-биplot генотипов твердой пшеницы (2019–2021 гг.). (Нумерацию сортов см. в таблице)

Figure. 2. AMMI2- biplot of durum wheat genotypes (2019–2021). (See table for numbering of varieties)

Проведён анализ главных компонент PCA, где отображается первый основной компонент (PC1) против второго основного компонента (PC2) в конкурсном сортоиспытании линий яровой твердой пшеницы. Генотипы и среды, которые находятся параллельно линии ординаты, имеют одинаковую среднюю урожайность, а абсцисса показывает основные эффекты генотипов и среды. В период изучения конкурсного сортоиспытания самые неблагоприятные условия для налива и созревания зерна складывались в 2021 г. Наименьшим взаимодействием G x E обладает линия Гордеиформе 12-11-7 (30), она стабильно формировала среднюю урожайность независимо от факторов окружающей среды.

## ВЫВОДЫ

1. Урожайность линий твёрдой пшеницы значительно варьировала в зависимости от агроклиматических условий года и экологической зоны выращивания. Лучшие условия для роста и развития генотипов в 2021 г. сложились в степной зоне, максимальная уро-

жайность отмечена у линий Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 14-83-1, Гордеиформе 11-92-1, Гордеиформе 12-31-1 (3,90–4,19 т/га).

2. Наиболее отзывчивыми на изменение условий произрастания оказались Гордеиформе 11-70-7, Гордеиформе 11-47-1 и Гордеиформе 11-49-1-1. К линиям экстенсивного типа с высоким уровнем стабильности урожайности относятся Гордеиформе 14-83-1, Гордеиформе 13-18-3, Гордеиформе 13-37-2.

3. Наиболее урожайными и высокоадаптированными линиями являются Гордеиформе 10-71-3, Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 11-77-3, Гордеиформе 11-49-1-1, Гордеиформе 11-92-1, Гордеиформе 12-31-1, Гордеиформе 12-48-5, Гордеиформе 12-50-2.

4. AMMI-анализ и регрессионная модель S.A. Eberhart, W.A. Russell эффективны, эти методики подтверждают высокую адаптивность линий Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 11-49-1-1, Гордеиформе 11-92-1. Наименьшим взаимодействием генотип x среда обладает линия Гордеиформе 12-11-7.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Евдокимов М.Г., Юсов В.С.* Яровая твердая пшеница в Сибирском Прииртышье. – Омск, 2008. – 160 с.
2. *Розова М.А., Янченко В.И., Мельник В.М.* Экологическая пластичность яровой твёрдой пшеницы в условиях Алтая: монография / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. АНИИСХ. – Барнаул: Азбука, 2010. – С. 18–30.
3. *Юсов В.С., Евдокимов М.Г.* Твёрдая пшеница в лесостепи Западной Сибири. Достижения и перспективы // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 106–111.
4. *Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes / B. Vaezi, A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi [et al.] // Euphytica. – 2019. – Vol. 215. – P. 63. – <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5>.*
5. *Able J., Atienza S.* Durum wheat for the future: challenges, research and prospects in the 21st century // *Crop Pasture Sci.* – 2014. – <https://doi.org/10.1071/CPv65n1FO>.
6. *Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка).* / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.С. Юсов [и др.]. – Уфа, 2011. – 97 с.
7. *Malchikov P.N., Myasnikova M.G.* Formation of gene association for general homeostasis and performance components of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // *Russian Journal of Genetics: Applied Research.* – 2016. – Vol. 6, N 4. – P. 357–366.
8. *Predicting Yield and Stability Analysis of Wheat under Different Crop Management Systems across Agro-Ecosystems in India / M.L. Jat, R.K. Jat, P. Singh [et al.] // American Journal of Plant Sciences. – 2017. – Vol. 8. – P. 1977-2012. – <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88133>.*
9. *Малокостова Е.И., Пивоварова И.Ю., Попова А.В.* Структурный анализ продуктивности колоса сортов и линий яровой твёрдой пшеницы // *Центральный научный вестник.* – 2018. – Т. 3, № 22 (63). – С. 32–34.
10. *GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data / W. Yan, M.S. Kang, B. Ma [et al.] // Crop Sci. – 2007. – Vol. 47. – P. 643–655. – <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>.*
11. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.* – М.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. – Вып. 1. – 384 с.
12. *Eberhart S.A., Russell W.A.* Stability parameters for comparing varieties // *Corp. Sci.* – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40.
13. *Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G.* Statistical Analysis of a Yield Trial // *Agronomy Journal.* – 1988. – Vol. 80. – P. 388–393. – <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>.
14. *Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI Analysis of Genotype × Environment Interaction / K. Hongyu, M. Garcia-Pena, L.B. de Araujo, C.T.S. Dias // Biometrical Letters. – 2014. – Vol. 51. – P. 89–102. – <https://doi.org/10.2478/bile-2014-0007>.*
15. *Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D.* Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Inter-racial Common Bean Lines in Kenya // *World Journal of Agricultural Research.* – 2019. – Vol. 7 (3). – P. 76–87. – <https://doi.org/10.12691/wjar-7-3-1>.

