

# ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 631.527.8

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65



## Повышенная стабильность образцов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен не связана с меньшей крупностью зерна

В. И. Полонский<sup>1,3</sup>, А. В. Сумина<sup>1,2</sup>, С. А. Герасимов<sup>4</sup>, А. А. Количенко<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

<sup>3</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>4</sup> Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Красноярск, Россия

<sup>5</sup> Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений, филиал по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва, Красноярск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Александрович Герасимов, g-s-a2009@yandex.ru

**Актуальность.** Информация о том, будет ли сопровождаться отбор на увеличение уровня стабильности сортов по массе 1000 зерен значимым изменением крупности зерна является важной и актуальной. Целью исследования является анализ связи между массой 1000 зерен сортов овса, ячменя и пшеницы, с одной стороны, и показателями их адаптивности по этому признаку – с другой.

**Материал и методы.** Изучали 10 сортов овса, 12 сортов образцов ячменя и 11 сортов пшеницы из коллекции ВИР. Растения выращивали в 2021 г. в пяти экологических пунктах, расположенных в Восточной Сибири (Красноярский край, Республика Хакасия и Республика Тыва). После уборки растений у каждого сорта измеряли массу 1000 зерен. По данному признаку определяли коэффициент экологической вариации  $C_v$ , показатель стрессоустойчивости  $d$ , параметр гомеостатичности  $Hom$ , показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, показатель селекционной ценности сорта  $C_s$ .

**Результаты и обсуждение.** Установлено, что овес проявлял существенно меньшую пластичность и наиболее высокую стабильность по массе 1000 зерен. Наилучшими характеристиками адаптивности по массе 1000 зерен обладали сорта овса 'Аргумент' и 'Кросс', ячменя 'Красноярский 91' и 'Биом', сорта пшеницы 'Новосибирская 49' и 'Новосибирская 75'. Сорта овса 'Кросс' и 'Аргумент', а также сорт ячменя 'Биом' обладали одновременно наибольшей крупностью зерна и величиной параметров стабильности по данному признаку. Корреляция между крупностью зерна сортов овса и пшеницы и обоими показателями пластичности по этому признаку была отрицательной, а всеми параметрами стабильности – положительной, но для показателей ПУСС и  $C_s$  – существенной. В случае с ячменем корреляция между массой 1000 зерен и показателем пластичности  $d$  образцов по указанному признаку была отрицательной и существенной.

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют, что при отборе овса, ячменя и пшеницы на повышенную стабильность по массе 1000 зерен крупность зерна снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию роста.

**Ключевые слова:** *Avena sativa*, *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, образцы, оценка, адаптивность, пластичность, ранг

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану по проекту № FWES-2021-0039 «Изучение, подбор генетического материала для создания новых адаптивных сортов и разработка технологий первичного и промышленного семеноводства новых сортов зерновых культур».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А., Количенко А.А. Повышенная стабильность образцов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен не связана с меньшей крупностью зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(2):52-65. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65

### Higher stability of oat, barley and wheat accessions in their 1000 grain weight is not associated with a smaller grain size

Vadim I. Polonsky<sup>1,3</sup>, Alena V. Sumina<sup>1,2</sup>, Sergey A. Gerasimov<sup>4</sup>, Aleksandr A. Kolichenko<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Khakassian State University named after N.F. Katanov, Abakan, Russia

<sup>3</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>4</sup> Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk, Russia

<sup>5</sup> State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements, Branch for Krasnoyarsk Territory, the Republic of Khakassia, and the Republic of Tyva, Krasnoyarsk, Russia

**Corresponding author:** Sergey A. Gerasimov, g-s-a2009@yandex.ru

**Background.** It is important and relevant to know whether the selection among cultivars for increased stability in the weight of 1000 grains involves a significant change in grain size. The aim of the study was to analyze the relationship between the 1000 grain weight in oat, barley and wheat accessions, on the one hand, and their adaptability indicators for this trait, on the other.

**Material and methods.** The studied material included 10 cultivars of oat, 12 of barley, and 11 of wheat from the VIR collection. Plants were grown in 2021 at five different sites over Eastern Siberia (Krasnoyarsk Territory, and the Republic of Khakassia and Tyva). After harvesting, the weight of 1000 grains was measured for each cultivar. The coefficient of environmental variation (Cv), stress tolerance index (d), homeostasis parameter (Hom), stability level index (CSL), and breeding value index (Cs) were determined to assess the cultivars for the analyzed character.

**Results.** Oat cultivars exhibited significantly lower plasticity and higher stability in their 1000 grain weight. The best adaptability characteristics were recorded for oat cvs. 'Argument' and 'Kross', barley cvs. 'Krasnoyarsky 91' and 'Biom', and wheat cvs. 'Novosibirskaya 49' and 'Novosibirskaya 75'. Cvs. 'Kross' and 'Argument' (oat). and 'Biom' (barley) had the largest grain size and maximum values of the character's stability parameters. Correlations of oat and wheat grain size with both plasticity indices were negative, and positive with all stability parameters, being significant for CSL and Cs. In the case of barley cultivars, the correlation between the weight of 1000 grains and the plasticity index was negative and statistically significant.

**Conclusion.** The results demonstrate that when selecting oat, barley and wheat for increased stability of their 1000 grain weight, the grain size will not decrease. Moreover, it may have a tendency to increase.

**Keywords:** *Avena sativa*, *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, assessment, adaptability, plasticity, rank

**Acknowledgements:** the work was done within the framework of the state task according to the thematic plan under Project No. FWES-2021-0039 "Studying and selection of genetic material to produce new adaptable cultivars and development of technologies for initial and industrial seed production of new cereal crop cultivars".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Polonsky V.I., Sumina A.V., Gerasimov S.A., Kolichenko A.A. Higher stability of oat, barley and wheat accessions in their 1000 grain weight is not associated with a smaller grain size. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):52-65. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65

## Введение

В связи с происходящим сегодня реальным изменением климата на планете, а также для территорий с резко континентальными погодными условиями, к которым относится Восточная Сибирь, актуально наличие сортов сельскохозяйственных культур, проявляющих не только высокую продуктивность и качество урожая, но и повышенную стабильность хозяйственно полезных признаков. Для указанного региона основными являются зерновые культуры, среди которых к приоритетным относятся яровые пшеница, овес и ячмень, в зерне которых содержится значительное количество биологически активных веществ, полезных для здоровья человека (Polonskiy et al., 2019; Loskutov, Khlestkina, 2021; Polonskiy et al., 2021; Shvachko et al., 2021; Shewry et al., 2022).

