

## СТЕКЛОВИДНОСТЬ ЗЕРНА И ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ 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, сорт, линии, стекловидность, экологическая пластичность, адаптивная способность, АММИ-анализ.

**Реферат.** Изучение сортов и линий твердой яровой пшеницы по стекловидности зерна проводили в 2019–2022 гг. на базе селекционного севооборота лаборатории 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 26 номеров, из них 5 сортов. Площадь делянок 10 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная, 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 налива и созревания зерна складывались в 2021 и 2022 гг. 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. Средний показатель стекловидности за 2019–2022 гг. составил 57,5%. По сортам и линиям стекловидность варьировала от 54 до 62%. Наиболее отзывчивыми на изменение условий среды оказались линии Гордеиформе 12-11-7 и Гордеиформе 14-83-1. Для возделывания в условиях Западной Сибири рекомендуются сорт: Омский малахит и линия Гордеиформе 12-75-3.

## VITRICITY OF GRAIN AND EVALUATION OF ADAPTIVE CAPABILITY OF PERSPECTIVE LINES OF SPRING HARD WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE OMSK REGION

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

**V.S. Yusov**, PhD in Agricultural Sciences

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

*Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia*

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

**Keywords:** durum wheat, variety, lines, vitreousness, ecological plasticity, adaptive capacity, AMMI-analysis.

**Abstract.** The authors studied varieties and lines of durum spring wheat according to grain vitreousness in 2019–2022 based on the selected crop rotation of the durum wheat laboratory of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Omsk ANC”, as well as at the stronghold of seed production in the steppe zone in the village Novouralsky of the Tavrichesky district of the Omsk region. Competitive variety testing was based on a pure fallow of 26 numbers, five varieties. The area of plots is ten m<sup>2</sup>, repeated four times; the placement is randomised. The weather conditions differed, in contrast, both in terms of precipitation and temperature regime. In 2019, atypical meteorological conditions developed: favourable in the first growing season and dry in the second (Volga type of drought); in 2020, a deficit was observed throughout the summer. The most unfavourable conditions for filling and ripening of grain took shape in 2021 and 2022. Ecological plasticity parameters were calculated according to S.A. Eberhart and W.A. Russell. The effects of additive and multiplicative interactions (AMMI-analysis) were determined by R.W. Zobel et al. The analysis showed the effectiveness of differentiating the genotype’s response to the AMMI analysis’s environment and the S.A. Eberhart, W.A. Russell. Average vitreousness for 2019–2022

amounted to 57.5%. According to varieties and lines, vitreousness varied from 54 to 62%. The lines Gordeiforme 12-11-7 and Gordeiforme 14-83-1 were the most responsive to changing environmental conditions. For cultivation in Western Siberia, the following varieties are recommended: Omsk malachite and the line Gordeiforme 12-75-3.

Пшеница – ведущая зерновая культура в России. Центр происхождения твёрдой пшеницы, по исследованиям Н.И. Вавилова, – Абиссинское нагорье Африки. Мировые лидеры в производстве твёрдой пшеницы – Китай, Индия и Россия. Твёрдая пшеница отличается от мягкой по белковому и углеводному составу зерна. Зерно твёрдой пшеницы используют для получения макарон, крупяных изделий, бездрожжевого хлеба и пасты. К основным признакам качества зерна относится стекловидность, чем она выше, тем больше размер частиц семолины. Мучнистое зерно снижает варочные свойства и цвет пасты. Стекловидное зерно твердой пшеницы характеризуется повышенной углеводно-амилолитической активностью, оно более плотное по консистенции [1–3]. Установлено, что на стекловидность влияют температурный режим в период вегетации, относительная влажность воздуха и водный режим [4–7]. Стекловидность повышается при уменьшении влаги в почве, на нее благоприятно влияют сбалансированный запас азота и фосфора в почве.

Основные зоны выращивания твердой пшеницы в Западной Сибири – степная и южная лесостепь. Генотипы с широкой нормой реакции растут в различных условиях и обладают сравнительно высокой продуктивностью, узкая норма реакции генотипа приводит к неустойчивости урожая по годам [5–7]. Знание закономерностей изменчивости количественных и качественных признаков играет важную роль в селекционном процессе, а также дает возможность определить экологическую пластичность и стабильность сортов и генотипов [8–11]. Эффекты взаимодействия генотипа с окружающей средой (GxE) представляют особый интерес для селекционных программ. Одним из методов оценки является модель аддитивного основного эффекта и мультипликативного взаимодействия (АММИ). Взаимодействие (GxE) вносит несогласованность в относительный рейтинг генотипов в разных средах и играет важную роль в разработке стратегий улучшения качества зерна.