## REFERENCES

1. *Evdokimov M.G., Yusov V.S., Yarovaya tverdaya pshenitsa v Sibirskom Priirtysh'e* (Spring durum wheat in Siberian Irtysh), Omsk, 2008, 160 p.
2. *Rozova M.A., Yanchenko V.I., Mel'nik V.M., Ekologicheskaya plastichnost' yarovoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh ABltaya* (Ecological plasticity of spring durum wheat in Altai), Rossel'khozakademiya. Sib.otd-nie. ANIISKh, Barnaul: Azbuka, 2010, pp. 18–30.
3. *Yusov V.S., Evdokimov M.G., Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaistva gornyykh territorii* (Actual problems of development of mining enterprises), Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference, 2017, pp. 106–111. (In Russ.)
4. *Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R. [et al.], Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes, Euphytica, 2019, Vol. 215, pp. 63, <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5>.*

5. Able J., Atienza S., Durum wheat for the future: challenges, research and prospects in the 21st century, *Crop Pasture Sci*, 2014, [https://doi.org/10.1071/CPv65n1\\_FO](https://doi.org/10.1071/CPv65n1_FO).
6. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshv I.O., *Ėkologicheskaya plastichnost' sel'skokhozyajstvennykh rastenii (metodika i otsenka)* (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and assessment), Ufa, 2011, 97 p.
7. Malchikov P.N., Myasnikova M.G., Formation of gene association for general homeostasis and performance components of durum wheat (*Triticum durum* Desf.), *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 2016, Vol. 6, No. 4. pp. 357–366.
8. Jat M.L., Jat R.K., Singh P., Jat S.L., Sidhu H.S., Jat H.S., Bijarniya D., Parihar C.M., Gupta R, Predicting Yield and Stability Analysis of Wheat under Different Crop Management Systems across Agro-Ecosystems in India, *American Journal of Plant Sciences*, 2017, Vol. 8, pp. 1977–2012, <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88133>.
9. Malokostova E.I., Pivovarova I.Y., Popova A.V., *Tsentral'nyi nauchnyi vestnik*, 2018, Vol. 3, No. 22 (63), pp. 32–34. (In Russ.)
10. Yan W., Kang M.S., Ma B., Woods S., Cornelius P.L., GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data, *Crop Sci*, 2007, Vol. 47, pp. 643–655, <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>.
11. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur* [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops], Moscow: OOO «Gruppa Kompanij More», 2019. Вып. 1, 384 p.
12. Eberhart S.A. Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, *Corp. Sci*, 1966, Vol. 6, No. 1, pp. 36–40.
13. Zobel R.W., Wright M.J., Gauch H.G., Statistical Analysis of a Yield Trial, *Agronomy Journal*, 1988, Vol. 80, pp. 388–393, <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>.
14. Hongyu K., Garcia-Pena M., de Araujo LB., Dias C.T.S., Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI Analysis of Genotype × Environment Interaction, *Biometrical Letters*, 2014, Vol. 51, pp. 89–102, <https://doi.org/10.2478/bile-2014-0007>.
15. Mondo J.M., Kimani P.M., Narla R.D., Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Inter-racial Common Bean Lines in Kenya, *World Journal of Agricultural Research*, 2019, Vol. 7 (3), pp. 76–87, <https://doi.org/10.12691/wjar-7-3-1>.