В настоящее время стратегия селекции зерновых культур, в том числе пшеницы, овса и ячменя, направлена на реализацию потенциала как величины урожая, так и его стабильности. В литературе имеются многочисленные данные об адаптивности различных сортов этих видов по величине урожайности (Gómez-Vecerra et al., 2006; Volkova, Shchennikova, 2020; Yusova et al., 2020). Описаны результаты, дающие косвенное подтверждение как повышению уровня урожайности сортов зерновых культур при селекции на повышенный уровень стабильности по данному признаку, так и его снижению. В пользу первого говорят отмеченные существенные корреляционные связи между средней урожайностью образцов ячменя и показателями их пластичности (отрицательные) и стабильности (положительные) по этому признаку для условий Северного Зауралья (Tetyannikov, Vome, 2021). В пользу второго свидетельствуют данные выполненных опытов с яровой пшеницей, в которых показана отрицательная взаимосвязь между средней величиной урожайности зерна и ее стабильностью в разных условиях выращивания (Du et al., 2020).

Высокая изменчивость степени выполненности зерна является основным источником неопределенности для его переработчиков и фермеров. Понимание механизмов, регулирующих массу зерна в стрессовых условиях, и наличие информации о потенциальных высокоадаптивных источниках поможет селекционерам повысить стабильность вновь создаваемых сортов по крупности зерна. Подчеркнем, что результатов, посвященных исследованию адаптивности образцов зерновых культур по отдельным элементам продуктивности, в частности по массе 1000 зерен, опубликовано сравнительно небольшое количество (Aniskov, Safonova, 2020; Goncharenko et al., 2020; Nikolaev et al., 2019; Serebrennikov, 2020; Tulyakova et al., 2021; Vahamidis et al., 2022). Представляется важной информация о том, будет ли сопровождаться отбор на повышение уровня стабильности сортов пшеницы, овса и ячменя по крупности зерна существенным изменением величины данного признака. В этом плане отметим недавно вышедшую работу (Polonskiy et al., 2022a), в которой для голозерного овса, выращенного в одном географическом пункте в течение трех лет, найдены сильные существенные корреляционные связи между средними величинами массы 1000 зерен образцов и значениями параметров их пластичности (отрицательная корреляция) либо показателей их стабильности (положительная корреляция) по данному физическому признаку зерна.

Сегодня на актуальный для практики вопрос, каков существующий риск получения форм пшеницы, овса и ячменя с зерном меньшей крупности при селекции этих культур на повышенную стабильность по массе 1000 зерен, однозначного и четкого ответа пока нет. Сведений о возможной корреляционной связи между массой зерновки указанных культур и стабильностью проявления этого ценного признака в различных климатических (пункт) и погодных (год) условиях их выращивания в доступной научной литературе нам встретить не удалось.

Целью исследования является анализ связи между массой 1000 зерен сортов овса, ячменя и пшеницы, с одной стороны, и показателями их адаптивности по этому признаку – с другой.

## Материалы и методы

В качестве объекта изучения использовали 10 сортов овса, 12 ячменя и 11 сортов пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Зерновые культуры выращивали в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Methodology of state crop..., 1989) в 2021 г. в пяти экологических пунктах, расположенных в Восточной Сибири на выщелоченных черноземах. Учетная площадь делянок – 25 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Норма высева семян овса и ячменя – 5,0 млн всхожих семян на 1 га, пшеницы – 6,0 млн. Указанный дизайн эксперимента использовали исходя из литературных данных (Nettevich et al., 1985), согласно которым для повышения точности оценки по показателям адаптивности ее рекомендуется проводить параллельно в нескольких пунктах. Экологические пункты представляли собой поля государственных сортоучастков: Каратузского, Краснотуранского и Назаровского ГСУ (Красноярский край), Бейского ГСУ (Республика Хакасия) и Пий-Хемского ГСУ (Республика Тыва).

После уборки растений у каждого сорта измеряли массу 1000 зерен согласно ГОСТ 12042-80 (GOST 12042-80..., 2011). Повторность анализов трехкратная. По данному хозяйственно ценному признаку определяли 2 показателя пластичности и 3 параметра стабильности всех образцов. Они включали коэффициент экологической вариации Cv (Dospikhov, 1985), показатель стрессоустойчивости d (Rosielle, Hemblin, 1981), параметр гомеостатичности Hom (Hangildin, Litvinenko, 1981), показатель уровня и стабильности сорта ПУСС (Nettevich et al., 1985), показатель селекционной ценности сорта Cs (Hangildin, Litvinenko, 1981).

В работе использовали прием ранжирования образцов по уровню их адаптивности. Для определения последнего вычисляли суммы рангов в соответствии с применяемым в данном исследовании критерием оценки адаптивности сортов овса, ячменя и пшеницы, заключающимся в наименьшей изменчивости уровня изучаемой физической характеристики зерна по географическим пунктам выращивания. Высшие ранги присваивали сортам с минимальными значениями показателей пластичности Cv, d и наибольшими значениями параметров стабильности Hom, ПУСС, Cs.

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали по *t*-критерию при  $p \leq 0,05$ .

## Результаты

В таблице 1 приведены средние значения гидротермического коэффициента по месяцам вегетационного периода в пяти экологических пунктах выращивания исследуемых зерновых культур. Можно видеть, что наиболее близкие усредненные значения ГТК за вегетационный период среди пунктов (1,35–1,38) были характерны для Назаровского и Бейского ГСУ.