Цель исследований — определить адаптивные свойства и генотип-средовые взаимодействия в формировании стекловидности зерна линий яровой твердой пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – 5 сортов и 21 линия конкурсного сортоиспытания яровой твердой пшеницы. Изучение линий проводили в 2019–2022 гг. на опытных полях Омского АНЦ и в опорном пункте семеноводства в степной зоне в пос. Новоуральский Таврического района Омской области (НУ) в полном соответствии с требованиями и рекомендациями. Опыты в обоих экологических пунктах были заложены по чистому пару, площадь делянок 10 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная.

Почва опытного участка – чернозем слабовыщелоченный среднегумусный (6,2%) тяжелосуглинистый. Срок посева – 14–15 мая, норма высева – 4,5 млн всхожих зерен на 1 га. Показатель стекловидности определяли процентным содержанием стекловидных зерен путем разрезания каждого зерна в анализируемой пробе (ГОСТ 10987-76, с изменениями в редакции 2018 г.). Параметры экологической пластичности рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russel [12]. Эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ-анализ) были определены по R.W. Zobel и др., рассчитывались уровень фенотипической стабильности генотипов (ASV) и индекс стабильности взаимодействия (YSI), а также их ранги rASV и rYSI [13–15].

Осадки в период проведения опытов распределялись неравномерно. В 2019–2020 гг. метеорологические условия были благоприятными в первый период вегетации и засушливыми – во второй. В 2021–2022 гг. засуха наблюдалась в течение всего лета, основным лимитирующим фактором была почвенная засуха, вызванная дефицитом атмосферных осадков от всходов до начала налива зерна.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели стекловидности в питомнике конкурсного сортоиспытания у сортов и линий имели низкие значения, это связано с неблагоприятными погодными условиями в годы исследований. Стекловидность зерна у сортов Омский изумруд, Омский лазурит и Омский малахит (средняя за 2019–2022 гг.) в Омском АНЦ составила 56–58% (таблица). В самом

неблагоприятном 2019 г., когда в наиболее критический период развития растений (июнь – первая декада июля) наблюдалась повышенная температура воздуха и нехватка осадков, стекловидность варьировала от 39 до 53 %. В 2022 г. стекловидность повышалась до 65% у линий Гордеиформе 12-75-3 и Гордеиформе 12-16-9. Новый сорт Омский малахит и линии Гордеиформе 12-11-5 и Гордеиформе 12-75-3 имели более высокую стекловидность независимо от зоны выращивания.

За годы исследований в южной лесостепной зоне Омской области преимущество имели генотипы Гордеиформе 11-48-2, Гордеиформе 11-49-1, Гордеиформе 11-77-3, Гордеиформе 12-11-5, Гордеиформе 12-75-3, Гордеиформе 12-17-2, Гордеиформе 12-75-1, которые досто-

верно превысили среднее значение показателя. В степной зоне в пос. Новоуральский в 2021 г. стекловидность зерна у сортов и гибридов составила в среднем 58%, достоверно превысил стандарты образец Гордеиформе 12-17-2. Значение коэффициента регрессии стекловидности зерна находилось в пределах от 0,12 до 1,85. Наиболее отзывчивы на условия среды генотипы Гордеиформе 12-11-7 и Гордеиформе 14-83-1. Показатель ( $B_{2d}$ ) характеризует стабильность сорта в различных условиях среды. Слабой реакцией на внешнюю среду обладали сорта Омский изумруд, Омская янтарная и Гордеиформе 13-37-2 (см. таблицу). Показатель стабильности свидетельствует о более низкой изменчивости признака у линий: Гордеиформе 13-37-2 и Гордеиформе 11-49-1

**Стекловидность, показатели пластичности и стабильности образцов в конкурсном сортоиспытании**  
**Vitreousness, indicators of plasticity and stability of samples in competitive variety testing**