**Таблица 1. Значения ГТК по месяцам вегетационного периода 2021 года в пяти пунктах Восточной Сибири**  
**Table 1. HTC values by months during the 2021 growing season at five sites in Eastern Siberia**

Месяц / Month	Значение ГТК по пунктам (ГСУ) / HTC values for five sites				
	1*	2	3	4	5
Май / May	2,6	1,3	1,6	1,6	1,9
Июнь / June	2,1	2,5	1,9	1,4	1,2
Июль / July	1,6	1,1	0,8	1,4	1,6
Август / August	1,0	1,5	1,2	1,0	1,4
Среднее / Mean	1,83	1,60	1,38	1,35	1,53

Примечание: \* 1 – Каратузский ГСУ; 2 – Краснотуранский ГСУ; 3 – Назаровский ГСУ; 4 – Бейский ГСУ; 5 – Пий-Хемский ГСУ

Note: \* 1 – Karatuzsky State Variety Trial Site (SVTS); 2 – Krasnoturansky SVTS; 3 – Nazarovsky SVTS; 4 – Baysky SVTS; 5 – Piy-Khemsky SVTS

Средние данные по результатам выполненных измерений массы 1000 зерен сортов овса, ячменя и пшеницы, выращенных на территориях Красноярского края, Республики Хакасии и Республики Тыва, представлены в таблице 2. Наблюдается четкое влияние экологических условий на изучаемый признак зерновых культур: минимальное значение массы 1000 зерен было характерно при исследовании ячменя и пшеницы в Пий-Хемском ГСУ, а овса, кроме того, и в Каратузском ГСУ; наибольшая крупность зерна у ячменя и пшеницы была зарегистрирована в Бейском ГСУ, а таковая у овса – в Бейском и Назаровском ГСУ. Различия в усредненной массе 1000 зерен для образцов овса и ячменя были существенными между контрастными пунктами выращивания (Пий-Хемский ГСУ – Бейский ГСУ) или даже между всеми пунктами выращивания в случае с пшеницей. Выполненные расчеты коэффициентов корреляции между усредненным значением ГТК за вегетационный период и массой 1000 зерен по пунктам исследования и видам показали наличие средней и сильной отрицательной связи:  $-0,815$  (овес),  $-0,597$  (ячмень),  $-0,508$  (пшеница).

Генотипические различия в массе 1000 зерен также имели место, наибольшие уровни указанной физической характеристики зерна наблюдались у сортов овса 'Аргумент', 'Иртыш 33' и 'Кросс', сортов ячменя 'Биом' и 'Эней Уа', а также сортов пшеницы 'Алтайская 70' и 'Новосибирская 49' (табл. 2).

Результаты найденных показателей адаптивности сортов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен приведены в таблице 3. Из них следует, что средние значения параметров пластичности, характерные для сортов овса, были ниже, чем аналогичные для ячменя и пшеницы. И наоборот, средние величины показателей стабильности сортов овса превосходили таковые образцов и ячменя, и пшеницы. Подчеркнем, что почти по всем параметрам адаптивности различия между видами были статистически значимыми.

Если рассмотреть сортовую специфичность в уровне адаптивности, то среди овсов по показателям пластичности уверенно лидировали сорта 'Кросс' и 'Саян', а по стабильности – сорта 'Кросс' и 'Аргумент'. Что касается ячменя, то минимальная величина пластичности была зафиксирована у сорта 'Красноярский 91', а максимальными значениями стабильности характеризовался стандарт 'Биом'. Среди пшениц по параметрам пластичности положительно отличался сорт 'Новосибирская 75', а наи-

большие значения показателей стабильности были отмечены у сорта 'Новосибирская 49'. Подчеркнем, что из сортов овса одновременно и минимальной пластичностью, и максимальной стабильностью по массе 1000 зерен обладал 'Кросс'. Среди ячменей и пшениц подобных сортов обнаружено не было.

На основании полученной сортами минимальной суммы рангов (табл. 4) следует заключить, что среди овсов по уровню адаптивности заметно опередили всех 'Аргумент' и 'Кросс'. Что касается сортов ячменя, то здесь по сумме рангов выделились 'Красноярский 91' и 'Биом', среди пшениц к лидерам следует отнести сорта 'Новосибирская 49' и 'Новосибирская 75'.

Анализ данных таблицы 4 позволяет говорить о совпадении результатов ранжирования сортов по их адаптивности по массе 1000 зерен, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности. Это подтверждается существенными значениями всех коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов.

Рассмотрим возможную связь между средними значениями массы 1000 зерен сортов изучаемых культур, с одной стороны, и показателями их адаптивности, определенными по этому ценному признаку – с другой. Результаты выполненного корреляционного анализа представлены в таблице 5. Можно видеть, что для сортов овса и пшеницы связь между крупностью зерна и обоими показателями пластичности по данному признаку была отрицательной, а между всеми параметрами стабильности положительной. При этом для показателей ПУСС и Cs статистически доказана ее существенность. В случае с сортами ячменя полученные результаты довольно противоречивы. Несмотря на это, следует отметить, что корреляционная связь между массой 1000 зерен и показателем стрессоустойчивости  $d$  по указанному признаку была отрицательной и существенной.

**Таблица 2. Значения массы 1000 зерен различных сортов овса, ячменя и пшеницы, выращенных в пяти пунктах Восточной Сибири****Table 2. 1000 grain weight values of various oat, barley and wheat cultivars grown at five sites in Eastern Siberia**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Масса 1000 зерен по пунктам, г / 1000 grain weight by sites, g					Среднее / Mean
		1*	2	3	4	5	
<b>Овес / Oat</b>							
15008	Тубинский (ст.) / Tubinsky (ref.)	32,2	31,9	34,6	34,5	37,5	34,1
15013	Аргумент / Argument	40,1	42,3	38,9	41,1	36,2	39,7
-	Кросс / Kross	38,1	43,9	40,7	41,7	-	41,1
-	Радужный / Raduzny	34,0	36,8	40,6	38,0	38,9	37,7
14043	Саян / Sayan	35,1	37,1	38,4	37,5	32,8	36,2
-	Урал 2 / Ural 2	34,3	42,7	37,4	42,2	34,6	38,2
-	Браслет / Braslet	33,0	35,3	43,9	34,4	-	36,7
15335	Сиг / Sig	32,8	26,8	-	33,5	34,9	32,0
-	Иртыш 33 / Irtysh 33	36,1	44,7	41,4	43,4	33,3	39,8
-	Тоболяк / Tobolyak	29,1	33,9	37,8	34,7	33,8	33,9
$x \pm S_x$		34,5 ± 1,0 а	37,5 ± 1,8 аб	39,3 ± 0,9 б	38,1 ± 1,2 б	35,3 ± 0,8 а	-
<b>Ячмень / Barley</b>							
30984	Биом (ст.) / Biom (ref.)	47,9	43,7	47,7	62,2	42,6	48,8
30201	Абалак / Abalak	42,3	49,2	42,3	59,1	39,7	46,5
30243	Ача / Acha	40,4	44,7	36,9	60,3	-	45,6
31198	Буян / Buyan	41,5	42,3	47,1	63,4	37,4	46,3
31586	Емеля / Emelya	31,6	41,7	46,6	44,2	31,8	39,2
31308	Красноярский 91 / Krasnoyarsky 91	32,5	42,2	39,4	46,3	34,5	39,0
31199	Оленек / Olenek	36,4	42,9	42,6	61,8	36,6	44,1
-	Такмак / Takmak	35,9	41,3	48,1	60,4	38,2	44,8
31604	Танай / Tanai	43,1	52,2	39,2	58,5	36,3	45,9
-	Эней Уа / Eney Ua	44,0	49,8	42,1	64,7	35,9	47,3
-	Тулунский янтарь / Tulunsky yantar	33,8	44,6	46,3	51,4	36,2	42,5
-	Дивный / Divny	38,9	51,7	42,3	58,0	33,3	44,8
$x \pm S_x$		39,0 ± 1,5 а	45,5 ± 1,2 б	43,4 ± 1,1 б	57,5 ± 1,9 в	36,6 ± 0,9 а	-

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Масса 1000 зерен по пунктам, г / 1000 grain weight by sites, g					Среднее / Mean
		1*	2	3	4	5	
<b>Пшеница / Wheat</b>							
64986	Алтайская 70 (ст.) / Altaiskaya 70 (ref.)	39,3	46,1	36,3	50,7	32,9	41,1
-	Даганская / Daganskaya	30,5	42,9	36,4	44,1	31,2	37,0
-	Ишимская 12 / Ishimskaya 12	30,9	41,8	33,7	46,5	32,3	37,0
-	Канская / Kanskaya	31,6	36,8	37,8	45,3	26,6	35,6
64986	Новосибирская 29 / Novosibirskaya 29	36,7	41,9	35,0	44,3	28,3	37,2
64988	Новосибирская 31 / Novosibirskaya 31	30,5	33,3	37,0	44,3	27,8	34,6
-	Новосибирская 41 / Novosibirskaya 41	31,7	37,9	33,2	44,6	28,8	35,2
-	Новосибирская 49 / Novosibirskaya 49	36,3	43,2	40,2	49,6	33,9	40,6
-	Новосибирская 75 / Novosibirskaya 75	30,2	38,2	39,1	44,5	32,5	36,9
65132	Памяти Вавенкова / Pamyati Vavenkova	34,2	39,4	32,5	49,1	29,9	37,0
-	Спектра / Spektra	32,8	42,0	36,3	44,9	30,2	37,2
$\bar{x} \pm S_x$		33,2 ± 0,9 а	40,3 ± 1,1 г	36,1 ± 0,7 в	46,2 ± 0,7 д	30,4 ± 0,7 б	-

Примечание: \* 1 – Каратузский ГСУ; 2 – Краснотуранский ГСУ; 3 – Назаровский ГСУ; 4 – Бейский ГСУ; 5 – Пий-Хемский ГСУ; значения средних в колонках в пределах каждого вида с разными буквами различаются между собой существенно по *t*-критерию при  $p \leq 0,05$

Note: \* 1 – Karatuzsky State Variety Trial Site (SVTS); 2 – Krasnoturansky SVTS; 3 – Nazarovsky SVTS; 4 – Baysky SVTS; 5 – Piy-Khemsy SVTS; the values of the means in the columns within each species with different letters significantly differ according to the *t*-criterion at  $p < 0.05$

**Таблица 3. Показатели адаптивности по массе 1000 зерен сортов овса, ячменя и пшеницы, среднее по всем пяти пунктам Восточной Сибири****Table 3. Adaptability indicators for 1000 grain weight in oat, barley and wheat cultivars, average for all five sites in Eastern Siberia**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Показатели адаптивности / Adaptability indicators				
		Cv, %	d	Hom	ПУСС, % / CSL, %	Cs
<b>Овес / Oat</b>						
15008	Тубинский (ст.) / Tubinsky (ref.)	6,7	-5,6	0,91	100,0	29,0
15013	Аргумент / Argument	5,8	-6,1	1,12	156,2	34,0
-	Кросс / Kross	5,8	-5,8	1,22	167,4	35,7
-	Радужный / Raduzny	6,6	-6,6	0,87	123,8	31,6
14043	Саян / Sayan	6,1	-5,6	1,06	123,5	30,9
-	Урал 2 / Ural 2	10,5	-8,4	0,43	79,9	30,7
-	Браслет / Braslet	13,4	-10,9	0,25	57,8	25,8
15335	Сиг / Sig	11,3	-8,1	0,35	52,1	24,6
-	Иртыш 33 / Irtysh 33	12,3	-11,4	0,28	76,7	29,6
-	Тоболяк / Tobolyak	9,1	-8,7	0,43	72,6	26,1
$\bar{x} \pm S_x$		8,8 ± 0,9 а	-7,7 ± 0,7 а	0,69 ± 0,12 а	101,0 ± 12,8 а	29,8 ± 1,1 а
<b>Ячмень / Barley</b>						
30984	Биом (ст.) / Biom (ref.)	16,0	-19,6	0,16	100,0	33,4
30201	Абалак / Abalak	17,0	-19,4	0,14	85,4	30,9
30243	Ача / Acha	22,6	-23,4	0,09	61,7	27,9
31198	Буян / Buyan	21,8	-26,0	0,08	66,0	27,3
31586	Емеля / Emelya	17,9	-15,0	0,15	57,6	26,6
31308	Красноярский 91 / Krasnoyarsky 91	14,4	-13,8	0,20	70,9	27,4
31199	Оленек / Olenek	23,6	-25,4	0,07	55,3	26,0
-	Такмак / Takmak	22,1	-24,5	0,08	61,0	28,3
31604	Танай / Tanai	20,3	-22,2	0,10	69,7	28,5
-	Эней Уа / Eney Ua	23,0	-28,8	0,07	65,3	26,2
9-	Тулунский янтарь / Tulunsky yantar	17,2	-17,6	0,14	70,5	27,9
-	Дивный / Divny	22,1	-24,7	0,08	61,0	25,7
$\bar{x} \pm S_x$		19,8 ± 0,9 б	-21,7 ± 1,3 б	0,11 ± 0,01 б	68,7 ± 3,6 б	28,0 ± 0,6 а