№ п/п	Образец	Стекловидность, %				Показатель пластичности и стабильности	
		АНЦ, 2019–2022 гг.	НУ 2021 г.	rASV	rYSI	$B_i$	$B_{2d}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Жемчужина Сибири	55	57	14	20	0,61	10,46
2	Омская янтарная	56	56	17	21	0,46	5,26
3	Омский изумруд	56	59	11	14	0,45	3,41
4	Омский лазурит	56	59	7	12	0,86	6,57
5	Г.11-48-2	58	57	19	6	1,07	15,45
6	Омский малахит	58	57	4	8	0,84	5,63
7	Г.10-71-3	55	57	20	18	1,43	10,14
8	Г.11-47-1	57	57	24	6	1,28	24,61
9	Г.11-49-1	60	59	18	3	0,12	0,97
10	Г.11-77-3	59	59	25	4	1,13	26,10
11	Г.12-11-5	61	58	26	1	1,14	55,09
12	Г.12-75-3	62	56	1	3	0,62	8,99
13	Г.14-83-1	56	57	21	15	1,83	10,81
14	Г.11-49-1-1	54	59	15	22	1,60	6,35
15	Г.11-92-1	54	58	12	25	1,50	5,73
16	Г.11-75-2	55	57	23	24	1,69	6,25
17	Г. 11-98-3	58	58	13	14	1,08	2,54
18	Г. 11-99-1	57	58	9	16	0,89	3,04
19	Г.11-99-6	56	58	5	17	0,68	2,54
20	Г.12-11-7	54	58	22	26	1,85	7,53
21	Г.12-16-9	59	57	16	10	1,11	4,76
22	Г. 12-17-2	57	60	2	7	1,27	4,52
23	Г.12-48-5	54	57	3	23	0,79	2,77
24	Г.12-75-1	58	59	8	9	0,68	2,54
25	Г.13-18-3	55	57	6	20	0,63	1,42
26	Г.13-37-2	57	57	10	11	0,36	0,42
<i>По всем изученным образцам</i>							
Среднее		57	58				

1	2	3	4	5	6	7	8
Максимум		62	60			1,85	55,09
Минимум		54	56			0,12	0,42

Метод АММИ biplot позволяет исключить остаточные отклонения от взаимодействия генотипа и среды [14–16]. Первый биplot (рис.1) показывает средний эффект стабильности генотипа и среды. Самые неблагоприятные условия для формирования признака сложились в 2019 г. в южной лесостепи. Средний (основной эффект) взаимодействия генотипа и среды, отражающий 50,1% фенотипического варьирования, показанный на рис. 1, предполагает очень сильное взаимодействие генотипов и среды – 49,9%. Меньшие значения ASV

указывают на более стабильные генотипы, и в нашем исследовании это сорт Омский малахит, Гордеиформе 12-75-3 и Гордеиформе 12-17-2. Индекс стабильности взаимодействия (YSI) включает как среднее значение показателя, так и стабильность в одном критерии – наиболее адаптивными генотипами являются Гордеиформе 11-49-1(9) и Гордеиформе 12-75-3 (12), Омский малахит (6). Из всех выше перечисленных сортов по обоим показателям ранги совпали только у Гордеиформе 12-75-3.