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Показатели адаптивности / Adaptability indicators				
		Cv, %	d	Hom	ПУСС, % / CSL, %	Cs
<b>Пшеница / Wheat</b>						
64986	Алтайская 70 (ст.) / Altaiskaya 70 (ref.)	17,8	-17,8	0,13	100,0	26,7
-	Даганская / Daganskaya	17,3	-13,6	0,16	83,4	25,6
-	Ишимская 12 / Ishimskaya 12	18,4	-15,6	0,13	78,4	24,6
-	Канская / Kanskaya	19,7	-18,7	0,10	67,8	20,9
64986	Новосибирская 29 / Novosibirskaya 29	16,9	-16,0	0,14	86,3	23,8
64988	Новосибирская 31 / Novosibirskaya 31	18,5	-16,5	0,11	68,2	21,7
-	Новосибирская 41 / Novosibirskaya 41	17,6	-15,8	0,13	74,2	22,7
-	Новосибирская 49 / Novosibirskaya 49	15,3	-15,7	0,17	113,5	27,7
-	Новосибирская 75 / Novosibirskaya 75	15,4	-14,3	0,17	93,2	25,0
65132	Памяти Вавенкова / Pamyati Vavenkova	20,5	-19,2	0,09	70,4	22,5
-	Спектра / Spektra	16,7	-14,7	0,15	87,3	25,0
$\bar{x} \pm S_x$		17,6 ± 0,5 в	-16,2 ± 0,5 в	0,14 ± 0,01 в	83,9 ± 4,3 в	24,2 ± 0,6 в

Примечание: значения средних с разными буквами в пределах одной колонки различаются между видами существенно по *t*-критерию при  $p \leq 0,05$

Note: the values of the means with different letters within one column significantly differ between the species according to the *t*-criterion at  $p < 0.05$



**Таблица 4.** Результаты ранжирования сортов овса, ячменя и пшеницы по показателям адаптивности по массе 1000 зерен, среднее по всем пяти пунктам Восточной Сибири**Table 4.** Results of the ranking of oat, barley and wheat cultivars according to their adaptability in 1000 grain weight, average for all five sites in Eastern Siberia

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Значения рангов / Rank values					Сумма рангов / Sum of ranks
		Cv, %	d	Hom	ПУСС, % / CSL, %	Cs	
<b>Овес / Oat</b>							
15008	Тубинский (ст.) / Tubinsky (ref.)	5	1,5	4	5	7	22,5
15013	Аргумент / Argument	1,5	4	2	2	2	11,5
-	Кросс / Kross	1,5	3	1	1	1	7,5
-	Радужный / Raduzny	4	5	5	3	3	20
14043	Саян / Sayan	3	1,5	3	4	4	15,5
-	Урал 2 / Ural 2	7	7	6,5	6	5	31,5
-	Браслет / Braslet	10	9	10	9	9	47
15335	Сиг / Sig	8	6	8	10	10	42
-	Иртыш 33 / Irtysh 33	9	10	9	7	6	41
-	Тоболяк / Tobolyak	6	8	6,5	8	8	36,5
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's correlation coefficient		0,974*	0,831*	0,979*	0,957*	0,890*	-
<b>Ячмень / Barley</b>							
30984	Биом (ст.) / Biom (ref.)	2	5	2	1	1	11
30201	Абалак / Abalak	3	4	4,5	2	2	15,5
30243	Ача / Acha	10	7	7	8	5,5	37,5
31198	Буян / Буян	8	11	9	6	8	42
31586	Емеля / Emelya	5	2	3	11	9	30
31308	Красноярский 91 / Krasnoyarsky 91	1	1	1	3	7	13
31199	Оленек / Olenek	12	10	11,5	12	11	56,5
-	Такмак / Takmak	9	8	9	9,5	4	39,5
31604	Танай / Tanai	6	6	6	5	3	26
-	Эней Уа / Eney Ua	11	12	11,5	7	10	51,5
-	Тулунский янтарь / Tulunsky yantar	4	3	4,5	4	5,5	21
-	Дивный / Divny	7	9	9	9,5	12	46,5
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's correlation coefficient		0,936*	0,857*	0,938*	0,833*	0,775*	-

Таблица 4. Окончание

Table 4. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название сорта / Cultivar name	Значения рангов / Rank values					Сумма рангов / Sum of ranks
		Cv, %	d	Ном	ПУСС, % / CSL, %	Cs	
<b>Пшеница / Wheat</b>							
64986	Алтайская 70 (ст.) / Altaiskaya 70 (ref.)	7	9	7	2	2	27
-	Даганская / Daganskaya	5	1	3	6	3	18
-	Ишимская 12 / Ishimskaya 12	8	4	7	7	6	32
-	Канская / Kanskaya	10	10	10	11	11	52
64986	Новосибирская 29 / Novosibirskaya 29	4	7	5	5	7	28
64988	Новосибирская 31 / Novosibirskaya 31	9	8	9	10	10	46
-	Новосибирская 41 / Novosibirskaya 41	6	6	7	8	8	35
-	Новосибирская 49 / Novosibirskaya 49	1	5	1,5	1	1	9,5
-	Новосибирская 75 / Novosibirskaya 75	2	2	1,5	3	4,5	13
65132	Памяти Вавенкова / Pamyati Vavenkova	11	11	11	9	9	51
-	Спектра / Spektra	3	3	4	4	4,5	18,5
Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's correlation coefficient		0,940*	0,813*	0,973*	0,898*	0,898*	-

Примечание: \* значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена являются существенными по  $t$ -критерию при  $p \leq 0,05$

Note: \* the values of Spearman's rank correlation coefficients are statistically significant according to the  $t$ -criterion at  $p < 0.05$

**Таблица 5. Корреляционная связь между средней массой 1000 зерен сортов овса, ячменя и пшеницы и показателями их адаптивности по этому признаку в пяти пунктах Восточной Сибири**

**Table 5. Correlations between the average 1000 grain weight of oat, barley and wheat cultivars and their adaptability indicators for this character at five sites in Eastern Siberia**