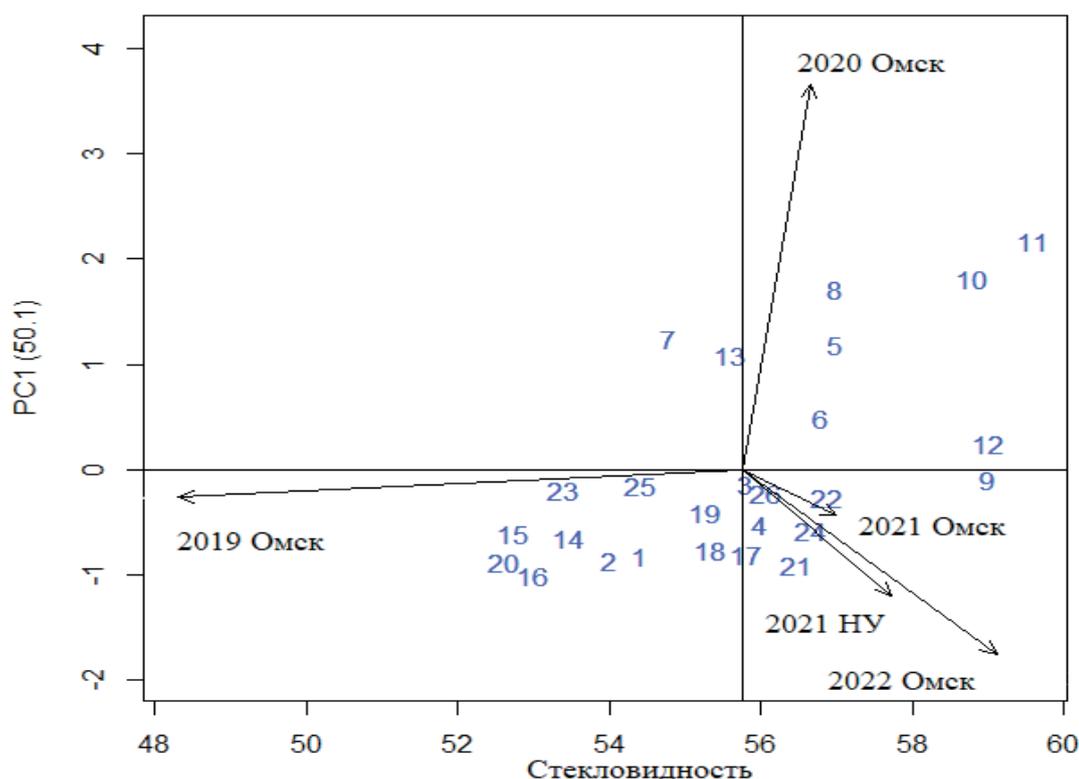


Рис. 1. Распределение сортов и значения стекловидности в плоскости первой главной компоненты, 2019–2022 гг. (Нумерация сортов на рис. 1 и 2 соответствует таковой в таблице)

Fig. 1. Distribution of varieties and glassiness values in the plane of the first principal component, 2019–2022 (The numbering of sorts in Fig. 1 and 2 corresponds to that in the table)

Биplot АММИ2 был сгенерирован с использованием генотипических и экологических оценок первых двух мультипликативных компонентов АММИ для перекрестной оценки взаимодействия генотипов и сред. На биплоте эффект взаимодействия генотипа и среды уже отражает 83,4 % фенотипического варьирования (рис. 2). Наибольшее взаимодействие G x E

происходило в 2019 и 2020 гг. в южной лесостепи, при этом самые неблагоприятные условия для формирования стекловидности складывались в 2019 г. Наименьшим взаимодействием G x E обладают линии Омский малахит (6) и Гордеиформе 12-75-3(12).

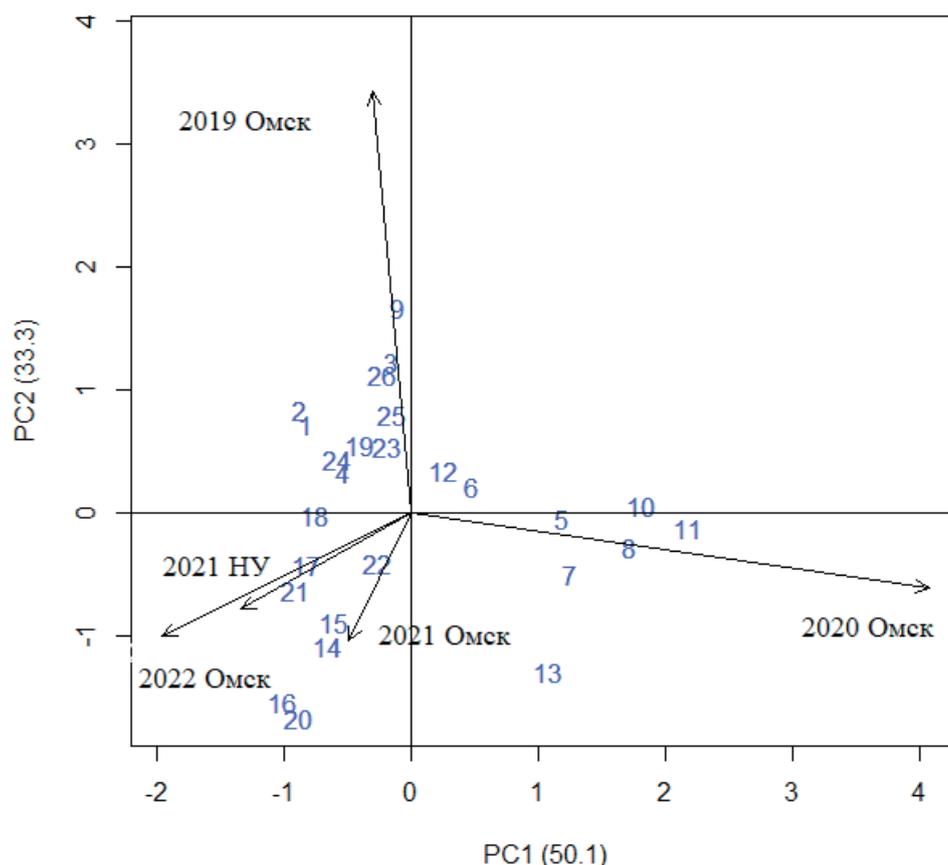


Рис. 2. Распределение сортов в плоскости первых двух главных компонент в зависимости от значения стекловидности зерна, 2019–2022 гг.