Вид зерновой культуры / Cereal crop species	Значения коэффициентов корреляции / Correlation coefficient values				
	Cv, %	d	Ном	ПУСС, % / CSL, %	Cs
Овес / Oat	-0,216	-0,007	0,369	0,634*	0,819*
Ячмень / Barley	0,376	-0,678*	-0,492	0,458	0,473
Пшеница / Wheat	-0,396	-0,033	0,416	0,871*	0,856*

Примечание: \* значения коэффициентов корреляции существенны при  $p \leq 0,05$

Note: \* the values of the correlation coefficients are significant at  $p < 0.05$

### Обсуждение

При изучении влияния экологических условий выращивания на величину массы 1000 зерен было показано, что значение этого признака у ячменя и пшеницы было минимальным в условиях Пий-Хемского ГСУ (Республика Тыва), а овса, кроме того, и Каратузском ГСУ (Красноярский край). Зарегистрированный у всех культур однонаправленный эффект снижения крупности зерна на территории Тувы, вероятно, связан с повышенной степенью аридности климатических условий этих мест произрастания растений. Наибольшая масса 1000 зерен у ячменя и пшеницы была найдена при их выращивании в Бейском ГСУ, а таковая у овса – и в Бейском, и в Назаровском ГСУ. Зафиксированный результат можно объяснить наличием климатических условий последних двух пунктов, характеризующихся минимальной величиной ГТК за вегетационный период. Предположение следует из существования средней и сильной отрицательной корреляционной связи между усредненным значением ГТК за вегетационный период и массой 1000 зерен по пунктам исследования:  $-0,815$  (овес),  $-0,597$  (ячмень),  $-0,508$  (пшеница). По-видимому, условия Бейского ГСУ с минимальным по сравнению со всеми пунктами значением ГТК за вегетационный период способствовали формированию у всех исследуемых культур максимально крупного зерна. Подчеркнем, что различия в усредненной массе 1000 зерен сортов, выращенных в различных экологических пунктах, были для большинства из них существенными.

В работе установлена сортовая специфика исследуемой физической характеристики зерна трех культур. Наибольшие значения массы 1000 зерен наблюдались у сортов овса 'Аргумент', 'Иртыш 33' и 'Кросс', сортов ячменя – 'Биом' и 'Эней Уа', а также сортов пшеницы 'Алтайская 70' и 'Новосибирская 49'.

Показано, что средние значения параметров пластичности, характерные для сортов овса, были существенно ниже, чем аналогичные для ячменя и пшеницы. И наоборот, средние величины показателей стабильности образцов овса статистически значимо превосходили таковые сортов и ячменя, и пшеницы. Следовательно, овес проявляет более высокий уровень адаптивности к экологическим факторам по сравнению с двумя другими зерновыми культурами. В литературе при сравнении адаптивности сортов овса и ячменя по массе 1000 зерен при проведении опытов в условиях Восточной Сибири была показана противоположная закономерность. Установлено, что параметры пластичности  $C_v$  и  $d$  для образцов ячменя имели меньшие значения, чем таковые у сортов овса, а показатели стабильности, наоборот, характеризовались более высокими величинами (Baykalova, Serebrennikov, 2020; Serebrennikov, 2020).

Исследование сортовой специфичности уровня адаптивности рассматриваемых культур по массе 1000 зерен позволило заключить, что среди овсов по минимальному значению показателей пластичности уверенно лидировали сорта 'Кросс' и 'Саян', а по максимальной величине параметров стабильности – соответственно сорта 'Кросс' и 'Аргумент'. Что касается ячменя, то наименьшая величина показателей пластичности была отмечена у сорта 'Красноярский 91', а наибольшими значениями параметров стабильности характеризовался стандарт 'Биом'. Среди пшениц по параметрам пластичности положительно отличался сорт 'Новосибирская 75', а наибольшие значения показателей стабильности были зафиксирова-

ны у сорта 'Новосибирская 49'. Подчеркнем, что из овсов наилучшими характеристиками адаптивности, то есть одновременно и минимальной пластичностью, и максимальной стабильностью по массе 1000 зерен, обладал сорт 'Кросс'. Среди ячменей и пшениц подобных образцов найдено не было. Сопоставление массы 1000 зерен сортов изучаемых культур с уровнем их адаптивности показало, что сорта овса 'Кросс' и 'Аргумент', а также сорт ячменя 'Биом' обладали одновременно наибольшей крупностью зерна и максимальной величиной параметров стабильности по данному признаку. Среди пшениц таких сортов обнаружить не удалось.

Выполненное ранжирование сортов и вычисление суммы рангов подтвердили полученные результаты по уровню адаптивности сортов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен. В этом заметно опередили всех сорта овса 'Аргумент' и 'Кросс', ячменя 'Красноярский 91' и 'Биом', сорта пшениц 'Новосибирская 49' и 'Новосибирская 75'. Такая объективная оценка пластичности и стабильности исследуемых культур стала возможной благодаря наличию четкого совпадения результатов ранжирования сортов по их адаптивности, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности. Указанный факт статистически доказан наличием существенных значений коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов. На основании последнего можно предположить, что практически все используемые в работе параметры адаптивности по массе 1000 зерен оценивают один и тот же сорт овса, ячменя и пшеницы практически одинаково. Другими словами, повышенный уровень пластичности образца предполагает наличие пониженной величины его стабильности и наоборот. Зарегистрированный эффект подтверждает полученный ранее в литературе результат для овса (Tulyakova et al., 2021), согласно которому показатель стабильности (Ном) отрицательно коррелирует с параметром пластичности ( $C_v$ ).

Каким образом в контрастных по климатическим условиям географических пунктах обеспечивается стабильность сортов по массе 1000 зерен? В литературе на примере двурядного ячменя показано, что стабильность рассматриваемого ценного признака в разных условиях сохраняется за счет: а) регулирования количества завязываемых в колосе зерен, б) поддержания пропорций между различными классами крупности зерен. Размер зерна регулируется и числом зерен, и условиями формирования урожайности (Vahamidis et al., 2022). Полученные в этом исследовании результаты подтверждают следующую иерархию экологической пластичности: доля крупных зерен (% зерен  $> 2,5$  мм)  $>$  число зерен/м<sup>2</sup>  $>$  потенциальная урожайность зерна  $>$  число колосьев/м<sup>2</sup>  $>$  масса 1000 зерен  $>$  число зерен в колосе. Видно, что признак крупности зерна проявляет относительно малую пластичность. Выполненная авторами оценка взаимосвязи между массой 1000 зерен и различными классами размера зерна показала, что у ячменя наибольшая пластичность характерна для признака «доля крупных зерен».