Fig. 2. Distribution of varieties in the plane of the first two principal components depending on the value of grain vitreousness, 2019–2022

### ВЫВОДЫ

1. Средний показатель стекловидности зерна за 2019-2022 гг. составил 57,5%. По сортам и линиям стекловидность варьировала от 54 до 62%.

2. Наиболее отзывчивыми на изменение условий среды оказались линии Гордеиформе 12-11-7 и Гордеиформе 14-83-1.

3. Для возделывания в условиях Западной Сибири рекомендуются сорт Омский малахит и линия Гордеиформе 12-75-3.

4. АММИ-анализ и регрессионная модель S.A. Eberhart, W.A. Russell эффективны, эти методики подтверждают высокую адаптивность сорта Омский малахит и линии Гордеиформе 12-75-3.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сандакова Г.Н. Научно обоснованные параметры модели погодных условий для формирования высокостекловидного зерна твердой пшеницы в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 5. – С. 33–37.
2. Зверев С.В., Панкратьева И.А., Политуха О.В. Стекловидность как показатель качества зерна пшеницы // Хранение и переработка зерна. – 2017. – № 11 (219). – С. 33–34.
3. Евдокимов М.Г., Юсов В.С. Яровая твердая пшеница в Сибирском Прииртышье. – Омск, 2008. – 160 с.

4. *Стекловидность* зерна твёрдой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири / М.Г. Евдокимов, В.С. Юсов, И.В. Пахотина, М.Н. Кирьякова // *Зерновое хозяйство России*. – 2019. – № 5 (65). – С. 24–28.
5. *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.
6. *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.
7. *Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г.* Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 2. – С. 19–25. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25>.
8. *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. 25. – P. 63. – <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5>.
9. *Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка)* / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.С. Юсов [и др.]. – Уфа, 2011. – 97 с.
10. *Мальчиков П.М., Мясникова М.Г., Чахеева Т.В.* Графический (с применением GGE bi-plot методов) анализ урожайности и её стабильности в процессе селекции яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т. 36, № 6, – С. 11–16.
11. *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>.
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/agronj1988.00021962008000030002>.
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. Sandakova G.N., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, No. 5, pp. 33–37. (In Russ).
2. Zverev S.V., Pankrat'eva I.A., Polituha O.V., *Hranenie i pererabotka zerna*, 2017, No. 11 (219), pp. 33–34. (In Russ).
3. Evdokimov M.G., Yusov V.S., *Yarovaya tverdaya pshenitsa v Sibirskom Priirtysh'e* (Spring durum wheat in Siberian Irtysh), Omsk, 2008, 160 p.
4. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Pakhotina I.V., Kir'yakova M.N., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2019, No. 5 (65), pp. 24–28. (In Russ).
5. Rozova M.A., Yanchenko V.I., Mel'nik V.M. *Ekologicheskaya plastichnost' yarovoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh Altaya* (Ecological plasticity of spring durum wheat in Altai), Rossel'khozakademiya. Sib.otd-nie. ANIISKh, Barnaul: Azbuka, 2010, pp. 18–30.
6. Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaistva gornyykh territorii* (Durum wheat in the forest-steppe of Western Siberia. Achievements and prospects), Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference, 2017, pp. 106–111. (In Russ.)

7. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No 2, pp. 19–25, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25>. (In Russ).
8. Vaezi B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R. [et al.], Integrating different stability models to investigate genotype  $\times$  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>.
9. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshv I.O., *Ekologicheskaya plastichnost' sel'skokhozyaistvennykh rastenii (metodika i otsenka)*. (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and assessment), Ufa, 2011, 97 p.
10. Mal'chikov P.M., Myasnikova M.G., Chakheeva T.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 6, pp. 11–16. (In Russ.).
11. 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>.
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, P. 388–393, <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002>.
14. Hongyu K., Garcia-Pena M., de Araujo L.B., Dias C.T.S., Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI Analysis of Genotype  $\times$  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  $\times$  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>.