В настоящей работе была изучена корреляционная связь между средними значениями массы 1000 зерен сортов овса, ячменя и пшеницы, с одной стороны, и показателями их адаптивности, определенными по этому признаку, – с другой. Установлено, что корреляционная связь между крупностью зерна сортов овса и пшеницы и обоими показателями пластичности по этому призна-

ку была отрицательной, а всеми параметрами стабильности – положительной. При этом для показателей ПУСС и Cs удалось доказать ее существенность. В случае с ячменем корреляция между массой 1000 зерен и одним из показателей пластичности (d) сортов по указанному признаку была отрицательной и существенной. Продемонстрированные результаты свидетельствуют в пользу того, что при отборе овса, ячменя и пшеницы на повышенную стабильность по массе 1000 зерен крупность зерна снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию роста.

Для анализа полученных в настоящем исследовании результатов были выполнены следующие вычисления. (1) По данным, представленным авторами публикации (Baykalova, Serebrennikov, 2020), была определена связь между средним значением массы 1000 зерен у пленчатых сортов овса и показателями их адаптивности по этому признаку для условий Восточной Сибири. Найденная величина коэффициента корреляции признака крупности зерна с показателем уровня и стабильности сорта (ПУСС), равная  $0,778 \pm 0,466$ , указывала на тенденцию существования сильной положительной связи между ними. На это же указывало отрицательное значение одного из параметров пластичности (стрессоустойчивость d). (2) По нашим результатам (Polonsky et al., 2022b) была рассчитана величина параметра стабильности (селекционная ценность сорта Cs) по массе 1000 зерен для 24 сортов яровой пшеницы, которую выращивали в трех различных экологических пунктах Восточной Сибири. Полученное значение коэффициента корреляции между указанными параметрами оказалось существенным и равным  $0,726 \pm 0,202$ . При этом два показателя пластичности (коэффициент вариации Cv и стрессоустойчивость d) были отрицательными. (3) На основании информации, приведенной в другой работе (Nikolaev et al., 2019), посвященной изучению ярового пленчатого ячменя, была найдена слабая положительная связь между массой 1000 зерен, с одной стороны, и показателем стабильности (гомеостатичность Hom) – с другой, а также слабая отрицательная связь с параметром пластичности (стрессоустойчивость d). (4) По данным Н. И. Аниськова и И. В. Сафоновой (Aniskov, Safonova, 2020), было вычислено значение коэффициента корреляции между массой 1000 зерен и параметром уровня и стабильности сорта ПУСС для озимой ржи, которое было положительным и средним, равным  $0,523 \pm 0,322$ .

Таким образом, результаты выполненных расчетов, основанных на литературных экспериментальных данных, подтвердили полученный в настоящем исследовании эффект наличия минимального риска получения менее крупного зерна овса, ячменя и пшеницы при их отборе на повышенную стабильность по массе 1000 зерен.

### Заключение

Наибольшая крупность зерна у овса, ячменя и пшеницы была найдена при их выращивании в Бейском ГСУ (Республика Хакасия), а наименьшая – в Пий-Хемском ГСУ (республика Тыва). Максимальные значения массы 1000 зерен отмечены у сортов овса 'Аргумент', 'Иртыш 33', 'Кросс', ячменя 'Биом' и 'Эней Уа', а также сортов пшеницы 'Алтайская 70' и 'Новосибирская 49'.

Показано, что в контрастных экологических условиях овес проявляет существенно более высокий уровень адаптивности по массе 1000 зерен в сравнении с ячменем и пшеницей. Наилучшими характеристиками адап-

тивности, то есть одновременно и минимальной пластичностью, и максимальной стабильностью по массе 1000 зерен, обладал сорт овса 'Кросс'. Сорта овса 'Кросс' и 'Аргумент', а также сорт ячменя 'Биом' демонстрировали одновременно наибольшую крупность зерна и максимальную величину параметров стабильности по данному признаку.

Установлено, что корреляционная связь между крупностью зерна сортов овса и пшеницы и обоими показателями пластичности по этому признаку была отрицательной, а всеми параметрами стабильности – положительной, причем для показателей ПУСС и Cs – существенной. В случае с ячменем корреляция между массой 1000 зерен и показателем пластичности d сортов по указанному признаку была отрицательной и существенной. Продемонстрированные результаты свидетельствуют в пользу того, что при отборе овса, ячменя и пшеницы на повышенную стабильность по массе 1000 зерен крупность зерна снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию роста.

### References / Литература

- Aniskov N.I., Safonova I.V. Comparative assessment of plasticity, stability and homeostasis based on '1000 grain weight' in winter rye cultivars developed at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):56-63. [in Russian] (Анисков Н.И., Сафонова И.В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку «масса 1000 зерен». *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):56-63). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63
- Baykalova L.P., Serebrennikov Yu.I. The plasticity and stability of spring oats in yield and the mass of and 1000 grains. *Bulletin of KrasGAU*. 2020;4(157):37-44. [in Russian] (Байкалова Л.П., Серебренников Ю.И. Пластичность и стабильность ярового овса по урожайности и массе 1000 зерен. *Вестник КрасГАУ*. 2020;4(157):37-44). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-4-37-44
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Du Y.L., Xi Y., Cui T., Anten N.P.R., Weiner J., Li X. et al. Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat. *Field Crops Research*. 2020;257(10):107930. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107930
- Gómez-Becerra H.F., Morgounov A., Abugaliev A. Evaluation of grain yield stability, reliability and cultivar recommendations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) from Kazakhstan and Siberia. *Journal of Central European Agriculture*. 2006;7(4):649-659.
- Goncharenko A.A., Makarov A.V., Kuzmich M.A., Ermakov S.A., Semenova T.V., Tochilin V.N. et al. Assessment of ecological variability, stability and plasticity of varieties of winter rye on traits of quality of grain. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;(4):3-9. [in Russian] (Гончаренко А.А., Макаров А.В., Кузьмич М.А., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Точилин В.Н. и др. Оценка экологической устойчивости, стабильности и пластичности сортов озимой ржи по признакам качества зерна. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020;(4):3-9). DOI: 10.31857/S2500262720040018
- GOST 12042-80. Interstate standard. Seeds of farm crops. Methods of determination of 1000 seed weight. Moscow: Stan-

- dardinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ 12042-80. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. Москва: Стандартинформ; 2011). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294838/4294838872.pdf> [дата обращения: 01.12.2022].
- Hangildin V.V., Litvinenko N.A. Homeostasis and adaptability of winter wheat cultivars (Gomeostatichnost i adaptivnost sortov ozimoy pshenitsy). *Nauchno-tekhnicheskiy byulleten Vsesoyuznogo selekcionno-geneticheskogo instituta = Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Institute of Breeding and Genetics*. 1981;1(39):8-14. [in Russian] (Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института*. 1981;1(39):8-14).
- Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*. 2021;10(1):86. DOI: 10.3390/plants10010086
- Methodology of state crop variety trials. Second issue. Cereals, groats, legumes, maize, and fodder crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury). Moscow: Gosagroprom SSSR; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Госагропром СССР; 1989).
- Nettevich E.D., Morgunov A.I., Maksimenko M.I. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and quality of grain (Povysheniye effektivnosti otbora yarovoy pshenitsy na stabilnost, urozhaynost i kachestvo zerna). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1985;(1):66-73. [in Russian] (Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985;(1):66-73).
- Nikolaev P.N., Yusova O.A., Aniskov N.I., Safonova I.V. Assessment of varieties of spring barley of selection of Omsk Agrarian Research Center for adaptivity of mass of 1000 grains. In: *International Scientific and Practical Conference "AgroSMART – Smart solutions for agriculture"*. Dubai: KnE Life Sciences; 2019. p.1232-1241. DOI: 10.18502/kl.v4i14.5721
- Polonskiy V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V., Zute S.A. Adaptive potential of oat accessions in the context of their chemical and physical grain characteristics. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022a;183(1):57-75. [in Russian] (Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В., Зюте С.А. Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022a;183(1):9-27). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):53-60. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S.A. Evaluation of barley genotypes for the content of  $\beta$ -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):48-58. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С.А. Оценка образцов ячменя на содержание  $\beta$ -гликоканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):48-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
- Polonskiy V.I., Sumina A.V., Kolichenko A.A. Spring wheat accessions adaptability by productivity elements under the Yenisei Siberia conditions. *Bulletin of KrasGau*. 2022b;(3):30-37. [in Russian] (Полонский В.И., Сумина А.В., Количенко А.А. Адаптивность образцов яровой пшеницы по элементам продуктивности в условиях Приенисейской Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2022b;(3):30-37). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-30-37
- Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1981;21(6):943-946. DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
- Serebrennikov Yu.I. Plasticity and stability of spring barley in terms of grain yield and weight of 1000 grains. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;(2):50-59. [in Russian] (Серебренников Ю.И. Пластичность и стабильность ярового ячменя по урожаю зерна и массе 1000 зерен. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2020;(2):50-59). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-50-59
- Shewry P.R., Lovegrove A., Wingen L.U., Griffiths S. Opinion Exploiting genomics to improve the benefits of wheat: Prospects and limitations. *Journal of Cereal Science*. 2022;105:103444. DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103444
- Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S., Kovaleva O.N., Konarev A.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*. 2021;26(8):2260. DOI: 10.3390/molecules26082260
- Tetyannikov N.V., Bome N.A. Analysis of the genotype  $\times$  environment interactions and assessment of the adaptability potential in barley under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):63-73. [in Russian] (Тетяников Н.В., Боме Н.А. Анализ взаимодействия «генотип  $\times$  среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):63-73). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73
- Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):72-79. [in Russian] (Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):72-79). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79
- Vahamidis P., Stefopoulou A., Kotoulas V., Bresta P., Nikolopoulos D., . Grain size variation in two-rowed malt barley under Mediterranean conditions: Phenotypic plasticity and relevant trade-offs. *Field Crops Research*. 2022;279:108454. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108454

Volkova L.V., Shchennikova I.N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive responses of cereals. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(3):140-146. [in Russian] [Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур. *Теоретическая и прикладная экология*. 2020;(3):140-146]. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146

Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Y.B., Safonova I.V., Anisikov N.I. Stress resistance in barley cultivars of various

agroecological origin under extreme continental climate conditions. *Proceedings on Applied botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):44-55. [in Russian] [Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Анисиков Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(4):44-55]. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

### Информация об авторах

**Вадим Игоревич Полонский**, доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет, 660049 Россия, Красноярск, пр. Мира, 90, Сибирский федеральный университет, 660062 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79, vadim.polonskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Алена Владимировна Сумина**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Красноярский государственный аграрный университет, 660049 Россия, Красноярск, пр. Мира, 90, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 655017 Россия, Абакан, ул. Ленина, 90, alenasumina@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

**Сергей Александрович Герасимов**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 66, g-s-a2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1273-3212>

**Александр Александрович Количенко**, директор, Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений, филиал по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва, 660001 Россия, Красноярск, ул. Советская, 21, inspectorate24@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9826-7210>

### Information about the authors

**Vadim I. Polonsky**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Ave., Krasnoyarsk 660049, Russia, Siberian Federal University, 79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia, vadim.polonskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Alena V. Sumina**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Ave., Krasnoyarsk 660049, Russia, Khakassian State University named after N.F. Katanov, 90 Lenina Ave., Abakan 655000, Russia, alenasumina@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

**Sergey A. Gerasimov**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Laboratory, Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, a subdivision of the KSC SB RAS, 66 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia, g-s-a2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1273-3212>

**Aleksandr A. Kolichenko**, Director, State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements, Branch for Krasnoyarsk Territory, the Republic of Khakassia, and the Republic of Tyva, 21 Sovetskaya St., Krasnoyarsk 660001, Russia, inspectorate24@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9826-7210>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.09.2022; одобрена после рецензирования 18.01.2023; принята к публикации 01.06.2023. The article was submitted on 23.09.2022; approved after reviewing on 18.01.2023; accepted for publication on 01.06.2023.